

Allegati al Report RdS/PAR2014/271

Allegato 1
RdS/PAR2014/271

Presentazione del Progetto “Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili”

S. Giammartini - ENEA

ENEA

AGENZIA NAZIONALE
PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA
E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



**RICERCA DI
SISTEMA ELETTRICO**



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

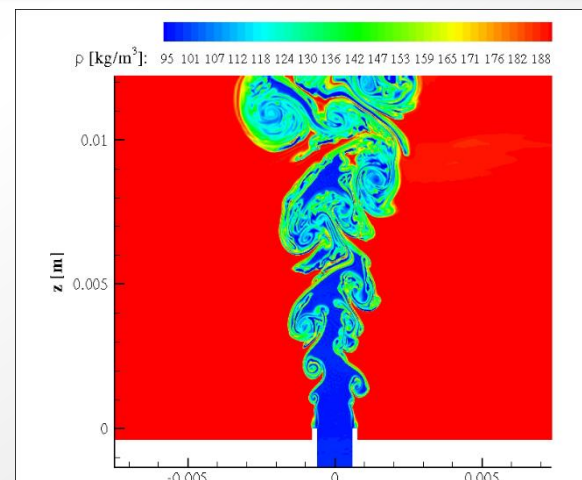
Accordo di Programma MiSE-ENEA

Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili

Workshop di presentazione
del Progetto B2 – PAR 2014

ENEA

Roma, 24 Giugno 2015



Il Progetto riguarda:

L'uso sostenibile di combustibili fossili mediante la rimozione della CO₂ (de-carbonizzazione del combustibile o dei fumi), interventi per l'efficiamento dei cicli, e della combustione, *storage* della CO₂ o suo riutilizzo.

Il Piano triennale (2012-2014) della RdSE e il successivo (2015-2017) in discussione, fanno esplicito riferimento al documento di strategia nazionale nel medio termine (SEN), ma ovviamente non possono prescindere dagli indirizzi fissati dalla UE per i prossimi decenni.

Le strategie (Roadmap) al 2030 e al 2050 fissano obiettivi molto ambiziosi (rif.1990):

- **40 % di emissioni di GHG al 2030;**
- **80 ÷ 95 % di emissioni di GHG al 2050;**

Poiché oggi oltre l'80% dell'energia viene prodotta da fossili, pur considerando l'inevitabile sviluppo delle FR (la UE stima un 40% su base volontaria nel 2030), è assolutamente evidente che **per molti decenni ancora conviveremo con l'energia da fossili**, magari con rafforzamento significativo della quota imputabile al gas, in virtù anche dei più recenti sviluppi (shale gas).

Il rispetto degli obiettivi **impone azioni radicali**, che passano per:

- **Rendimenti di impianto pari o superiori al 50%;**
- **Applicazione di tecnologie CCS, dimostrate, economiche e sicure;**
- **Maggiore flessibilità di esercizio.**

Nel documento **Integrated Roadmap: Research & Innovation Challenges** del **SET Plan** (Roma dicembre 2014), vengono fissati

13 Temi di Ricerca e Innovazione

(*13 challenges*, tecnologiche) per i prossimi decenni.



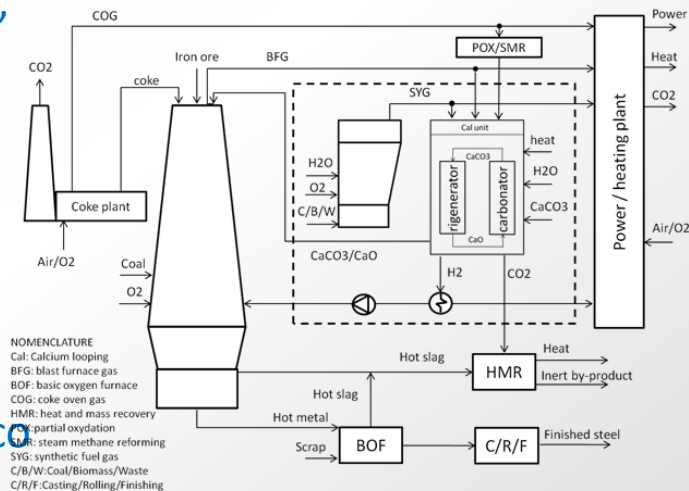
Tema 5: INCREMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA NEL SETTORE INDUSTRIALE E DEI SERVIZI

con particolare riferimento alle industrie “carbon intensive” (siderurgia, cemento, chimica e petrolchimica, vetro, ceramica).

I settori di cui al Tema 5, rappresentano il 39,1% dei consumi finali totali della UE (Eurostat, May 2014)

Tra le azioni:

- Recupero di calore nei processi, anche a bassa temp.
- Integrazione di processi per favorire il recupero energetico
- Sviluppo di nuovi processi



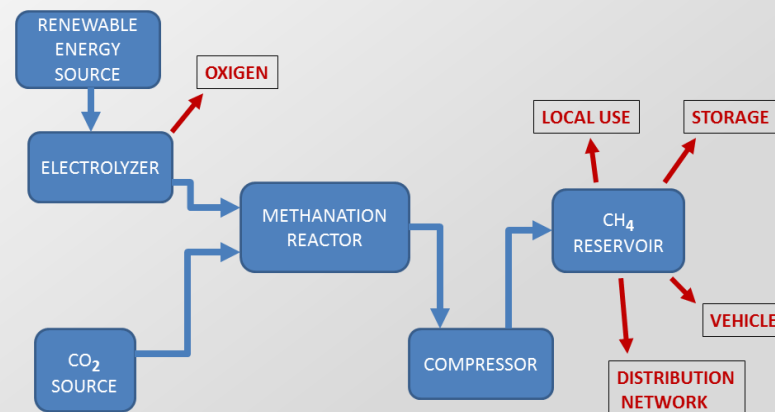
Blast furnace (BF)-basic oxygen furnace (BOF) system integrated with a calcium looping system

Tema 7: AMPLIAMENTO DELLE POTENZIALITA' DI STORAGE ENERGETICO E DI CONVERSIONE IN ALTRO VETTORE

Forte riferimento alla aleatorietà delle F.R.

Tra le azioni:

- Sviluppo di tecnologie di Power to Gas (Power to Methane/Methanol), incluso lo sviluppo di nuovi catalizzatori per la produzione dei suddetti da CO₂ (link con Tema 11 relativo a CCUS)



Tema 8: ASSICURARE AL SISTEMA ENERGETICO FLESSIBILITÀ, SICUREZZA E “COST-EFFECTIVENESS”

Pone drammaticamente l'accento su tema della flessibilità, imposto dall'affermarsi delle rinnovabili.

FR e combustibili fossili devono integrarsi e assicurare flessibilità e capacità di back-up.

Alle rinnovabili viene richiesto:

- Incremento di efficienza;
- Riduzione dei costi perché «stiano sul mercato»

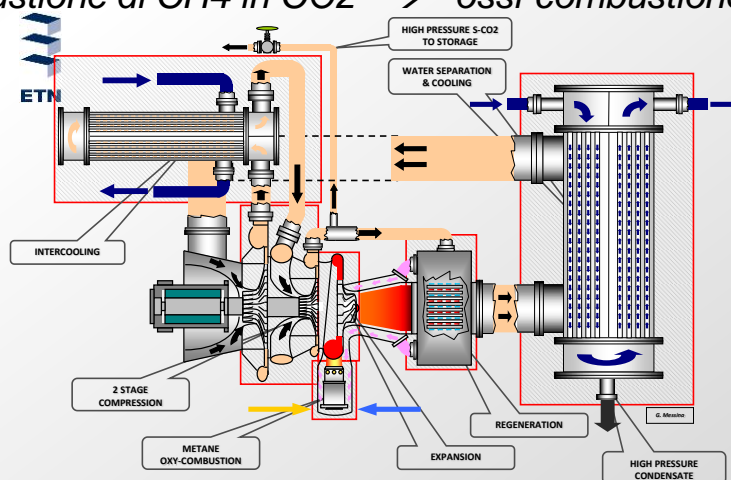
Alla generazione da fossili si richiede:

- Flessibilità di esercizio
- Riduzione delle emissioni (CO_2) tramite incremento del rendimento e applicazione di CCS.

Tra le azioni:

- Sviluppare dispositivi e soluzioni per incrementare la flessibilità del sistema energetico.

EGR → ossi-combustione di CH_4 in CO_2 → ossi-combustione di CH_4 in CO_2 Supercritica

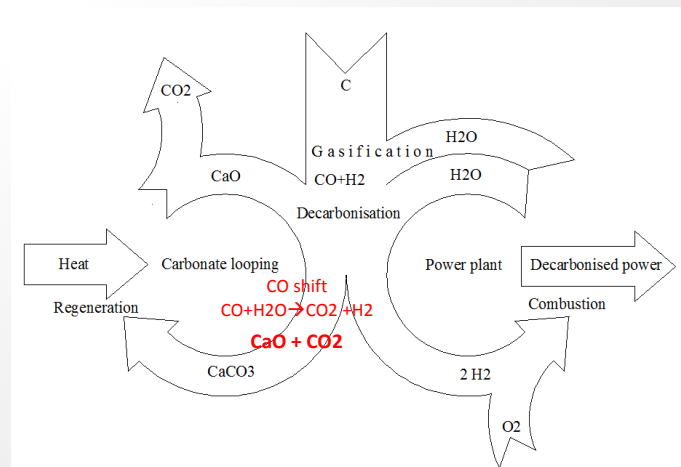


Tema 11: RENDERE APPLICABILI LE TECNOLOGIE DI CCUS; INCREMENTARE L'EFFICIENZA NELL'UTILIZZO DEI COMBUSTIBILI FOSSILI SIA NEL SETTORE ELETTRICO CHE DELL'INDUSTRIA "CARBON INTENSIVE"

Con l'affermazione delle F.R., gli impianti per generazione a combustibili fossili mutano il loro ruolo da **"base-load power"** a **"back-up power and control"** per stabilizzare il sistema. Questa funzione implica sfide tecnologiche di rilievo.


Tra le azioni:

- Sviluppo di nuove tecnologie di cattura (meno costose, più efficienti, applicabili sia alla generazione che ai processi industriali), e per il successivo storage (caratterizzazione, esplorazione e monitoraggio dei siti);



Calcium Looping Concept

- Sviluppo e dimostrazione di tecnologie CCS integrate, caratterizzate da maggior flessibilità di esercizio;
- Sviluppo e dimostrazione di tecnologie di cattura e ri-uso della CO₂ (Power to Gas) per produzione di metano, etano, metanolo e chemicals;
- Dimostrazione su scala pilota di tecnologie di carbonatazione con CO₂
- Investigare le potenzialità dello storage di CO₂ in operazioni di *water free shale gas extration*



H_2O

Tutti questi temi di ricerca trovano applicazione
nel programma
e saranno oggetto degli interventi che seguiranno.

GRAZIE PER LA CORTESE ATTENZIONE !

Allegato 2
RdS/PAR2014/271

Cattura della CO₂ con sorbenti solidi: la tecnologia
“calcium looping”. Applicazioni al settore energetico
e industriale

S.Stendardo - ENEA

The ENEA logo features the word "ENEA" in a bold, white, sans-serif font against a blue background with a stylized sunburst or energy symbol.

AGENZIA NAZIONALE
PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA
E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

A photograph of a high-voltage electric transmission tower, showing its complex lattice structure against a clear blue sky.

RICERCA DI
SISTEMA ELETTRICO



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Accordo di Programma MiSE-ENEA

Cattura della CO₂ con sorbenti solidi: la tecnologia 'calcium looping'. Applicazioni al settore energetico e industriale

Stendardo Stefano

ENEA

Roma, 24 Giugno 2015



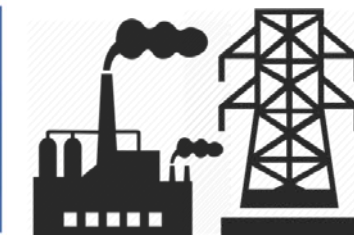
Cos'è il 'Calcium Looping'?



Quali sono stati i risultati ottenuti?



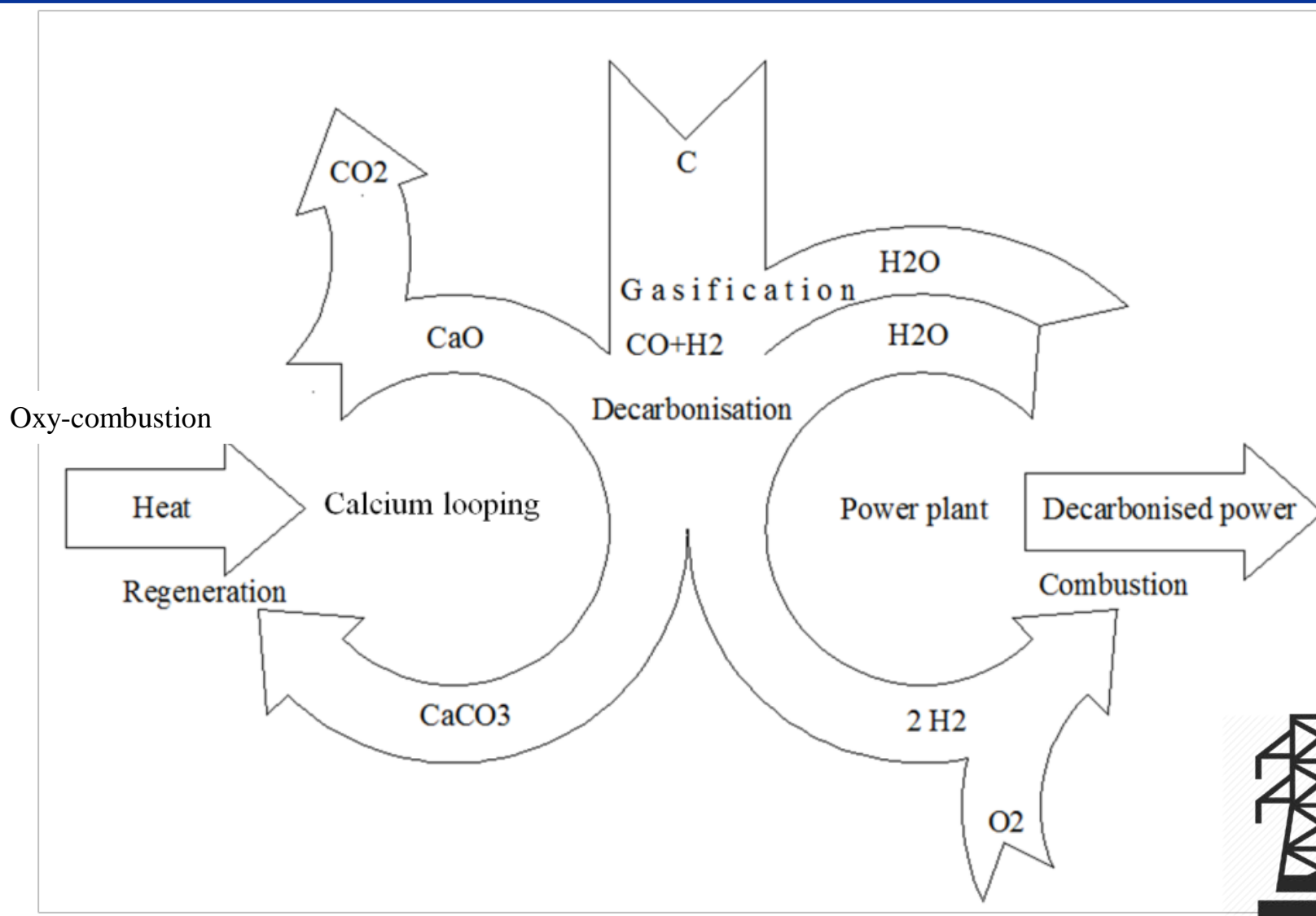
Quali saranno i nostri obiettivi futuri?



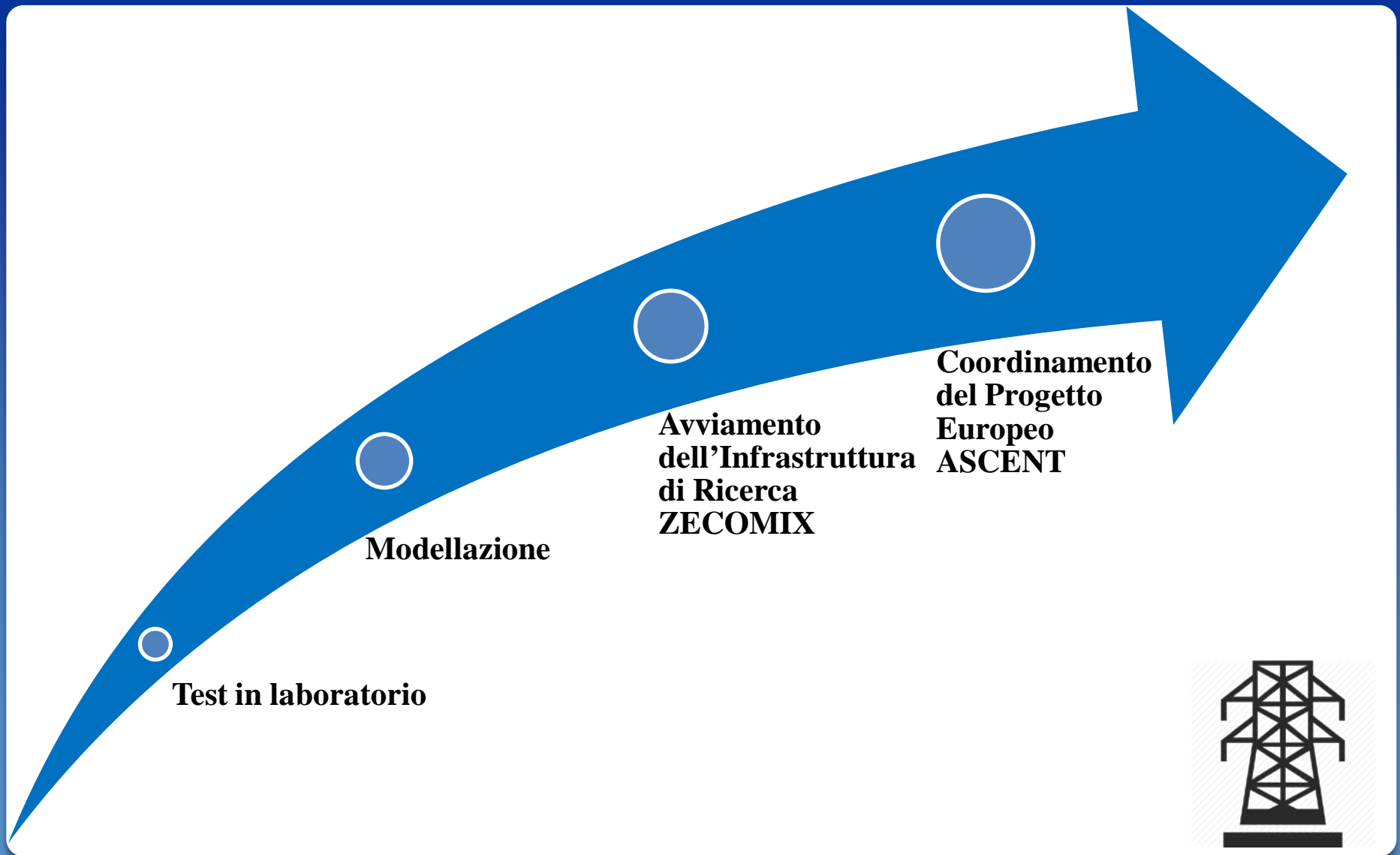
E' possibile rendere totalmente 'verde' il 'Calcium Looping'?



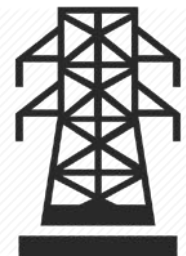
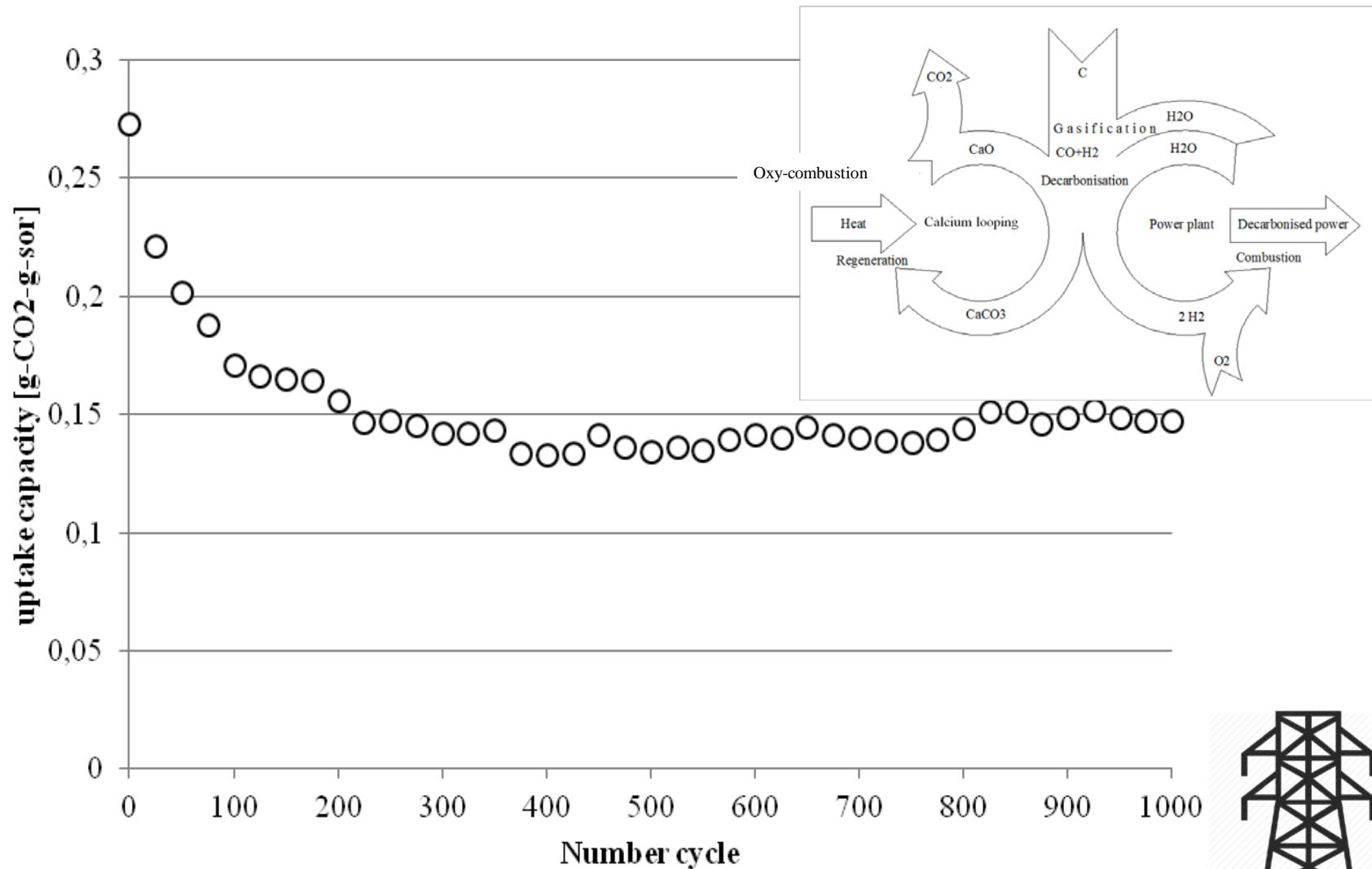
Applicazione del 'Calcium Looping' alla produzione dell'energia elettrica da combustibili solidi



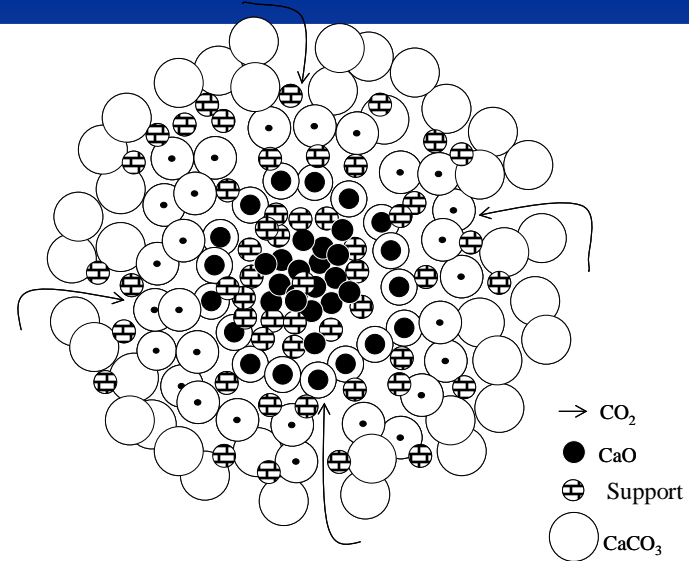
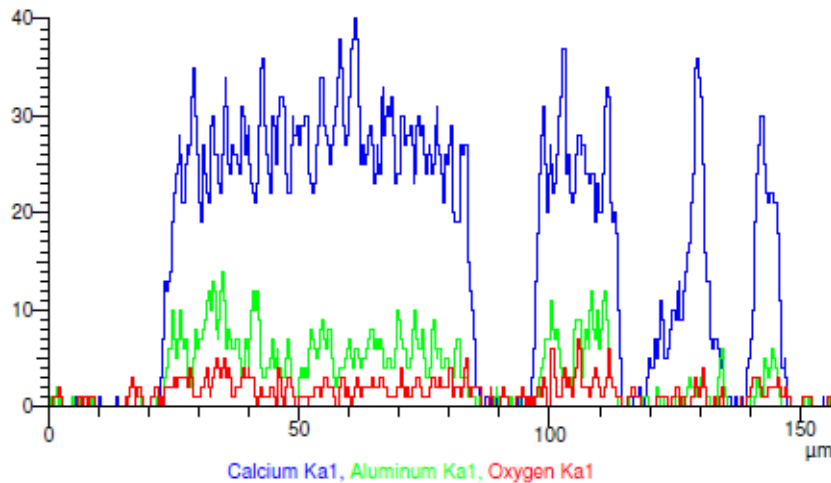
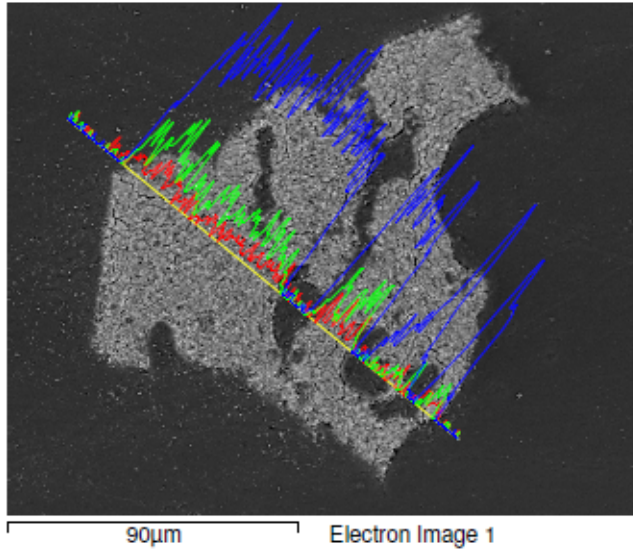
Principali aree di ricerca nella tecnologia CaL



Materiale sorbente ad alta stabilità chimica



Le particelle di sorbente come 'cluster' di grani

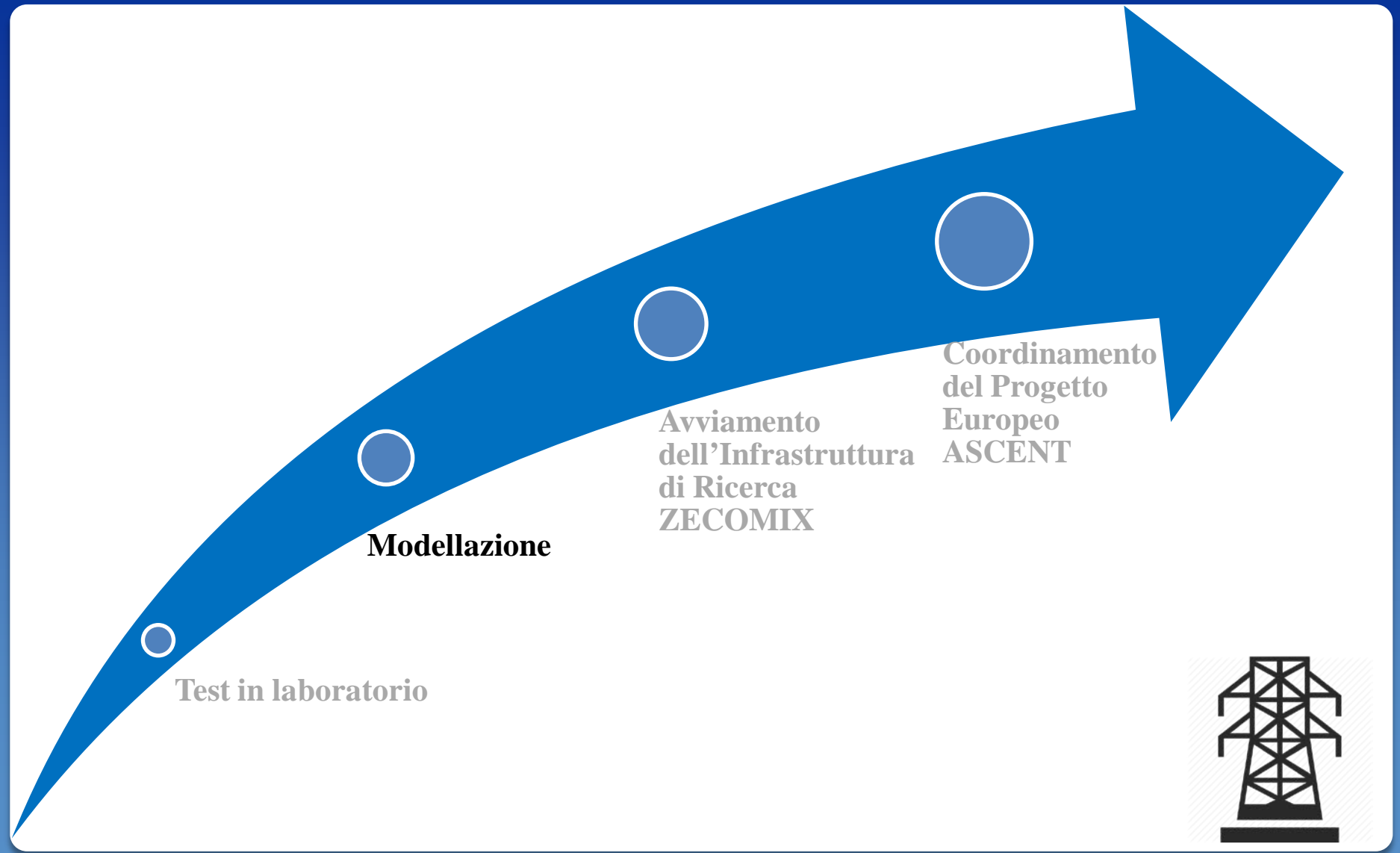


$$\partial \varepsilon = -f_{CaO} (Z - 1) \partial X$$

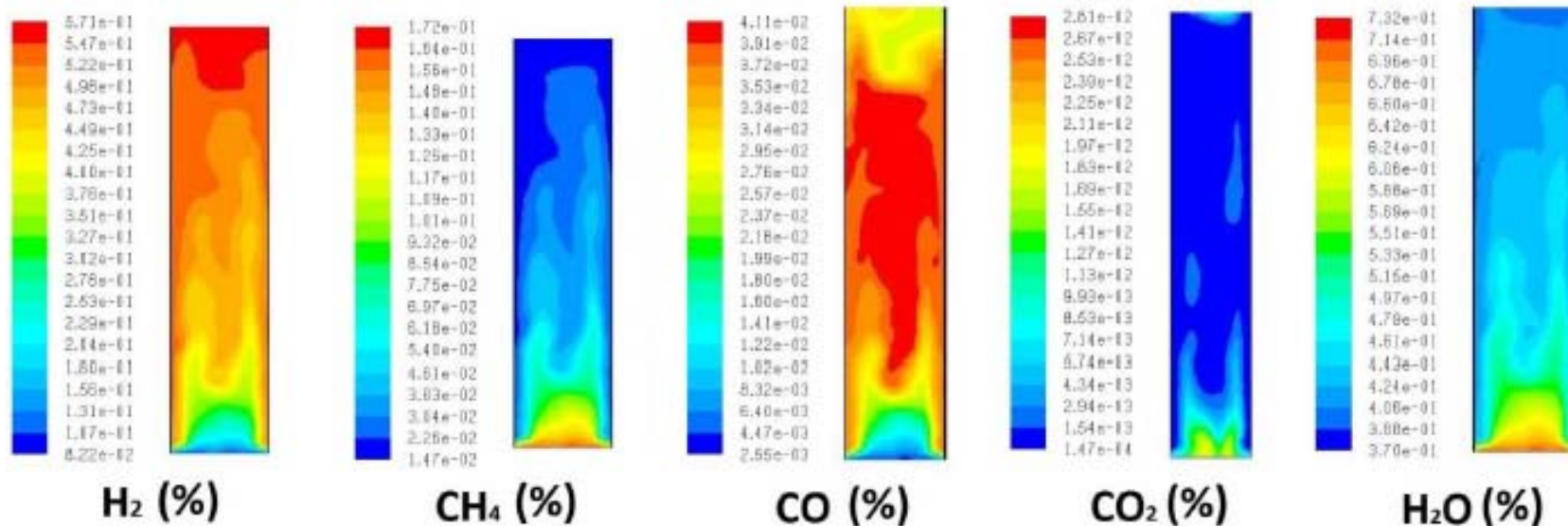
$$N_{Ca} \frac{dX}{dt} = \frac{\sigma_{0,CaO} k (1 - X)^{2/3} (C_{AS} - C_{Ae})}{1 + \frac{k}{2D_{PL}} \delta_{CaO} \sqrt[3]{1 - X} \left(1 - \sqrt[3]{\frac{1 - X}{1 - X + XZ}} \right)}$$

Stando and Foscolo 2009

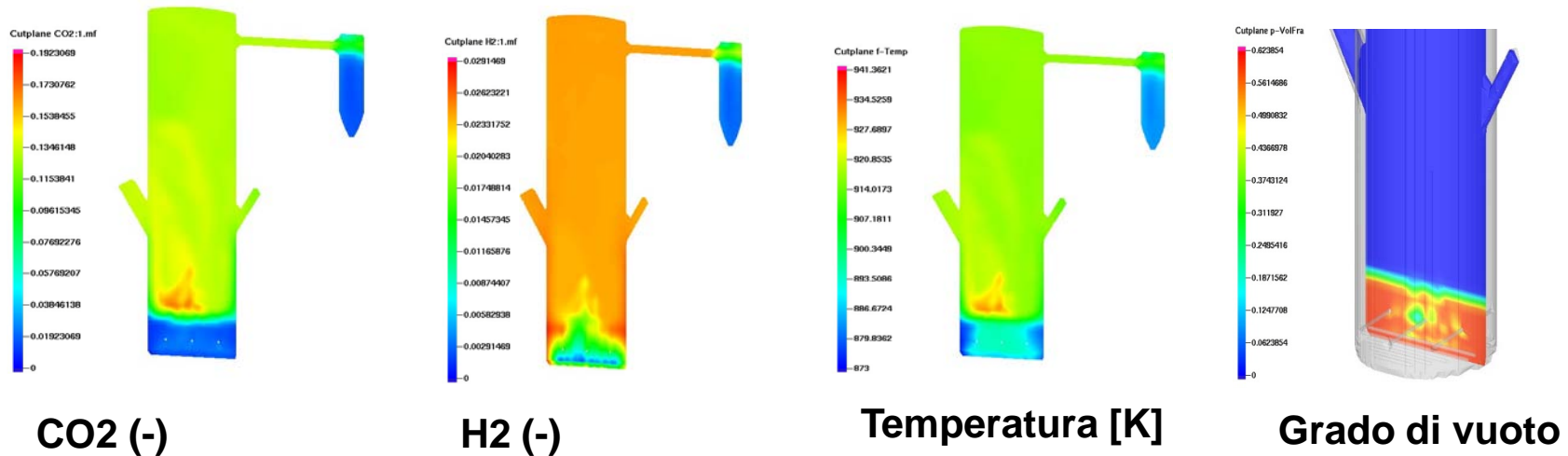




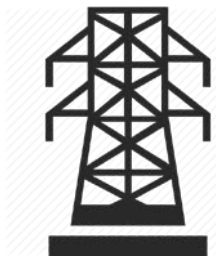
Modellazione di letti fluidi



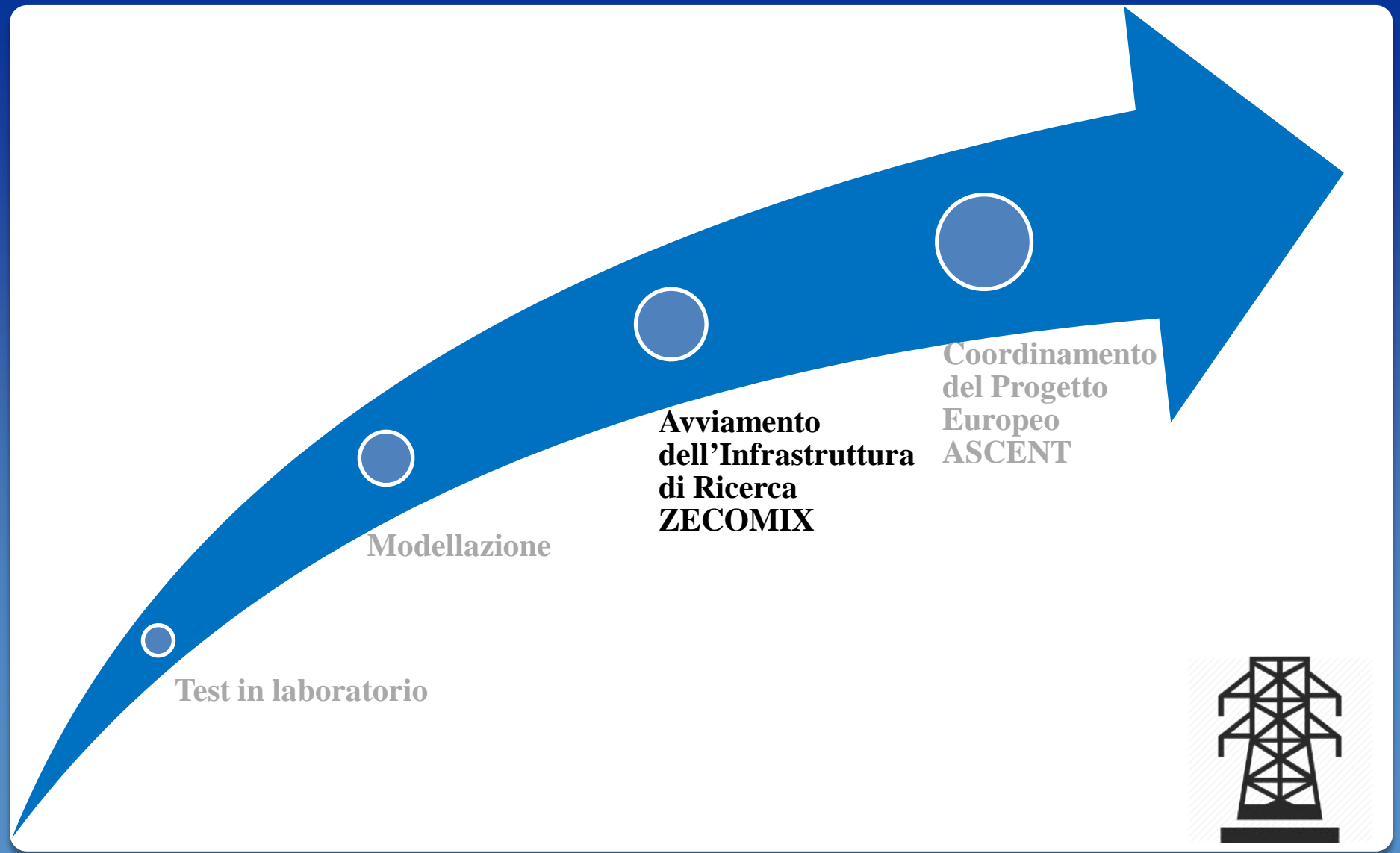
Modellazione di letti fluidi



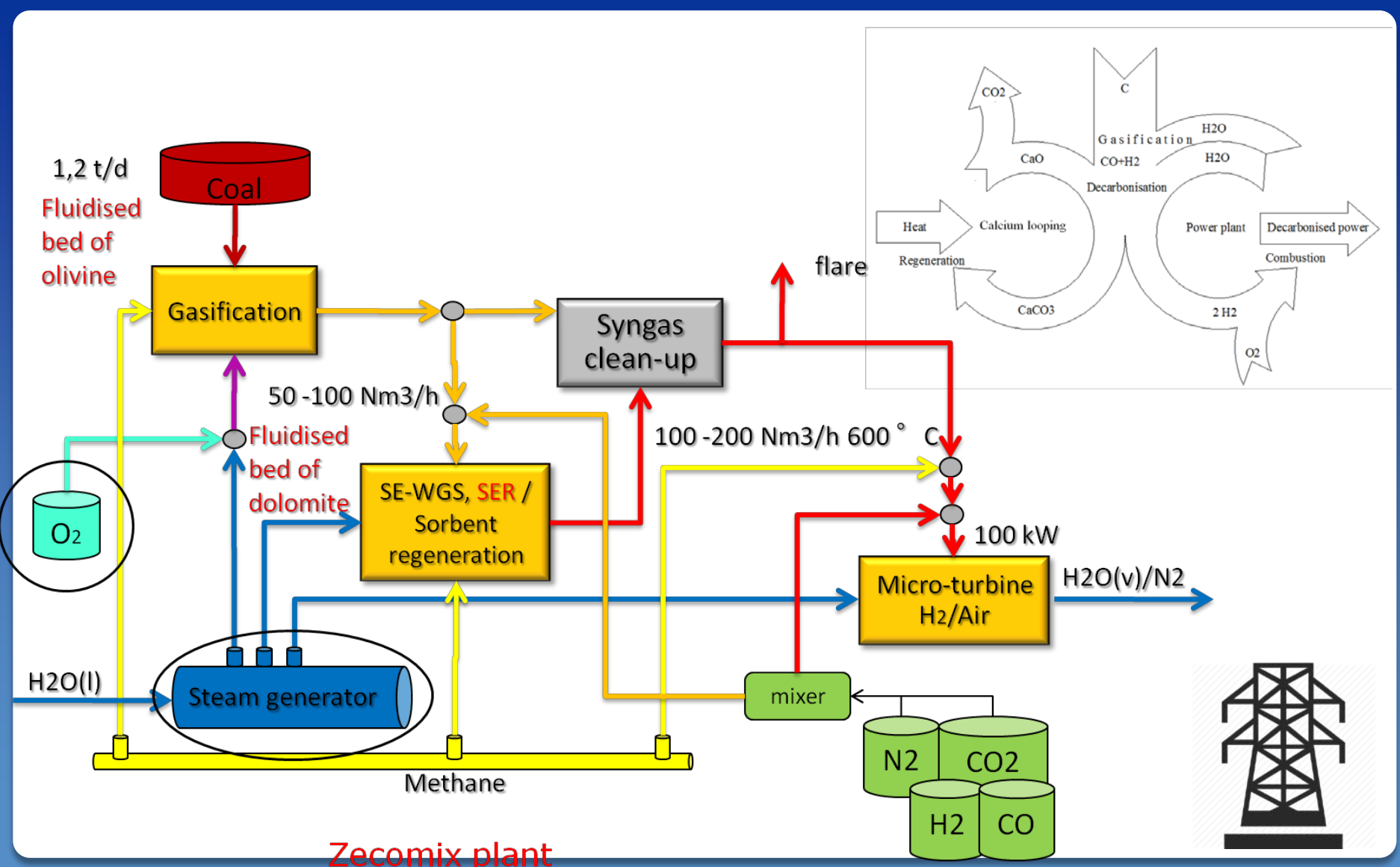
Approccio Euleriano-Lagrangiano



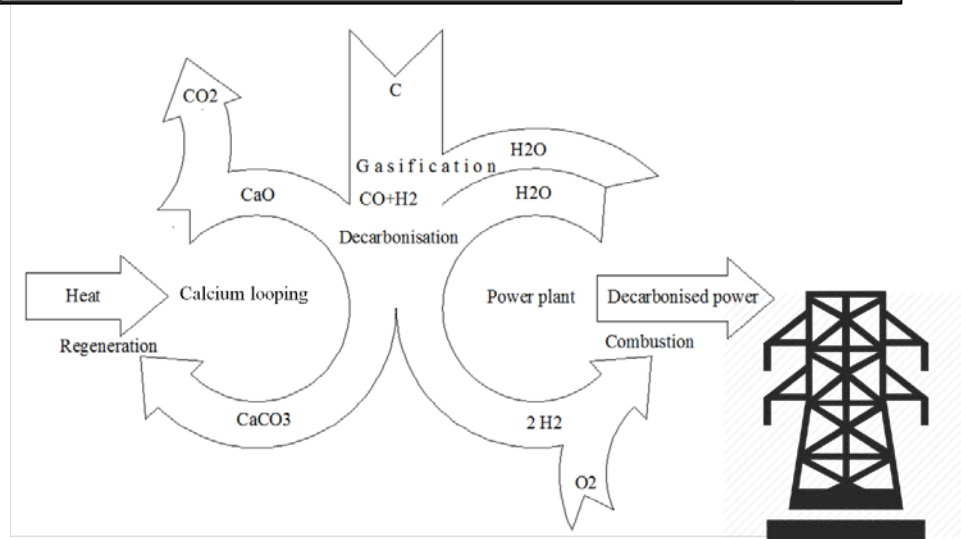
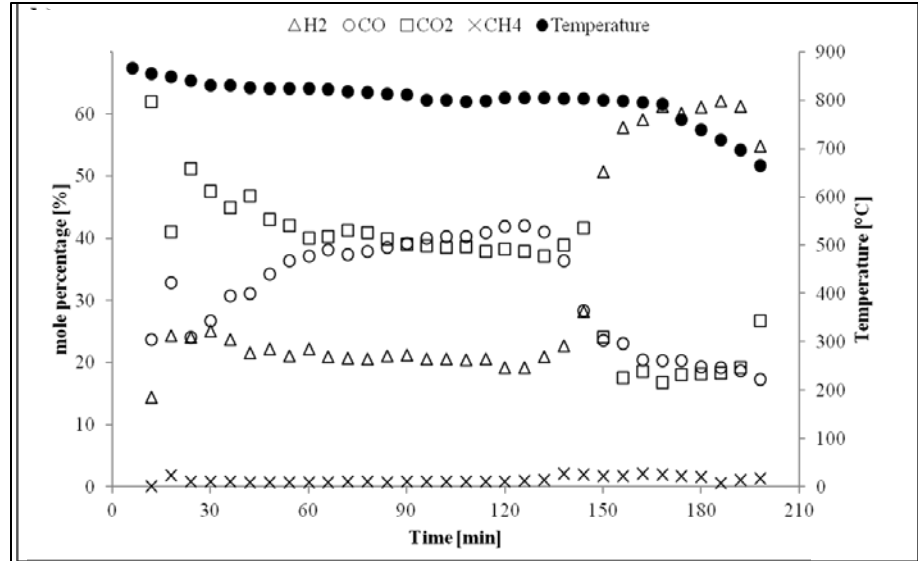
Infrastruttura di Ricerca ZECOMIX (Zero Emission of CarbOn with MIXed technology)



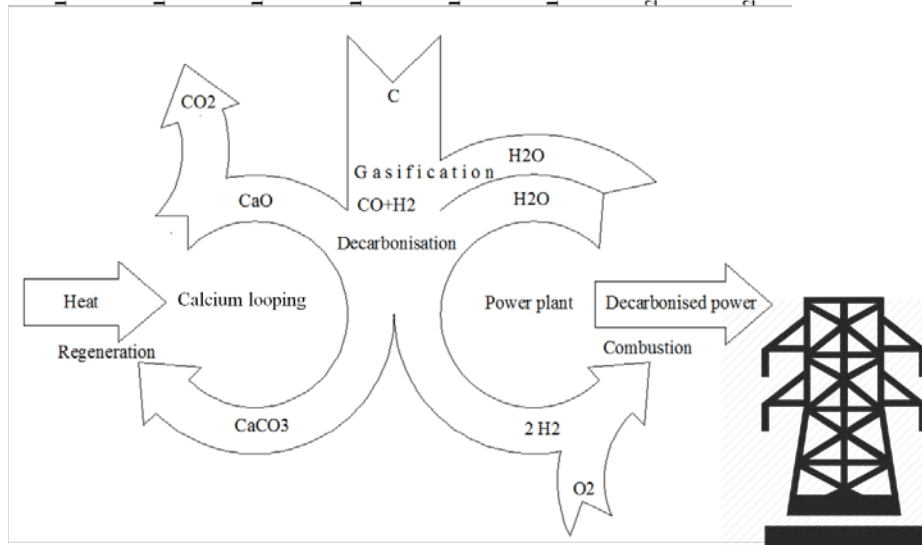
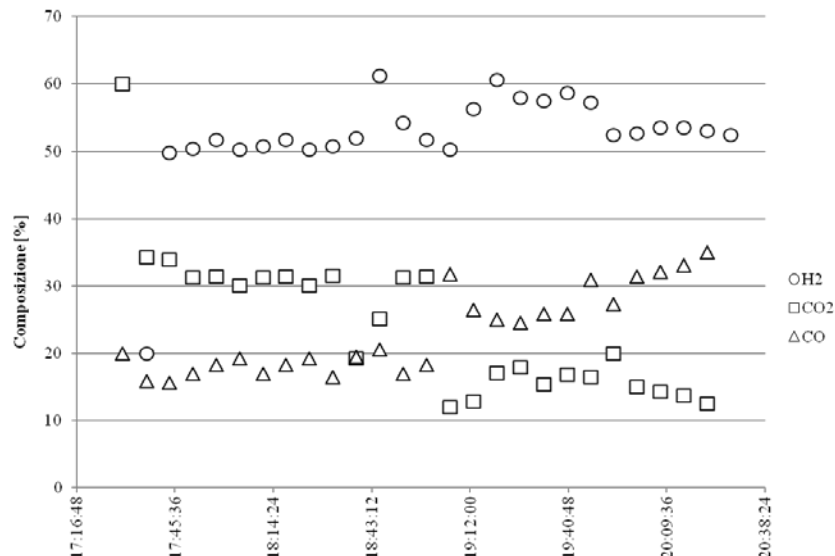
Lay-out dell'Infrastruttura di Ricerca ZECOMIX



Gassificazione del carbone: produzione di syngas ad alta qualità



Conversione del gas d'acqua ad alta temperatura (650 °C)





MERIL
MAPPING OF THE EUROPEAN
RESEARCH INFRASTRUCTURE
LANDSCAPE

Latest additions

[MetaboHUB Métabolomique / MetaboHub](#)
Last updated on: 2013-12-02 at 18:43

[Vienna Scientific Cluster VSC](#)
Last updated on: 2013-11-22 at 10:14

[National Plant Phenomics Centre- Aberystwyth University NPPC](#)
Last updated on: 2013-11-21 at 18:04

[Opificio delle Pietre Dure OPD](#)
Last updated on: 2013-11-21 at 15:12

[Nanoscience Foundries and Fine Analysis - Demonstrator NFFA-DEMO](#)
Last updated on: 2013-11-21 at 14:42

[See all RI's »](#)



The MERIL database is an inventory of openly accessible research infrastructures (RIs) in Europe of more-than-national relevance across all scientific domains: from archives and statistical offices to biobanks, satellites and particle accelerators. Read more [about MERIL](#).

Search below for research infrastructures in Europe that interest you and create pdf and statistical reports.

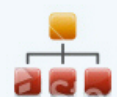
Note: The MERIL database is continuously being populated. Only complete entries are visible on the website.



General search

Free text search in the database on all Research Infrastructure related topics

Search



Scientific Domain

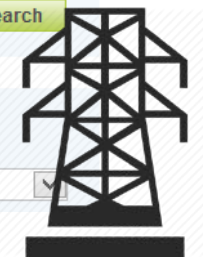
Engineering and Energy

RI Category

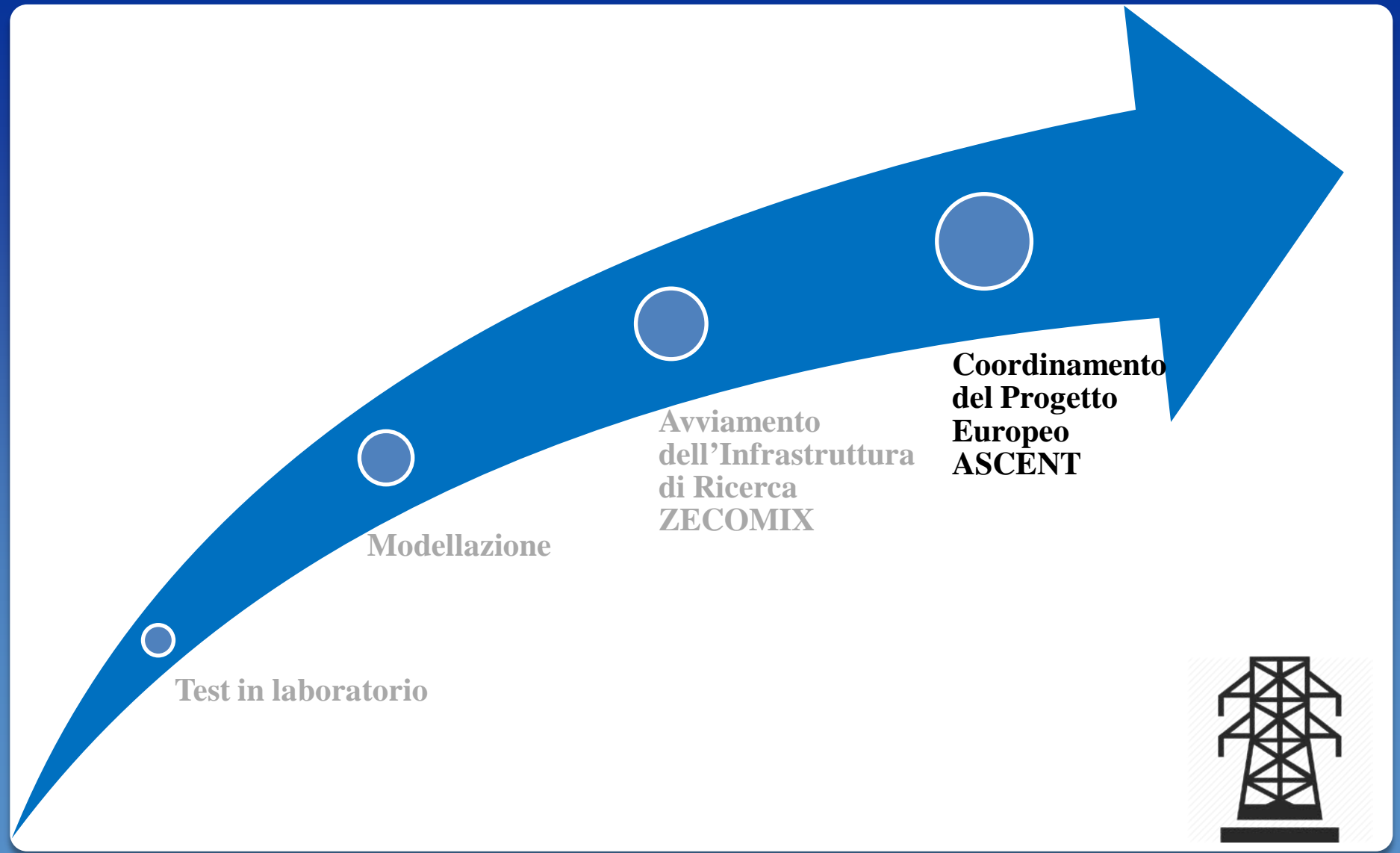
Energy Engineering Facilit

Country

Italy



Coordinamento del Progetto Europeo ASCENT



ASCENT: Advanced solids Cycles with Efficient Novel technologies



16 Partner Europei
7 Nazioni

5 Stati membri: Paesi Bassi, UK, Italia, Francia, Spagna;
2 Stati associati: Norvegia, Svizzera

Dimensione economica: 9.2M €

Sviluppo e trasferimento tecnologico di tre differenti processi usando materiali solidi a base di calcio e magnesio in condizioni industriali per la produzione di energia elettrica ed idrogeno

Call: New generation high-efficiency capture processes

www.ascentproject.eu



ASCENT: trasferimento dell'innovazione tecnologica



Stefano
Standardo



Paul
Cobden



Pier Ugo
Foscolo



Julien
Meyer



Fausto
Gallucci



Matteo
Romano



Murillo
Ramon



Paul
Fennell



Thangavelu
Jayabalan



Suzanne
Ellis



Arnaud
Dauriat



Richard
Blom



Rob Van
Ruijven



Delphine
Maury



Brian
Sweeney



Björg
Andresen



Indici di prestazione basati sulla sintesi e caratterizzazione del materiale solido



THE UNIVERSITY OF
NEW SOUTH WALES
SYDNEY · AUSTRALIA



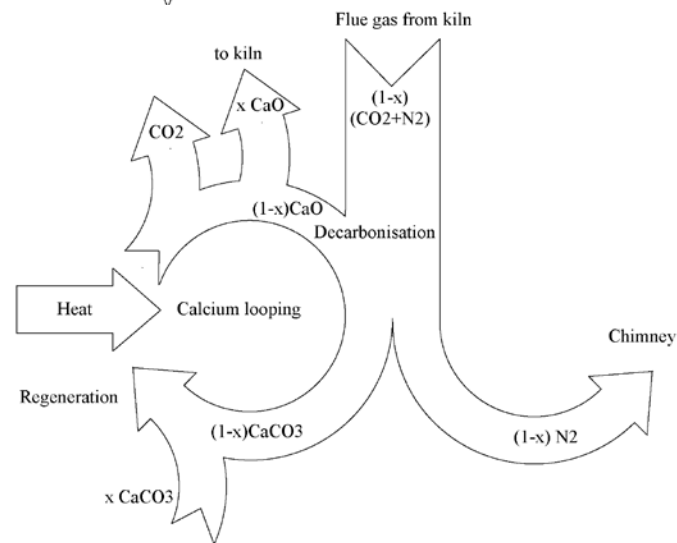
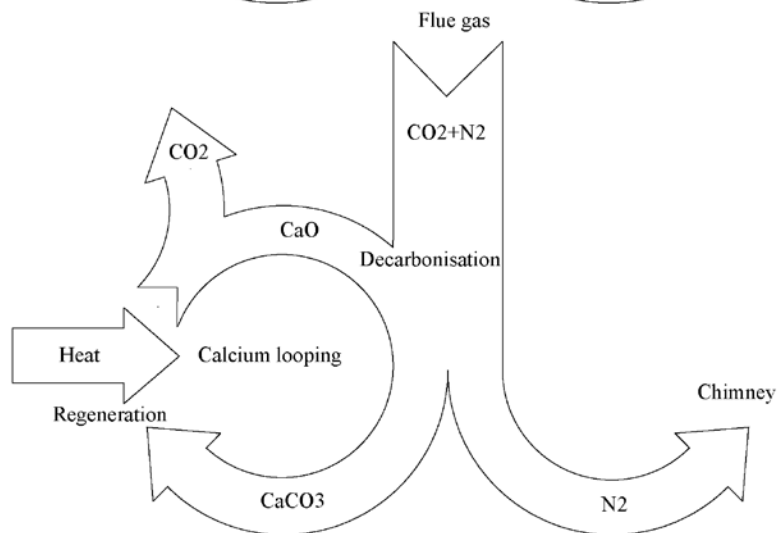
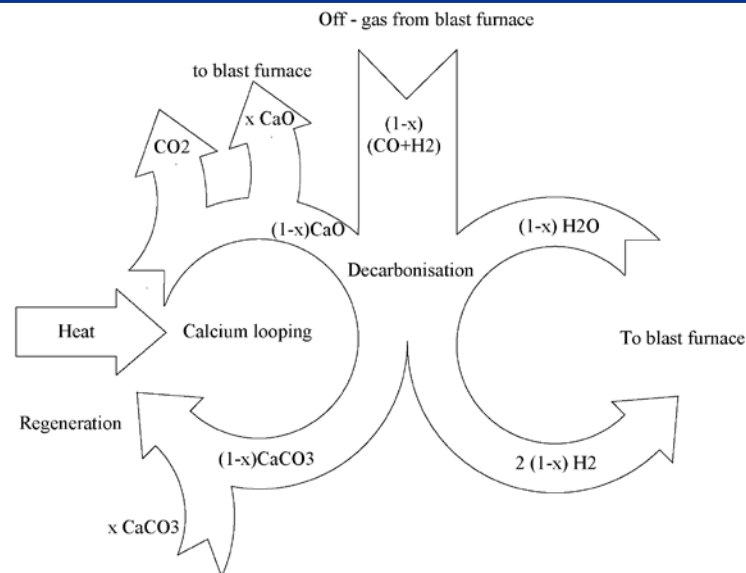
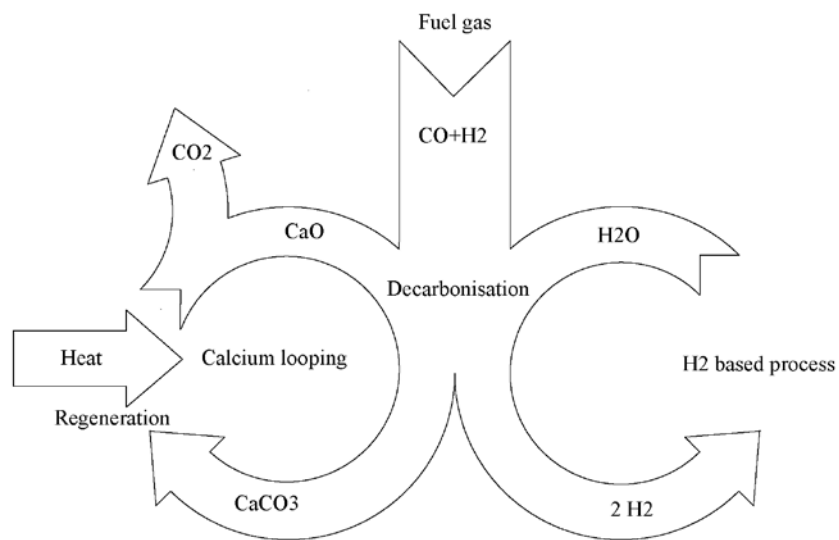
Australian
National
University

**Ottimizzazione termodinamica:
Australian National University**

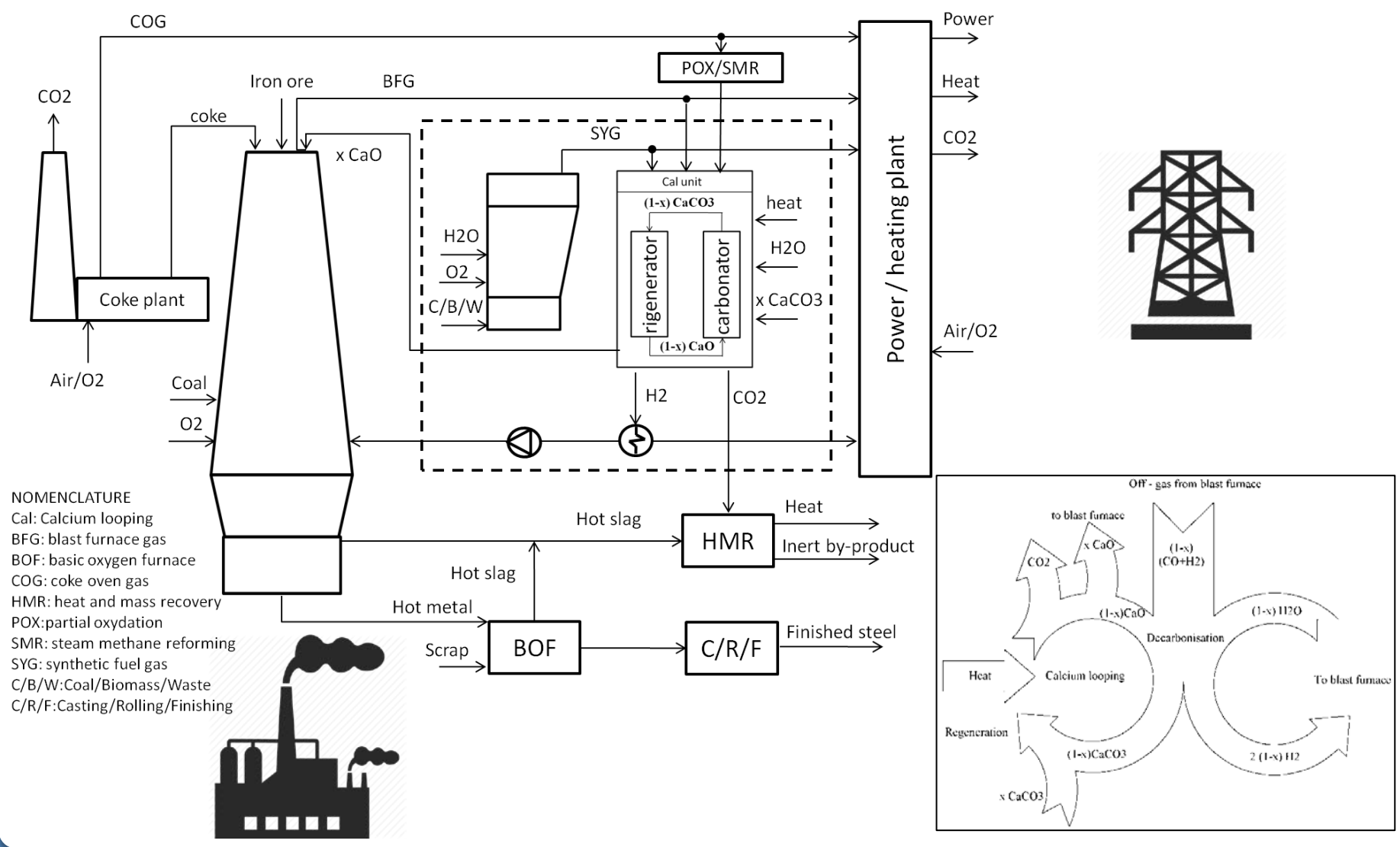
**Ottimizzazione economica:
CO2CRC**

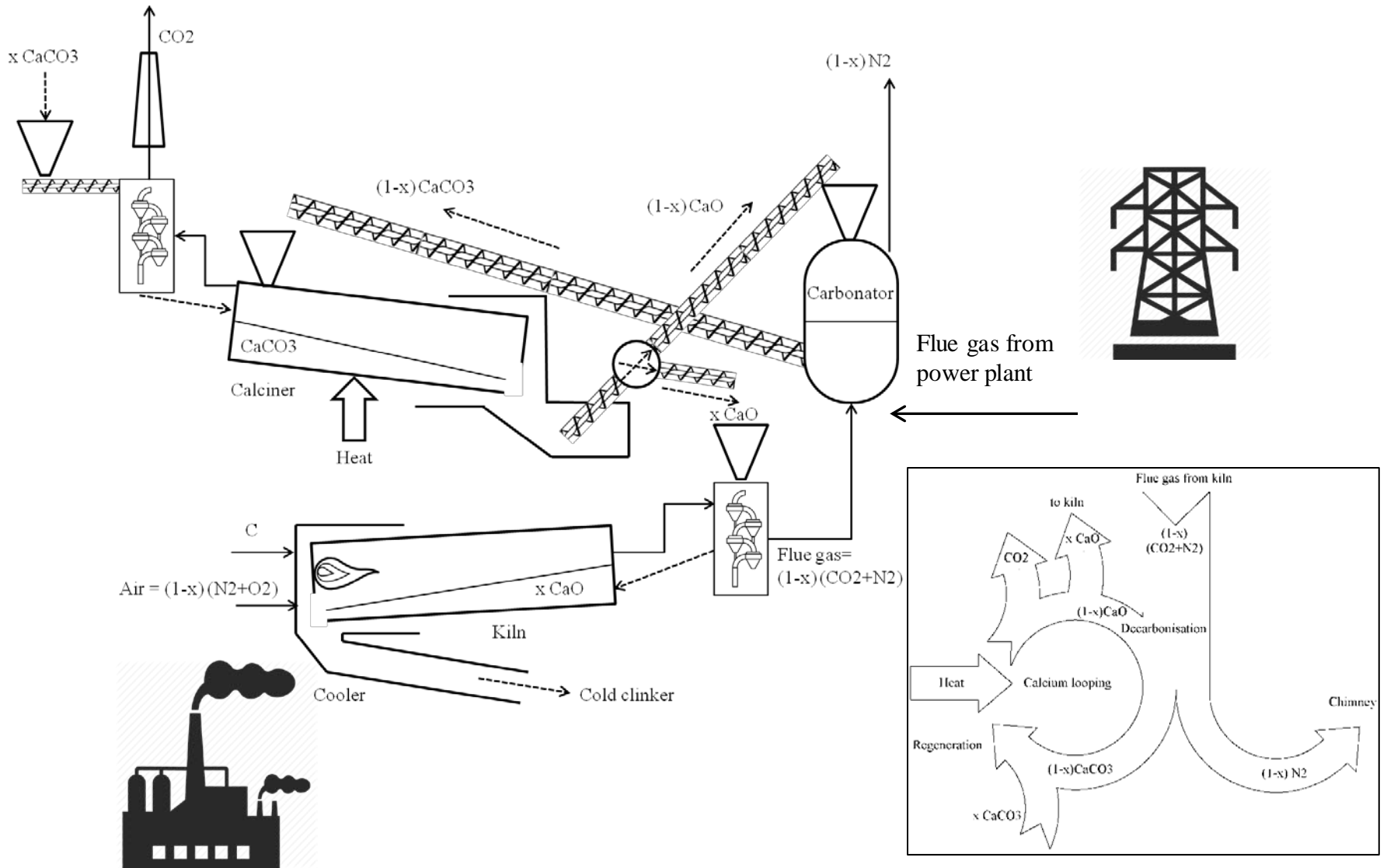
Quali saranno i nostri obiettivi futuri?

Decarbonizzazione intrinseca del settore industriale

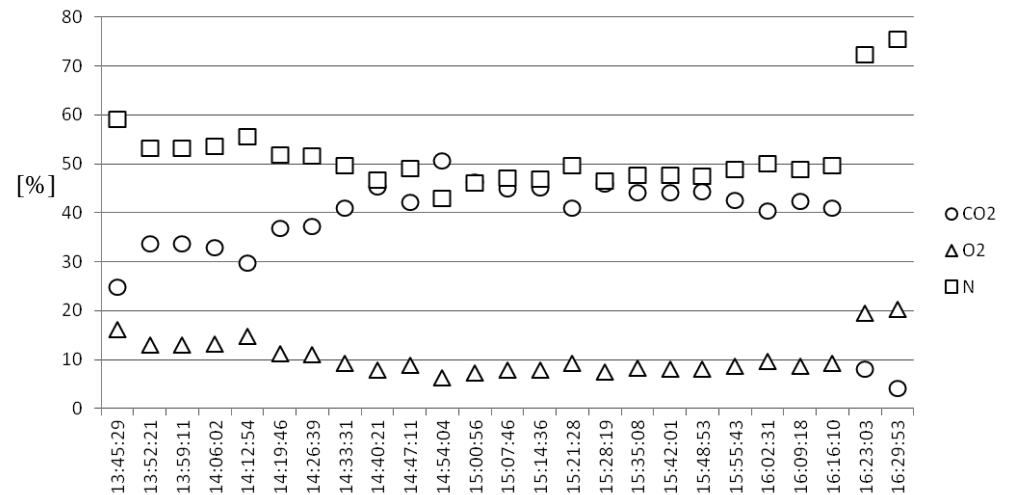
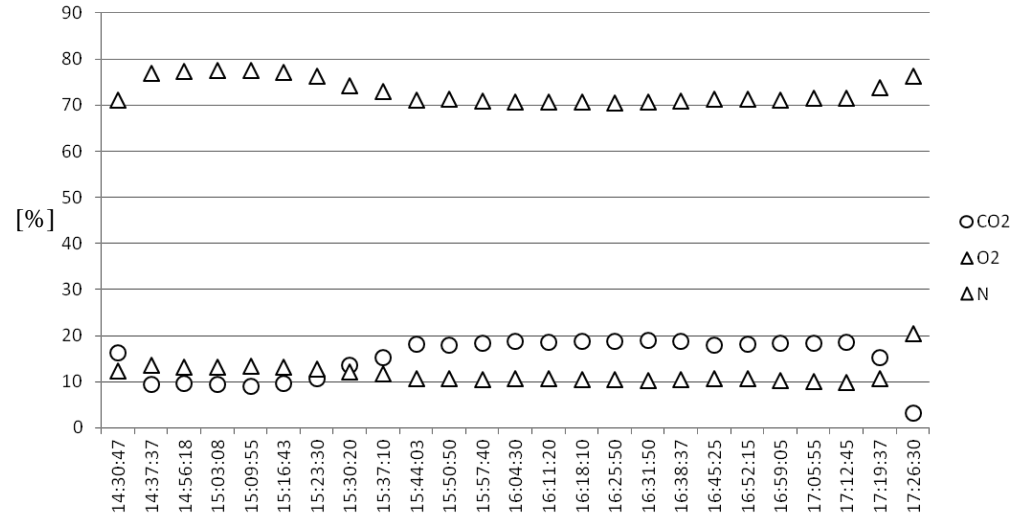
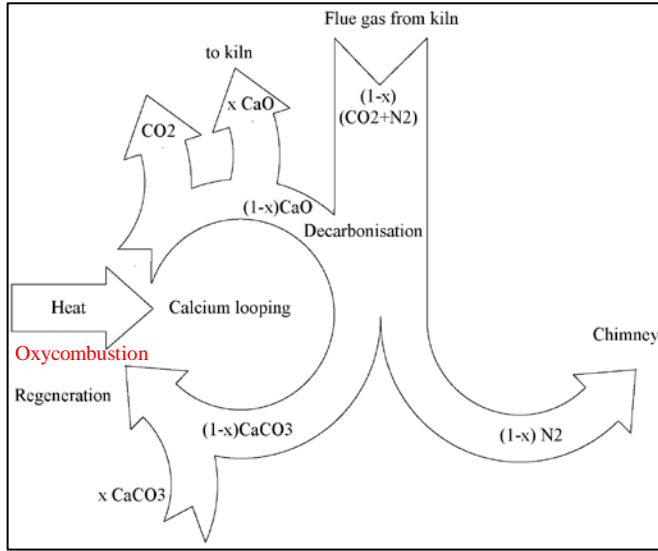


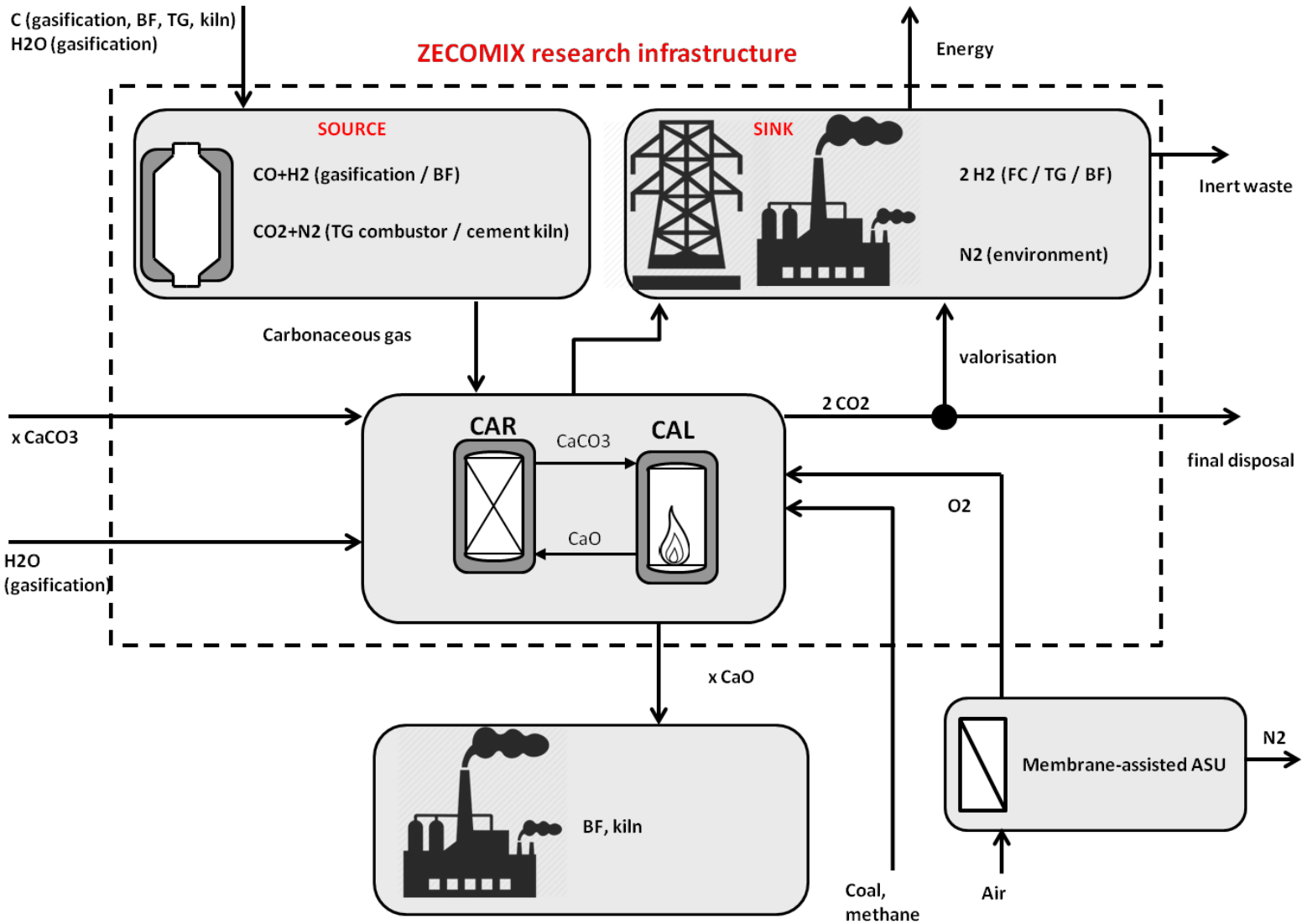
Acciaierie 2.0



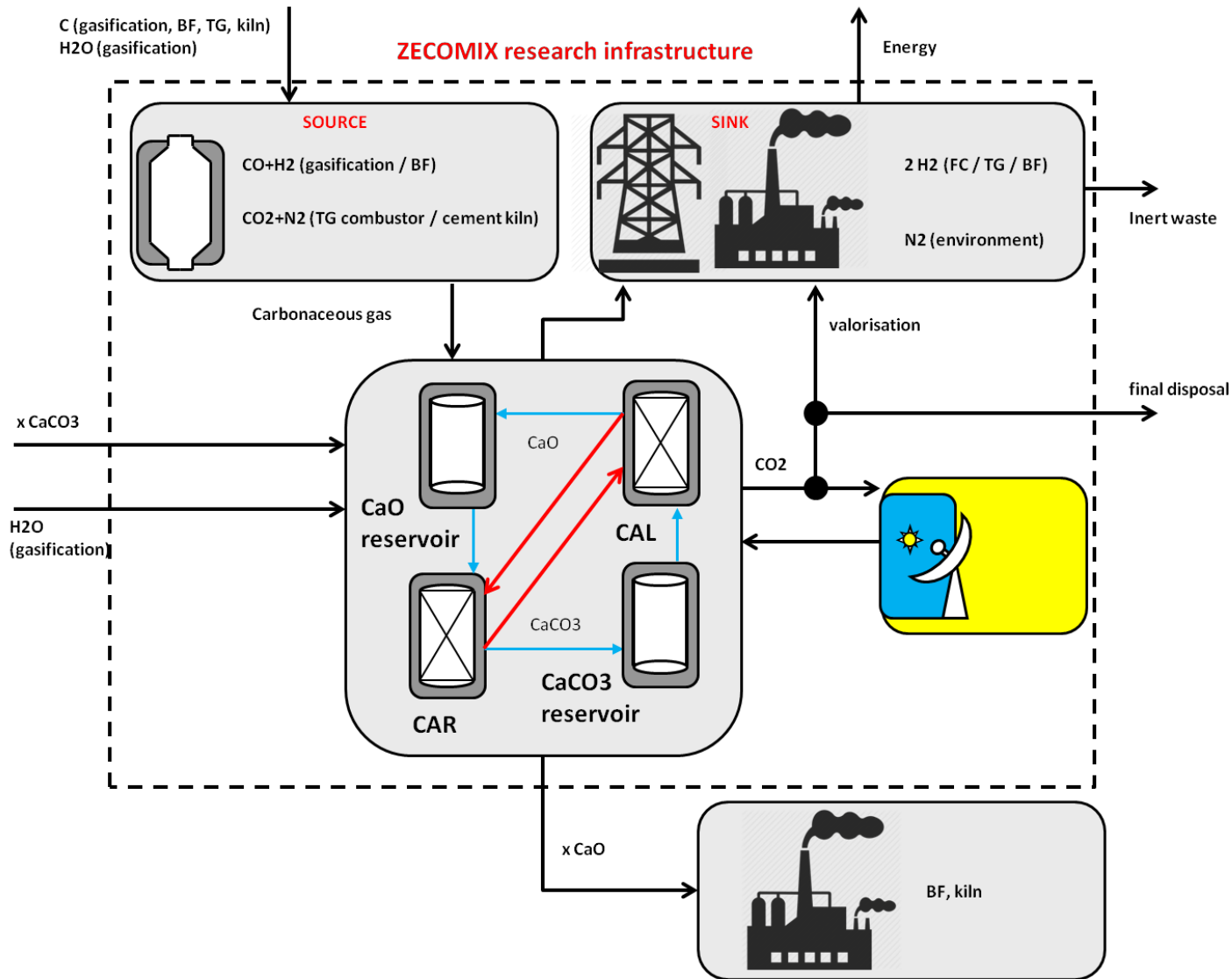


Effetti della CO2 sulla rigenerazione del sorbente





Calcium looping 2.0: la svolta sostenibile delle CCS



Sostenibile economicamente e ambientalmente

	Unità	Caso base (polverino di carbone)	CaL	Oxy-CFB
Costi specifici	[\$/kWe]	1900	2890	3500
Efficienza netta	[kWe/kWth]	0.450	0.388	0.350
Fattore emissione CO2	[kgCO2/MWhe]	750	67(*)	48(*)
Costo dell'elettricità (COE)	[\$/kWe]	0.047	0.066	0.077
Costo CO2 evitata	[\$/tCO2]	-	27	41

(*) Assumendo una efficienza di cattura della CO2 pari a 0.92 per CaL e 0.95 per Oxy-CFB ([Abanades et al 2015](#))

Possibilità di impiegare diverse tecnologie

Cilindro rotante, letto fluido

Integrazione intrinseca con industrie del cemento e dell'acciaio

Evoluzione di industrie mature: diminuzione delle materie prime, abbattimento della CO2, inertizzazione delle scorie

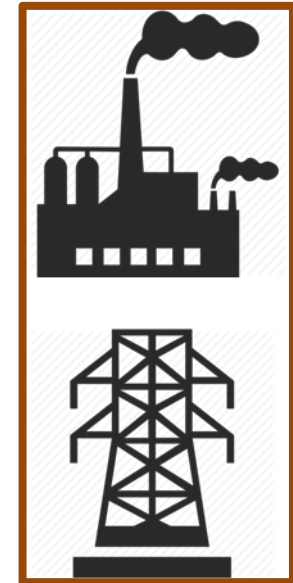
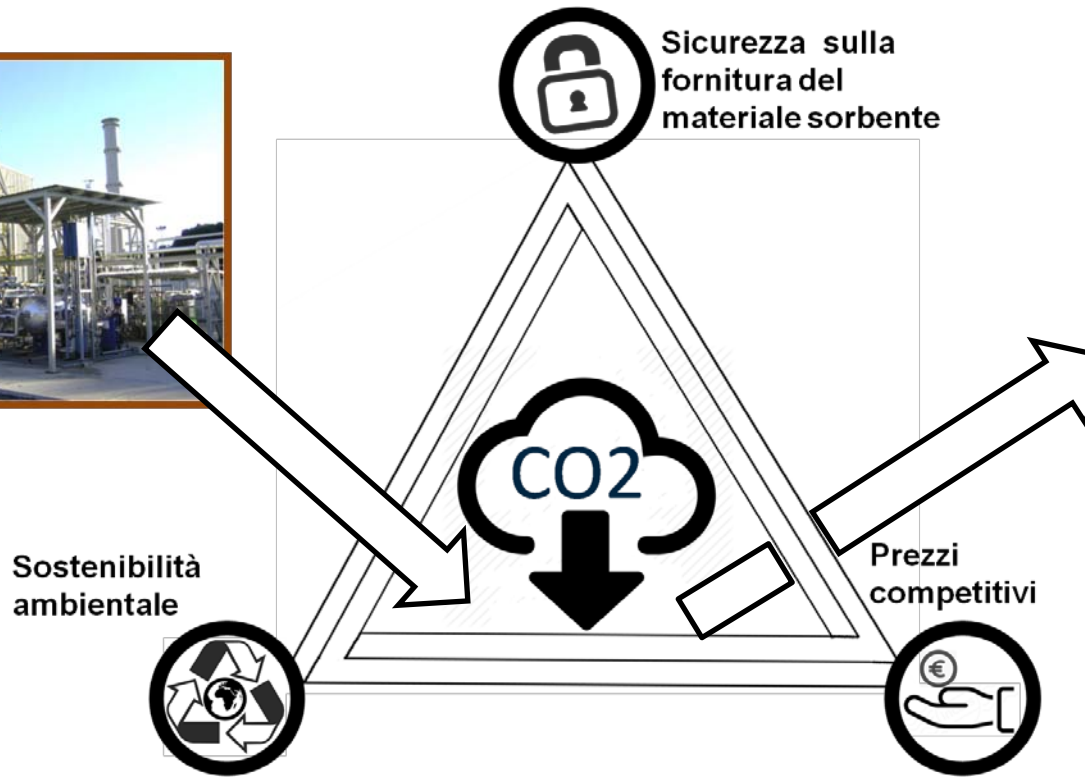
Cattura intrinseca dei composti solforati.

Le industrie del cemento tollerano una presenza CaSO4 non superiore al 10% in peso ([Weimer et al 2008](#))

Integrazione intrinseca con le rinnovabili

Ulteriore diminuzione dell'uso delle fonti fossili, back-up per l'energia solare, accelerazione della diffusione dei sistemi a concentrazione solare (CSP)

Il trilemma delle CCS: trasferimento tecnologico verso realtà produttive intrinseco



Allegato 3
RdS/PAR2014/271

Flessibilità e stabilità di combustione nel futuro
scenario delle turbine a gas

E.Giacomazzi - ENEA



RICERCA DI
SISTEMA ELETTRICO



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Accordo di Programma MiSE-ENEA

Flexibility and Combustion Stability in the Near Future Scenario of Gas Turbines

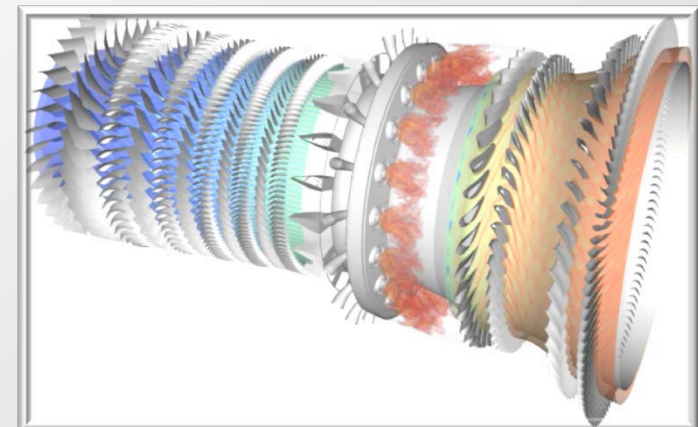
Eugenio Giacomazzi

ENEA, Sustainable Combustion Processes Laboratory

Roma, 24 June 2015



Sustainable Combustion
Processes Laboratory



- ❑ Power generation scenario
 - CO₂ emissions, European energy policy and our research topics
- ❑ “Combustion Instabilities”
 - What they are and what they cause
 - Fuel flexibility: practical examples from GT users
- ❑ “Advanced Supercritical CO₂ Cycles”
 - Load flexibility: practical examples from GT users
 - Why do we need S-CO₂ cycles?
 - Panorama of S-CO₂ projects funded by DOE in US
- ❑ ENEA’s activities in Europe and in AdP-PAR2014
- ❑ Conclusions

Present Global CO₂ Emission Scenario

- In 2014 the **global** emission of **CO₂ did not rise for the first time in 40 years** [Faith Birol, IEA chief economist, March 2015].
 - Quite remarkable since the global economy grew by 3%.
 - This reduction is mainly due to:
 - a lower energy consumption in China;
 - a major shift from coal to natural gas in the US;
 - an increased overall use of natural gas in Asia;
 - an increased LNG demand in Asia over the last decade as a result of economic growth and the need to curb air pollution.

- But in **Europe** ...

Power Generation Future Scenario

- EU Energy Roadmaps and its Drawbacks -



CO₂ Reduction
40%* by 2030
80-95% by 2050



Increased GT Emissions

- More CO₂: 8% / MWh
- More CO
- More NO_x

- ❑ Increasing Share of Renewables
- ❑ Low or Carbon Free Fuels
- ❑ CCUS



- ❑ Stability of the Electrical Grid
- ❑ Gas-Fired Power Capacity at Risk
- ❑ Combustion Dynamics

Unpredictable load variations (2013 data)

- Spain: 13 GW (daily)
- Germany: 25 GW (daily)
- National load ramps of 5 GW/h

Idled or closed plants (2013/14 data)

- 14% (24.7 GW) of EU installed capacity idled, closed or at risk in 2013
- Up to 50 GW may be closed by 2015/16 [CEDIGAZ, 2014]

Failures and unexpected overhauls

- Mainly due to fuel-variation

*Compared to 1990

Needs Upon This Scenario and Motivation of Our Research Topics

→ “Dynamics, Monitoring and Control of Combustion Instabilities”

operational flexibility

□ Increase fuel- and load- flexibility of present GT power plants, and thus their efficiency, maintaining safe and reliable operation with low pollutant emission.

□ Integrate renewable and GT back-up power plants.

□ Identify new more flexible GT cycles including highly integrated and cost effective CCS.

→ “Advanced Supercritical-CO₂ Cycles”

Dynamics, Monitoring and Control of Combustion Instabilities in Gas Turbines

Lean Premixed Combustion and Its Drawbacks

❑ Lean-PreMixed (LPM) and Lean-Premixed-Prevaporized (LPP) combustion: **state-of-the-art technologies** in stationary GTs for highly efficient low emission power generation.

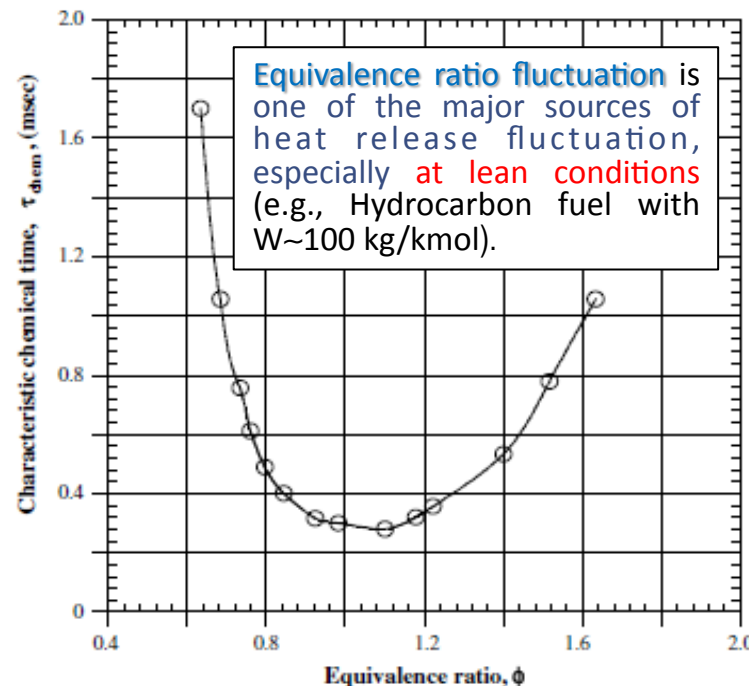
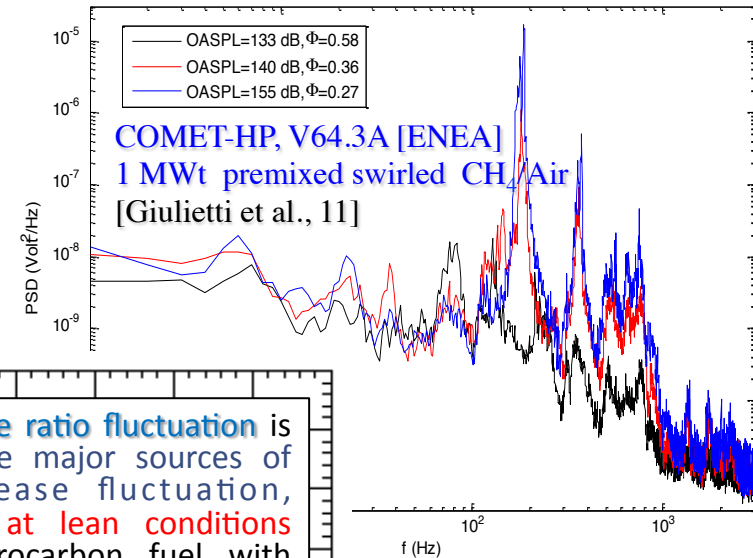
❑ **Drawbacks:** noisy **large amplitude pressure fluctuations** ($>1-10\% P_c$, mean chamber pressure), known as thermo-acoustic (operational) combustion instabilities.

➤ Interference with engine operation (**flashback** and **Lean Blow Out**).

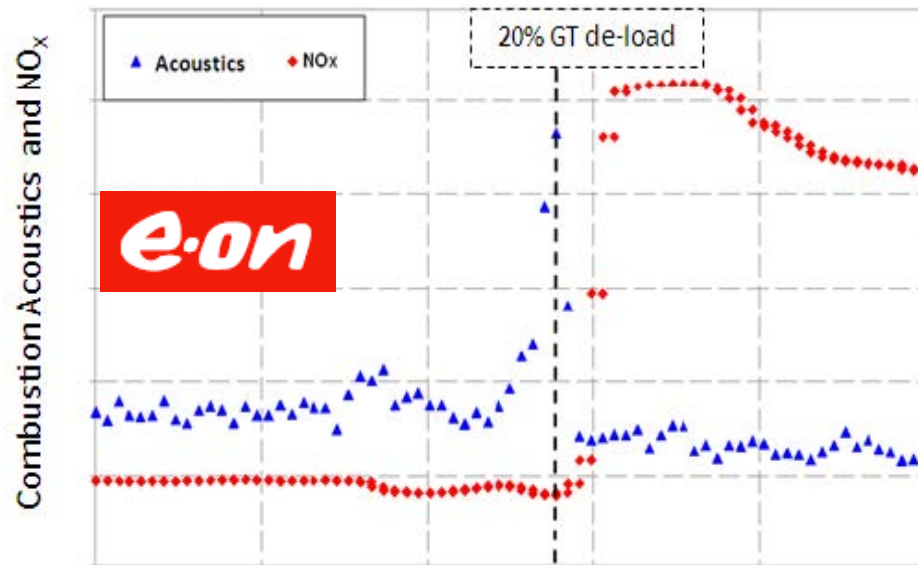
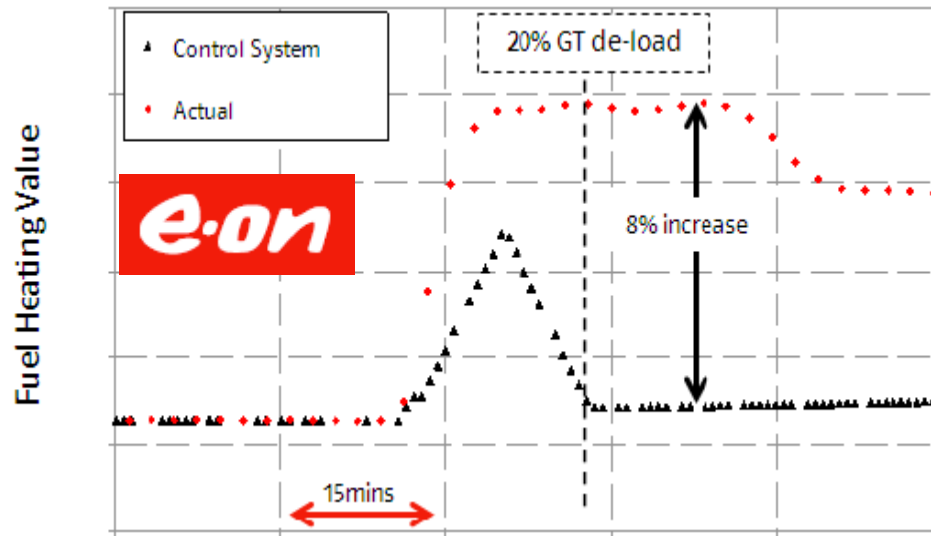
➤ **Vibrations** in mechanical components.

➤ **Failure** of the system, due to cyclic mechanical and thermal loads to the walls and turbine blades.

❑ Due to **resonance** of heat release oscillations with the combustion chamber acoustics.



Effect of Fuel Composition Changes

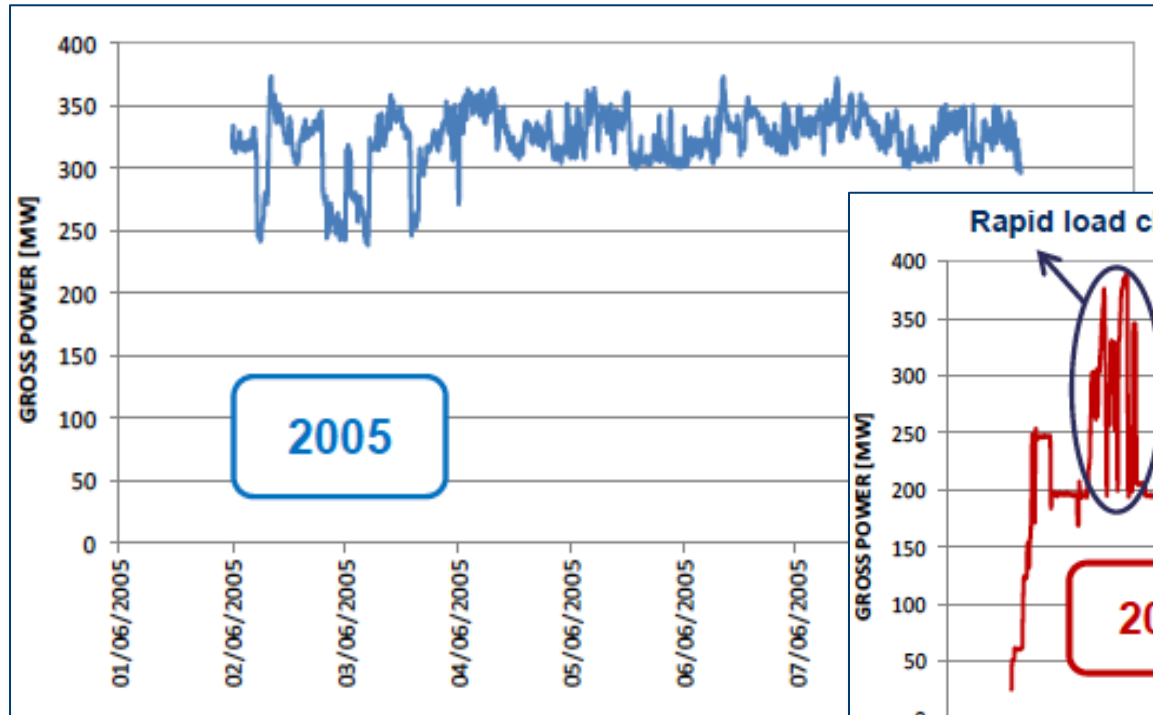


Aero derivative GT in a Combined Heat & Power application

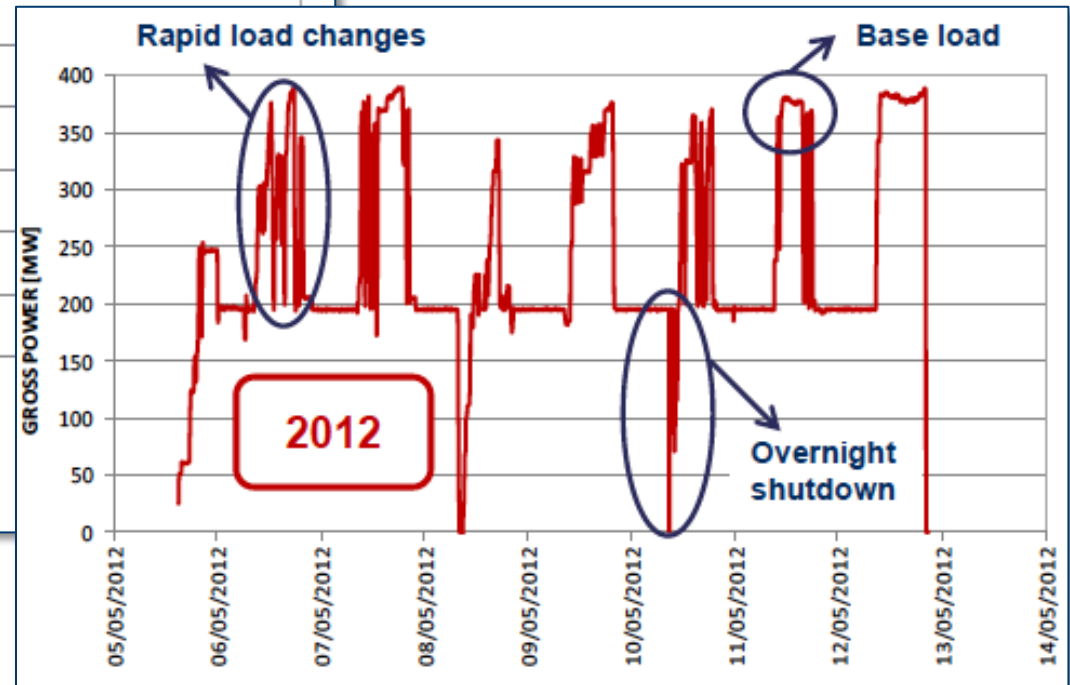
- ❑ Several de-loads/trips: large variations in fuel composition, probably due to the close proximity to a gas storage facility.
- ❑ Rapid (<8 min) 8% increase in the measured fuel heating value.
- ❑ Control system: reversed to default, causing incorrect fuel splits.
 - ❑ 90% noise increase.
- ❑ 20% de-load: imposed by the control system due to the high dynamics.
 - ❑ Strong NO_x increase due to incorrect fuel splits.
- ❑ Mitigation: change of the control constants.

Advanced Supercritical CO₂ Cycles

CCGT Operation in the Current Renewable-Dominated Scenario



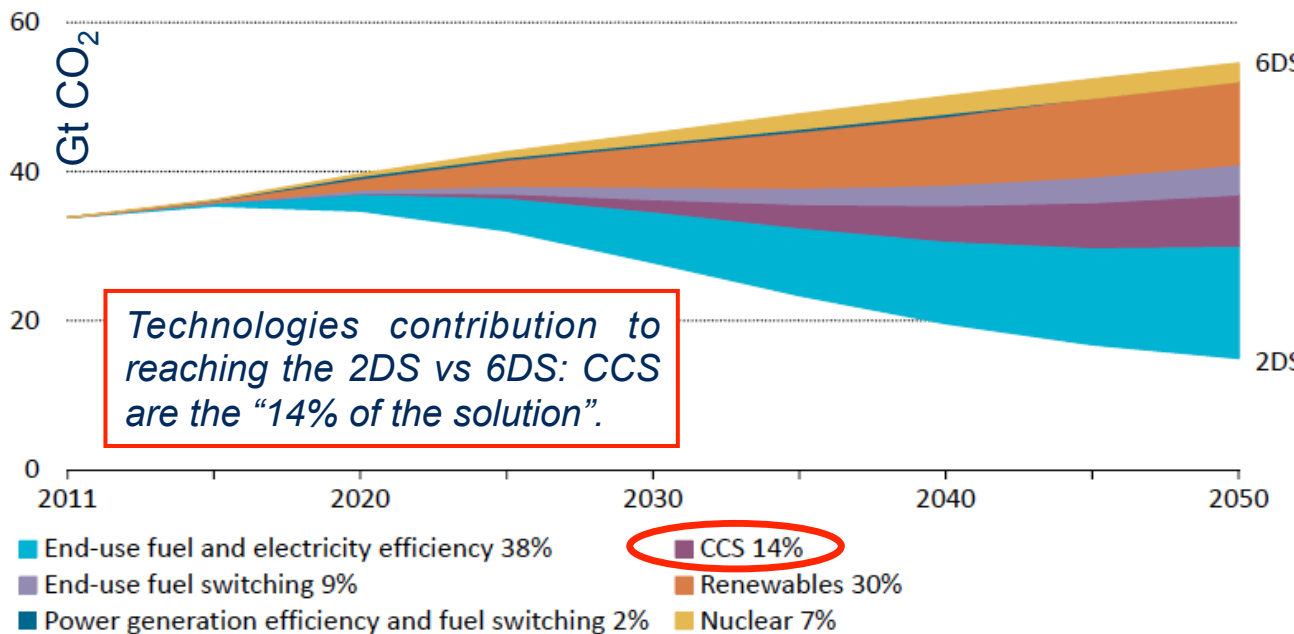
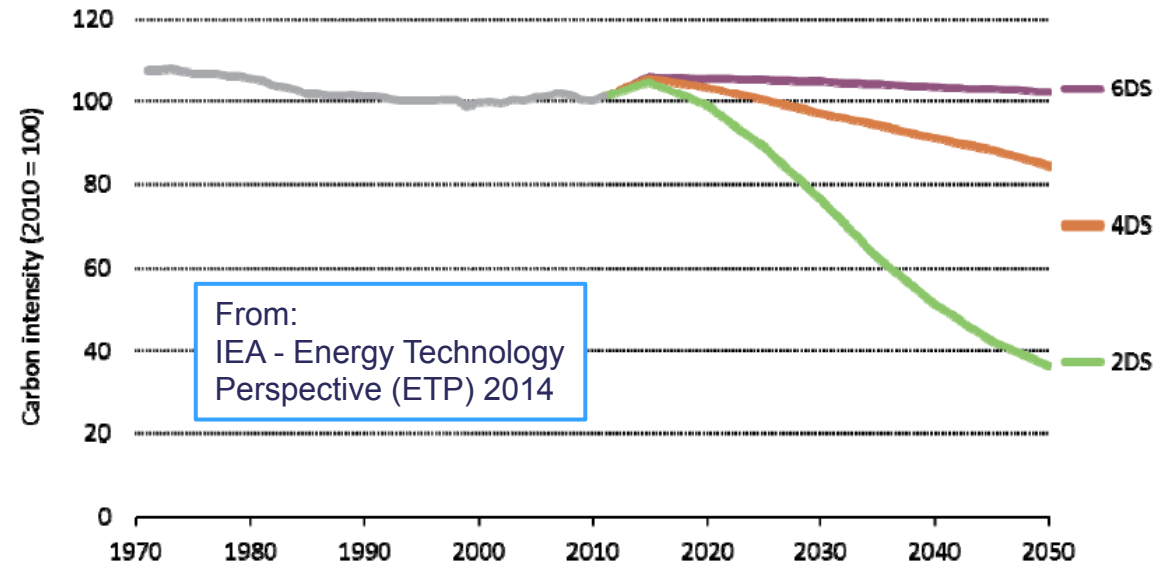
Typical **weekly trend** of a **combined cycle power plant** in Italy [courtesy of ENEL].



- ❑ Power plant operation in 2012, with respect to 2005, shows an **increased number of start-up / shutdown** cycles, **reduced operation at base load**, and operation at **minimum environmental load during night time**.
- ❑ The scenario would be **worst if** weakly flexible **CCS** were implemented.

The Importance of CCS in Current CO₂ Scenarios

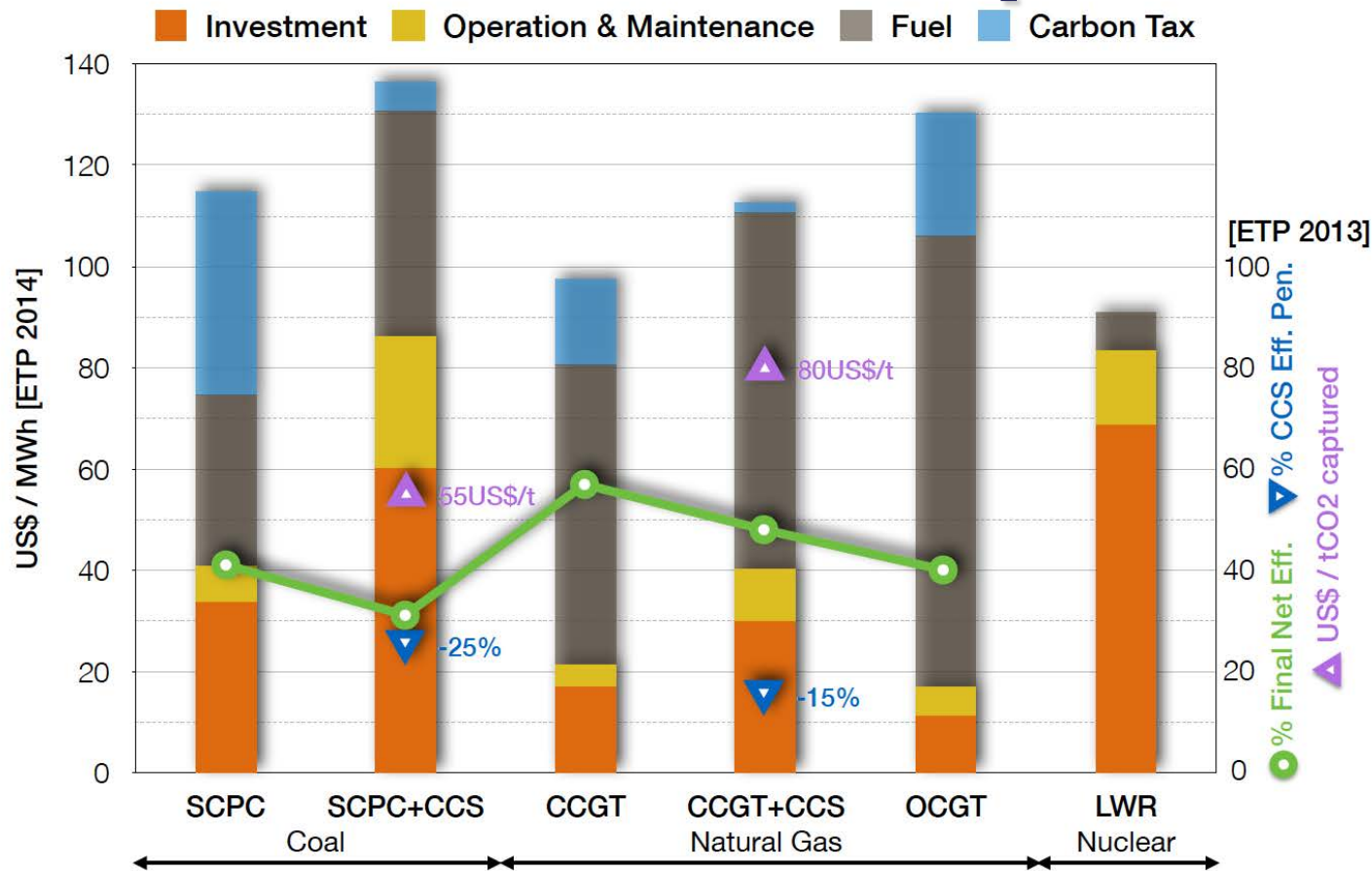
- From 2009 to 2050 global final **electricity demand** nearly doubles.
- Both conventional and unconventional **natural gas** continue to play an important role in power generation until 2050.



CCS is a key technology to make sustainable the energy demand from fossil fuels.

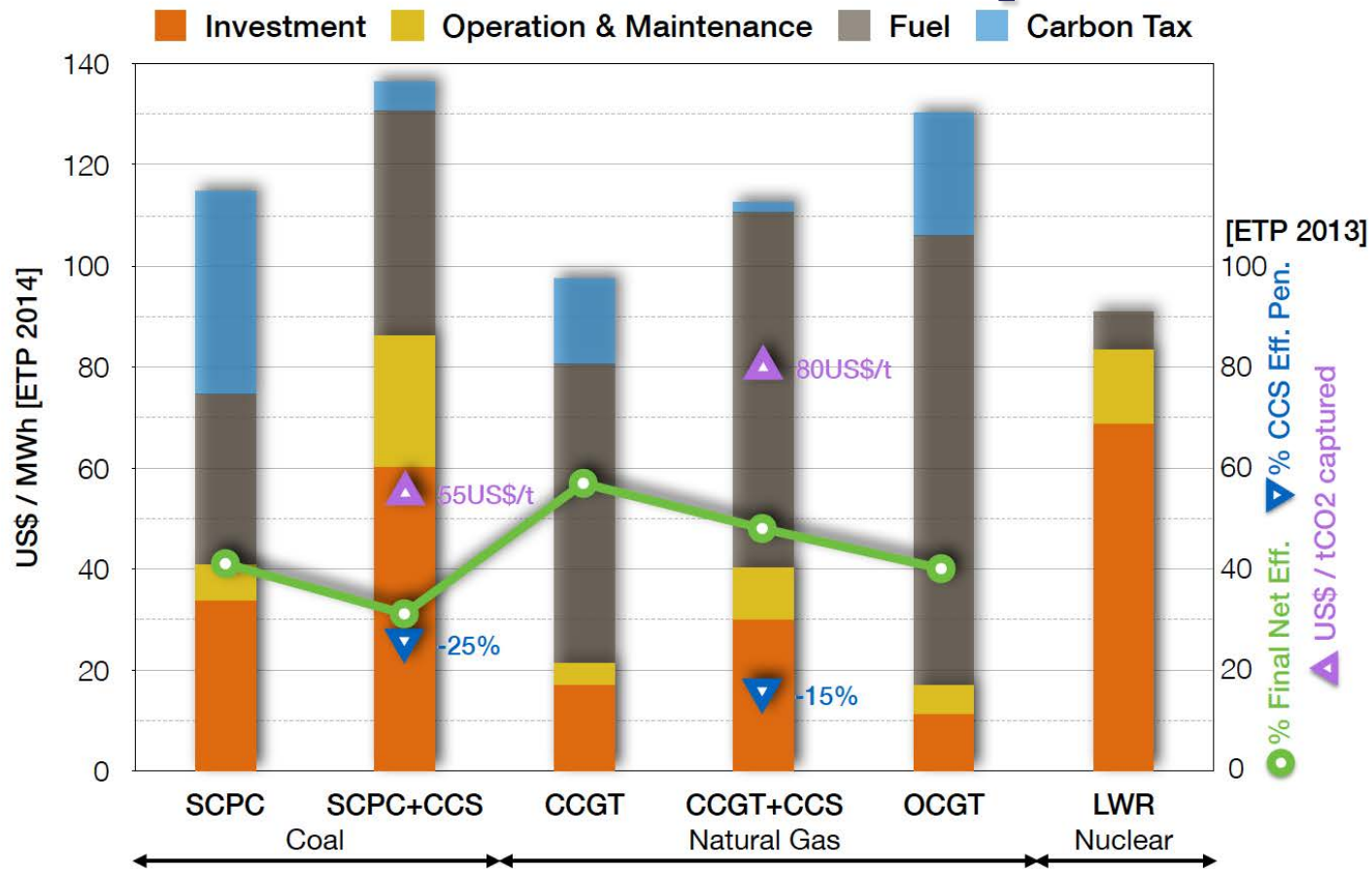
CCS deployment is occurring too slowly due to high costs and a lack of political and financial commitment.

CCS and Current Power Plants [ETP 2013/14]



- From the point of view of the **final cost of electricity** (assuming a carbon tax), **CCGT are more competitive than SCPC plants, with or without CCS [ETP 2014], ...**
- ... although the **cost of CO₂ captured (US\$/tCO₂)** is lower for coal plants.
- This since both the **relative net efficiency penalty due to CCS (%)** and the **final net efficiency with capture (LHV, %)** favour CCGT [ETP 2013, OECD countries].

CCS and Current Power Plants [ETP 2013/14]



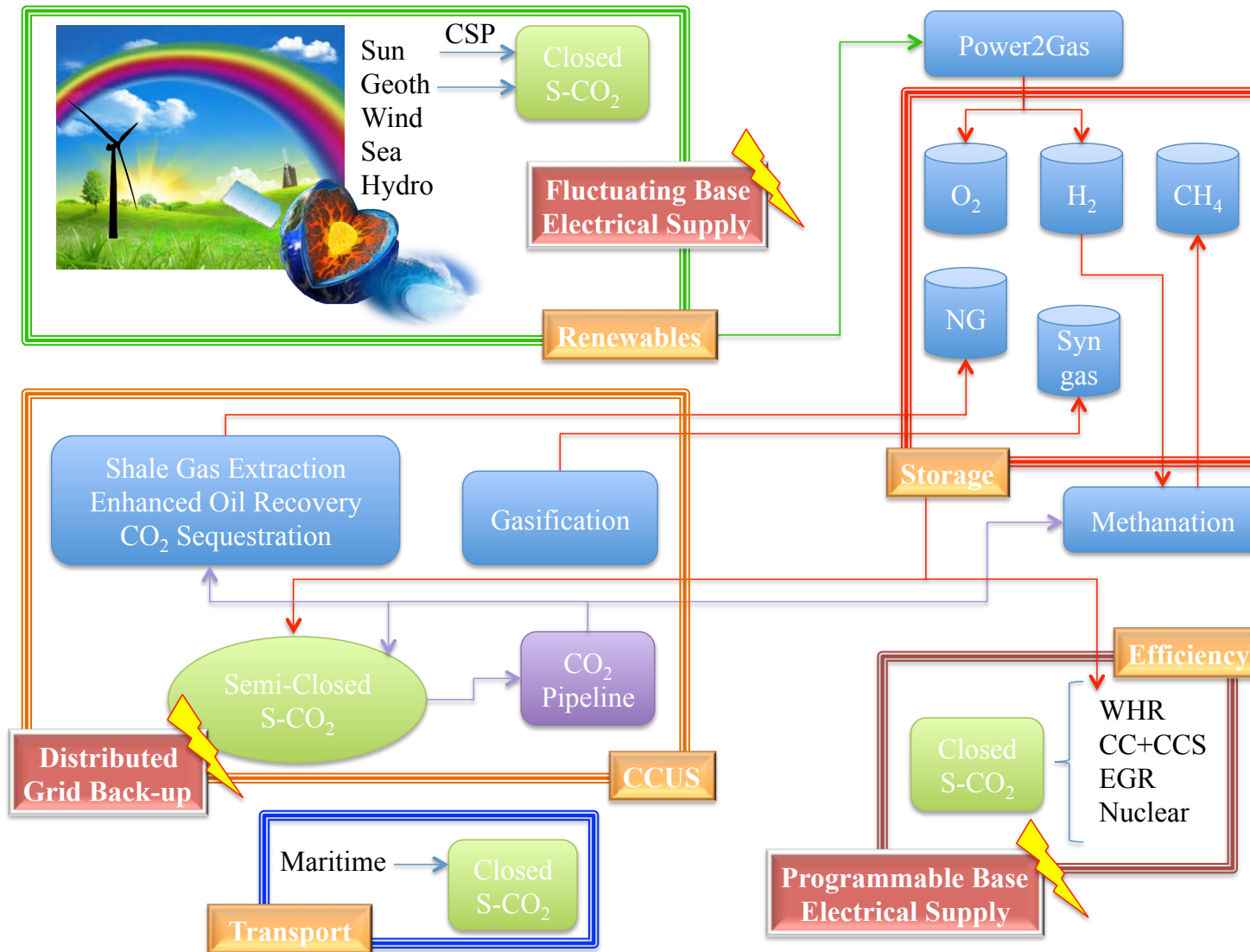
□ Hence,

- Invest in **CCGT plants with CCS** (trying to reduce the 80US\$/t CO₂).
- Could there be some **new, more competitive and flexible technologies?**
We really believe in YES!

Why S-CO₂ Turbine Cycles?

- **Concept:** **load-flexible**, **compact** and **efficient** GTs using S-CO₂ as working fluid.
 - **Semi-closed cycles with oxy-combustion**
 - ✓ **Near-zero emission** GT **back-up** power plants.
 - ✓ High base-load **efficiency (>50%)**, including a **highly integrated and cost effective CO₂ capture** strategy, oxygen production and pressure losses.
 - ✓ “Pipeline ready” CO₂ stream: **sequestration**, enhanced **oil/gas recovery**.
 - ✓ **Efficiently operated at partial load** by lowering both the fuel mass flow rate and operative pressures.
 - ✓ More efficient and flexible partial load operation, **not** any longer **related to environment constrains**.
 - **Closed cycles**
 - ✓ Adaptable for **Waste Heat Recovery** (e.g., in nuclear), **Concentrated Solar Power** and **geothermal** applications.
 - ✓ Useful to **enhance** the flexibility and efficiency of **current CCGT** power plants, by replacing their steam section.
- **Integrated vision:** **Power to Gas**, **methanation**, water free **shale-gas** extraction.

S-CO₂ Exploitation in Our Integrated Vision



DOE [US] Projects on Indirectly and Directly Heated S-CO₂ Gas Turbine Cycles for Efficient Power Generation

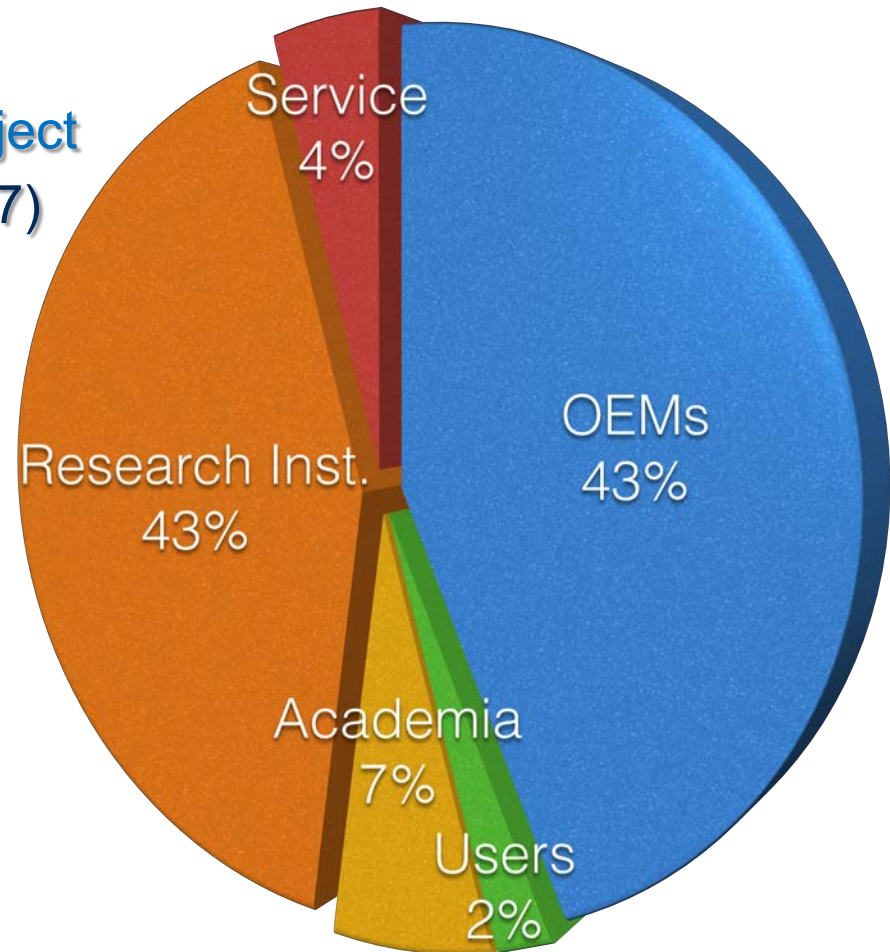
- ❑ DOE Share: 44M US\$
- ❑ Performers Share: 10M US\$
- ❑ Number of Projects: 29
- ❑ Time: 2014-2016
- ❑ Sponsoring Organisations: NETL, DOE ARPA-E, EERE, SANDIA

- ❑ Applications:
 - (fossil, renewable, nuclear) electrical generation
 - naval transport
- ❑ Indirect Heating: waste heat recovery, solar, nuclear
- ❑ Direct Heating: oxy-combustion (gaseous fossil fuel and coal)
- ❑ Efficiency: higher than 52% including CCS

DOE [US] Projects on Indirectly and Directly Heated S-CO₂ Gas Turbine Cycles for Efficient Power Generation

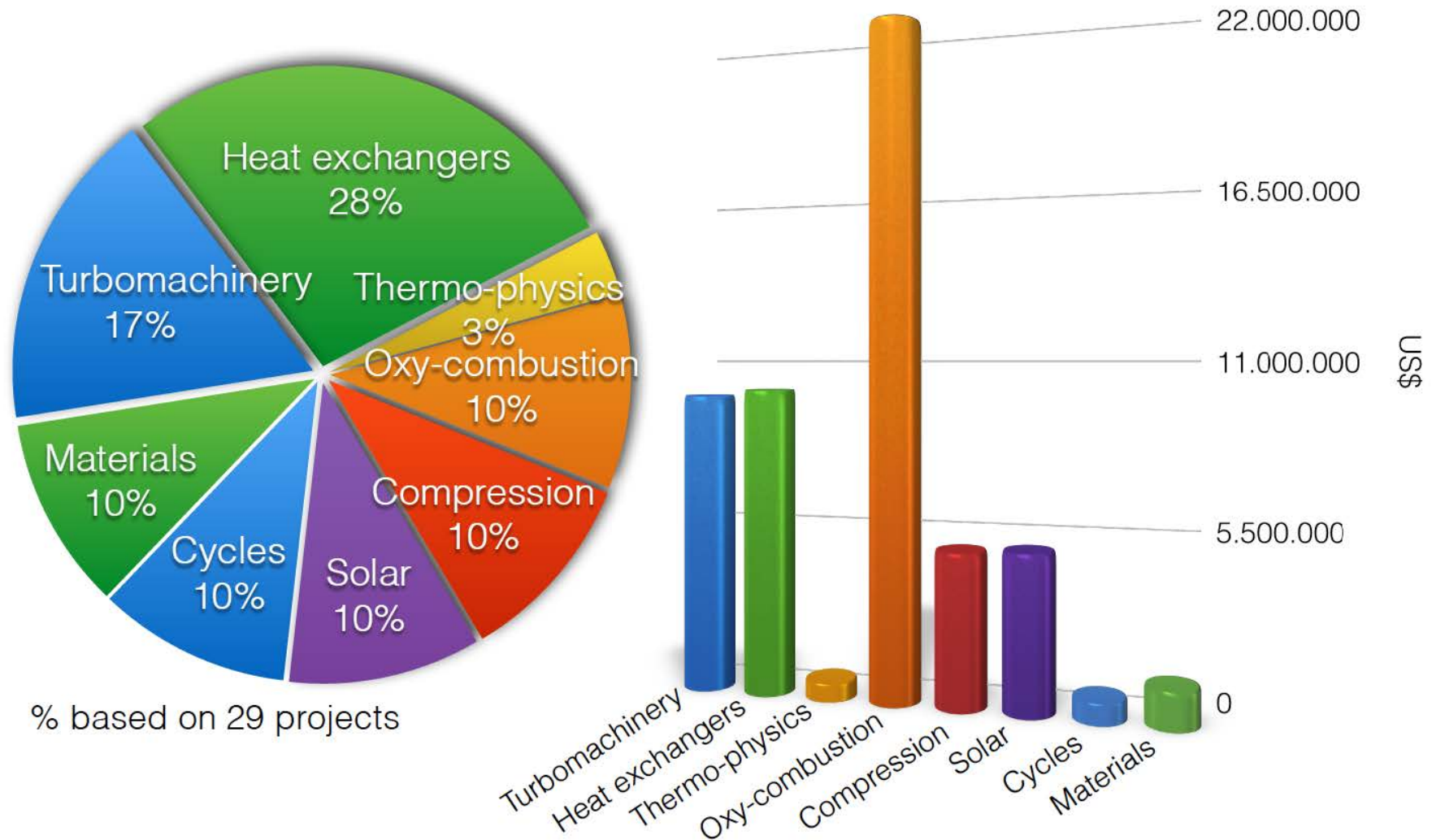
Performers with More than One Project

1. Southwest Research Institute (7)
2. Sandia National Lab (7)
3. Aerojet Rocketdyne (4)
4. General Electric (3)
5. Thar Energy (3)
6. Brayton Energy (2)
7. NREL (2)
8. Oregon State University (2)



% based on number of participated projects

DOE [US] Projects on Indirectly and Directly Heated S-CO₂ Gas Turbine Cycles for Efficient Power Generation



% based on 29 projects

**ENEA's Activities in Europe
and
in AdP-PAR2014**



Dynamics, Monitoring and Control of Combustion Instabilities in Gas Turbines

- Actions, Activities and Next Steps -

□ Actions

- “Understanding”: Marie Curie, ERC or other instruments in H-2020.

□ Activities

- **ENEA-ASEN**: real-time monitoring in a V94.3A GT (20 bar).
- **COFIRE-HNG** (Marie Curie, ITN): 91.4/100 NOT FUNDED [7 ETN members].
- **HyBurn** (ERC): submitted in March [DLR-ENEA].
- **Ph.D.** (U. Roma Tre): 1. statistical vs chaotic analysis; 2. temperature vs heat release dynamics.

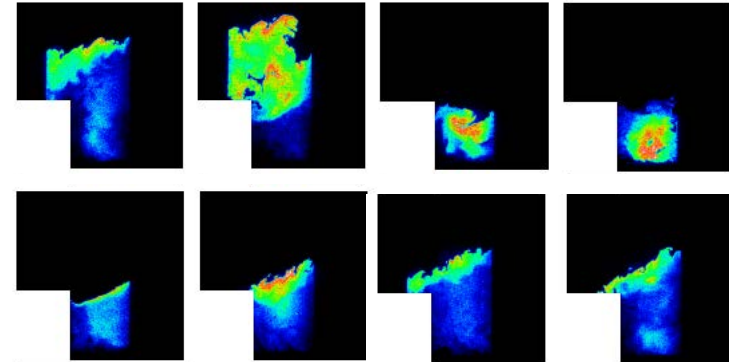
□ Next Steps

- Looking for a **suitable call** where combustion dynamics can be at least one of the work packages.

ENEA's Activities in PAR2014

❑ Combustion dynamics simulation

- ONERA test case with flashback.

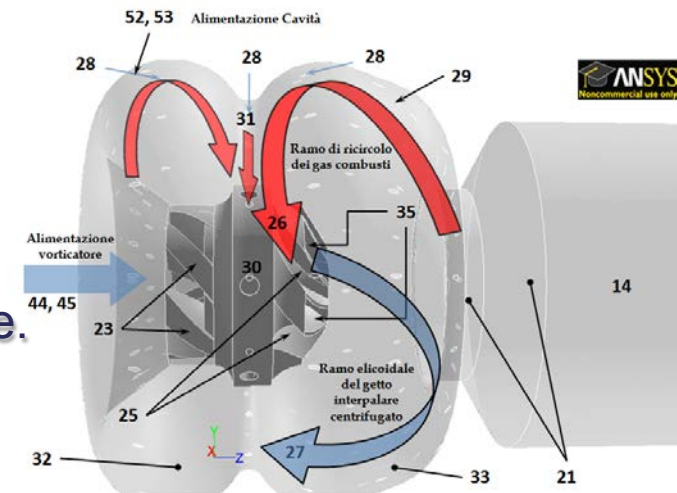


❑ Optical Diagnostics of Combustion

- Instability precursor identification: statistical vs chaotic analysis.

❑ Development of advanced burners

- Operation in the distributed combustion regime.





Advanced Supercritical CO₂ Cycles

- Actions, Activities and Next Steps -

□ Actions

- Strong relationship and collaboration with **Cranfield** University.
- Discussions with GE-GRC (NDA), **ALSTOM**, NETPOWER.
- **SETPLAN 2014 poster**: presentation of S-CO₂ topic and ENEA's vision to high-level EU DGs (Energy) and National Contact Points.

□ Activities

- **H2020 Projects submitted**:
 - LCE1-2014 (**CO₂ReTurn** consortium): phase 1 not passed.
 - Invited to join submission of other projects.
- **Italian National projects**: PNR proposal (National Research Plan).

□ Next steps

- **Patent: ALBA cycle** (G. Messina).
- **Position Paper**: within ETN (ENEA / CRANFIELD U. / ALSTOM).
- **ENERGY-2015-16 calls review**: LCE 28 - 2017 identified.

ENEA's Activities in PAR2014

□ High-pressure oxy-combustion simulation by using the HeaRT code

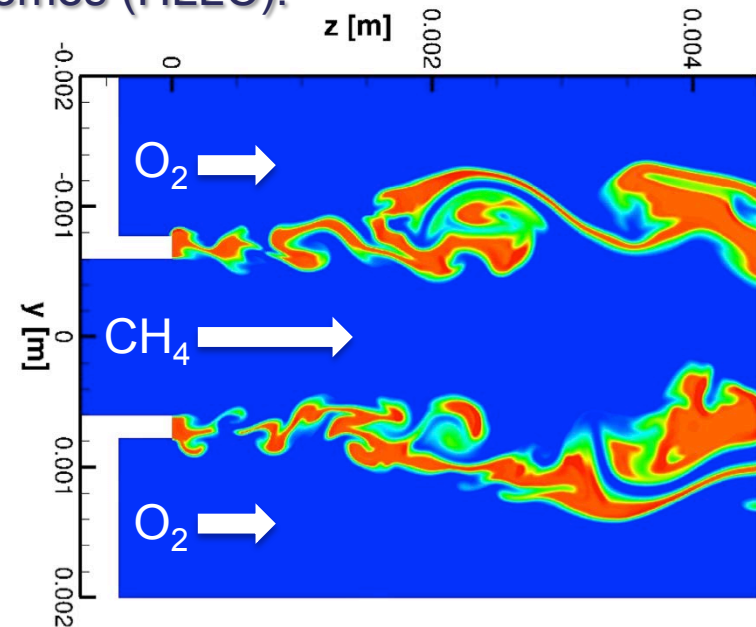
- Implementation of real gas equation of state (GERG2004/Peng-Robinson).
- Implementation of real gas transport coefficients.
- Implementation of required numerical schemes (HLLC).

□ ROMULUS

- Effects of CO₂ dilution in combustion.

□ AGATUR

- Plant upgrade towards EGR and development of S-CO₂ plant start-up strategies.



How Our Topics Fit in the EU Energy Policy

- The Four Pillars of the EU Energy Policy -

□ Decarbonisation

- **Clean** and **efficient** power generation
- Increasing share of **renewables**
- Highly cycle-integrated **CCS**
- Low or **carbon free fuels**
- Low **minimum environmental load**

□ Security of energy supply

- **Safe** operation
- **Availability** and **reliability**
- **Fuel-** and **load-flexibility**
- Energy **storage**
- **Grid-integration** of renewable and back-up power plants

□ Sustainability

- **Exploitation** in different fields
- **CCUS** (CCS+Utilisation)
- **Affordable** technologies

□ Competitiveness

- Lower **electricity cost**
- **Cost-competitive** CCS
- **Innovative cycles**

✓ **Conclusion:** integration of advanced fossil power generation and renewables for their own sustainability.



Contacts

ENEA ITALIAN NATIONAL AGENCY
FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND
SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

UTTEI – Unit of Advanced Technologies for Energy and Industry
COMSO – Sustainable Combustion Processes Laboratory

Giuseppe Messina
Mechanical Engineer

ENEA – C.R. Casaccia, UTTEI-COMSO, S.P. 081
Via Anguillarese, 301
00123 – S. M. Galeria, ROMA – ITALY
Tel.: +39.063048.6762 / 4690 – Fax: +39.063048.4811
Mobile Phone: +39.3338617051
E-Mail: giuseppe.messina@casaccia.enea.it



ENEA ITALIAN NATIONAL AGENCY
FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND
SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

UTTEI – Unit of Advanced Technologies for Energy and Industry
COMSO – Sustainable Combustion Processes Laboratory

Eugenio Giacomazzi
Ph.D., Aeronautic Engineer
Senior Researcher

ENEA – C.R. Casaccia, UTTEI-COMSO, S.P. 081
Via Anguillarese, 301
00123 – S. M. Galeria, ROMA – ITALY
Tel.: +39.063048.4649 / 4690 – Fax: +39.063048.4811
Mobile Phone: +39.3383461449
E-Mail: eugenio.giacomazzi@enea.it



Thanks for your attention!

Eugenio.Giacomazzi@ENEA.it

Giuseppe.Messina@Casaccia.ENERGIA.it

Allegato 4
RdS/PAR2014/271

Cicli turbogas avanzati: nuove soluzioni per le necessità del prossimo futuro

G.Messina - ENEA

ENEA

AGENZIA NAZIONALE
PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA
E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



**RICERCA DI
SISTEMA ELETTRICO**



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Accordo di Programma MiSE-ENEA

Advanced gas turbine cycles: new solutions for the near future needs

Giuseppe Messina

ENEA, Sustainable Combustion Processes Laboratory

Roma, 24 June 2015



Sustainable Combustion
& Processes Laboratory





- ❑ Solar eclipse: a real “stress test”
- ❑ Flexibility from power generation
- ❑ S-CO₂ Power Cycles



Sustainable Combustion
& Processes Laboratory

Solar Eclipse: a real “stress test”



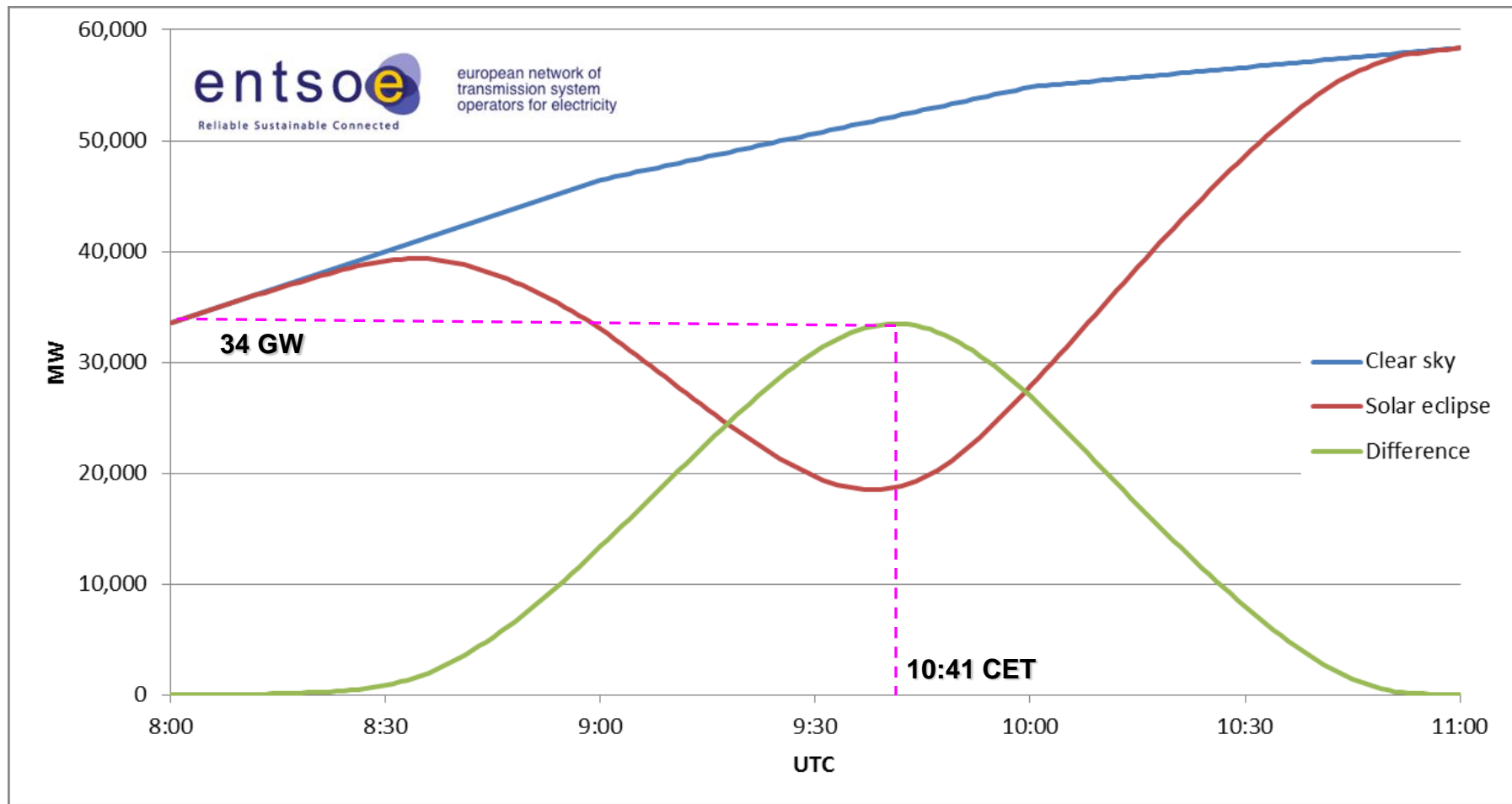
People watch as a solar eclipse begins over the Eden Project near St Austell in Cornwall, England, March 20, 2015.

Ben Birchall / AP Photo

From: abcnews.go.com



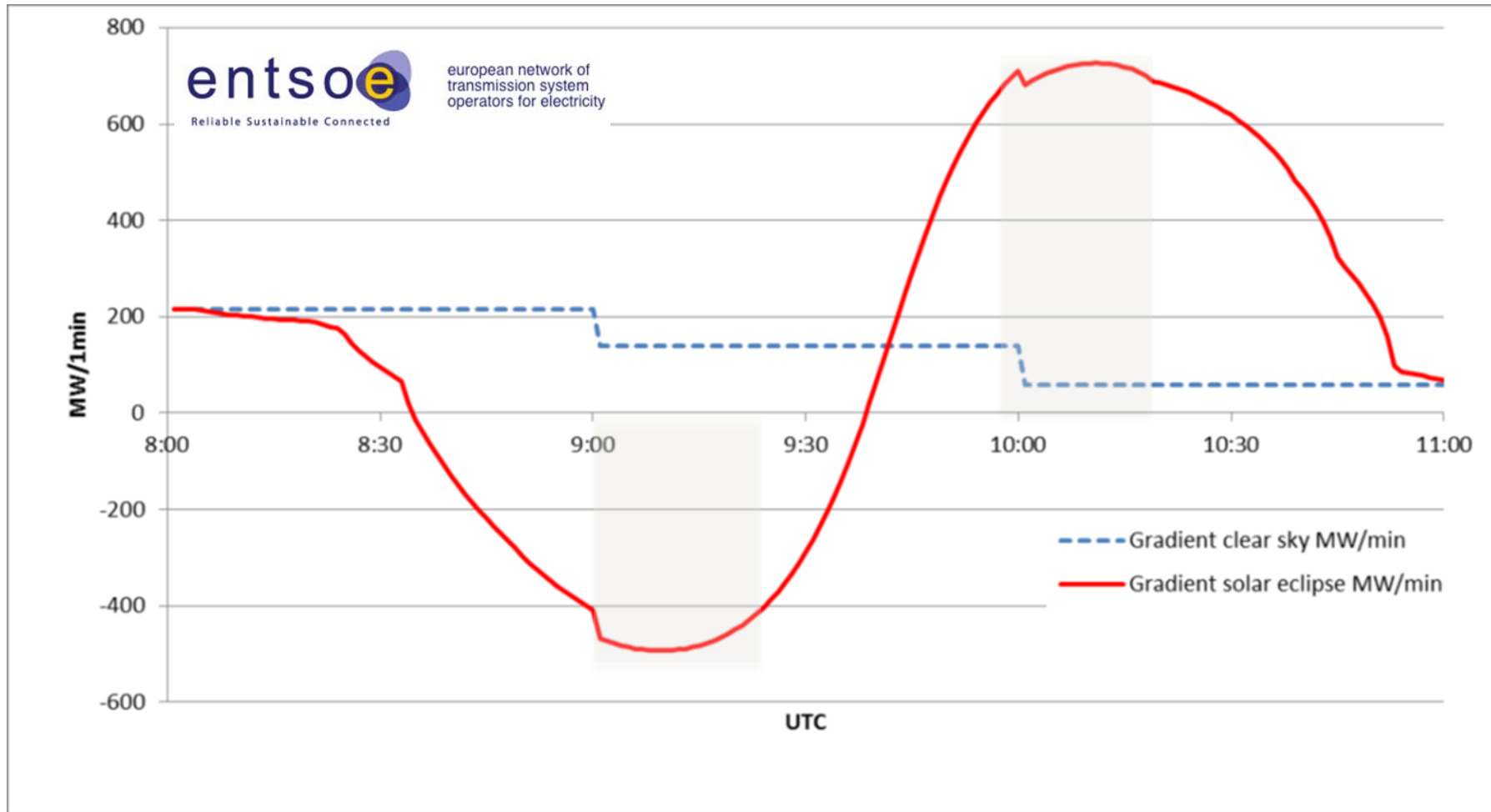
Solar Eclipse: a real “stress-test”



From: ENTSOE - Solar Eclipse 2015 - Impact Analysis, 19 February 2015



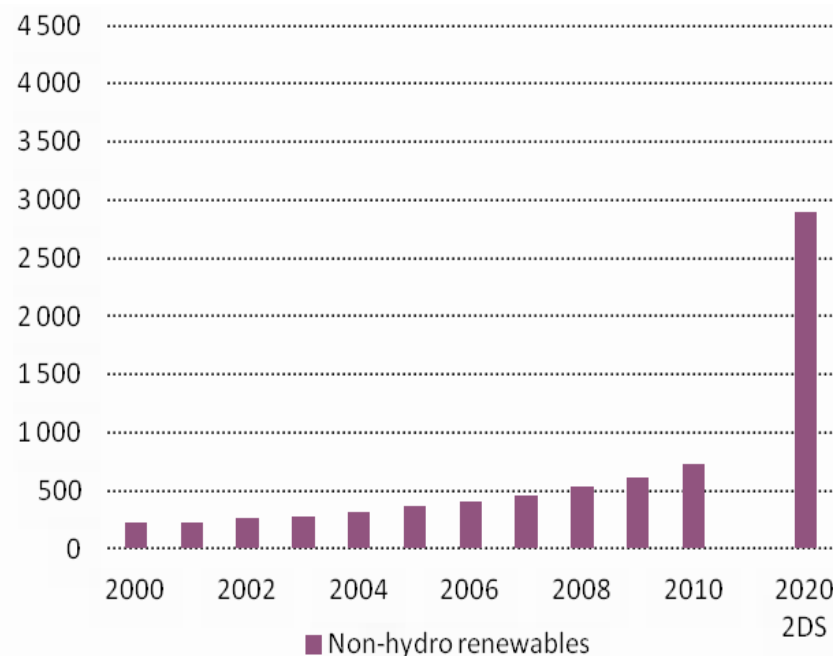
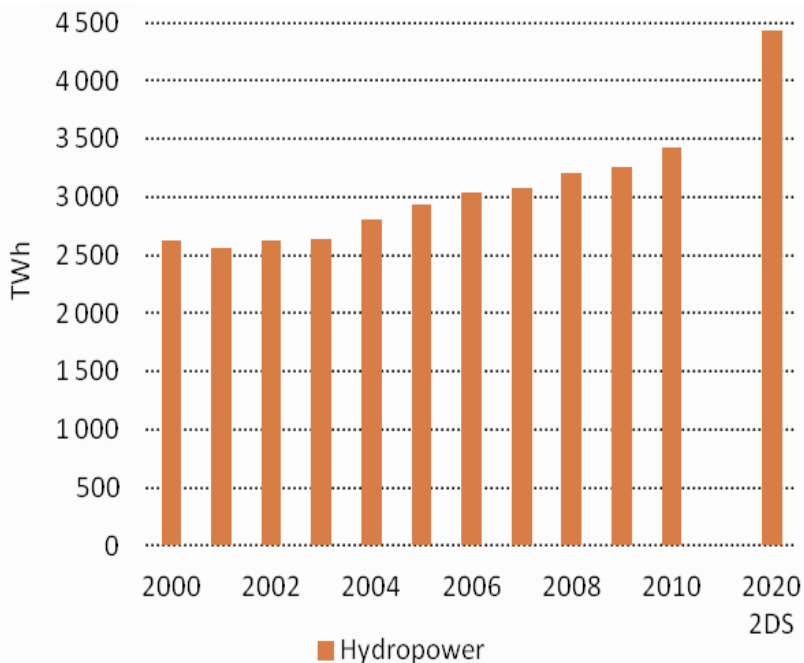
Solar Eclipse: a real “stress-test”



From: ENTSOE - Solar Eclipse 2015 - Impact Analysis, 19 February 2015



Renewables growth



42%

Average annual growth in Solar PV

75%

Cost reductions in Solar PV in just three years in some countries

27%

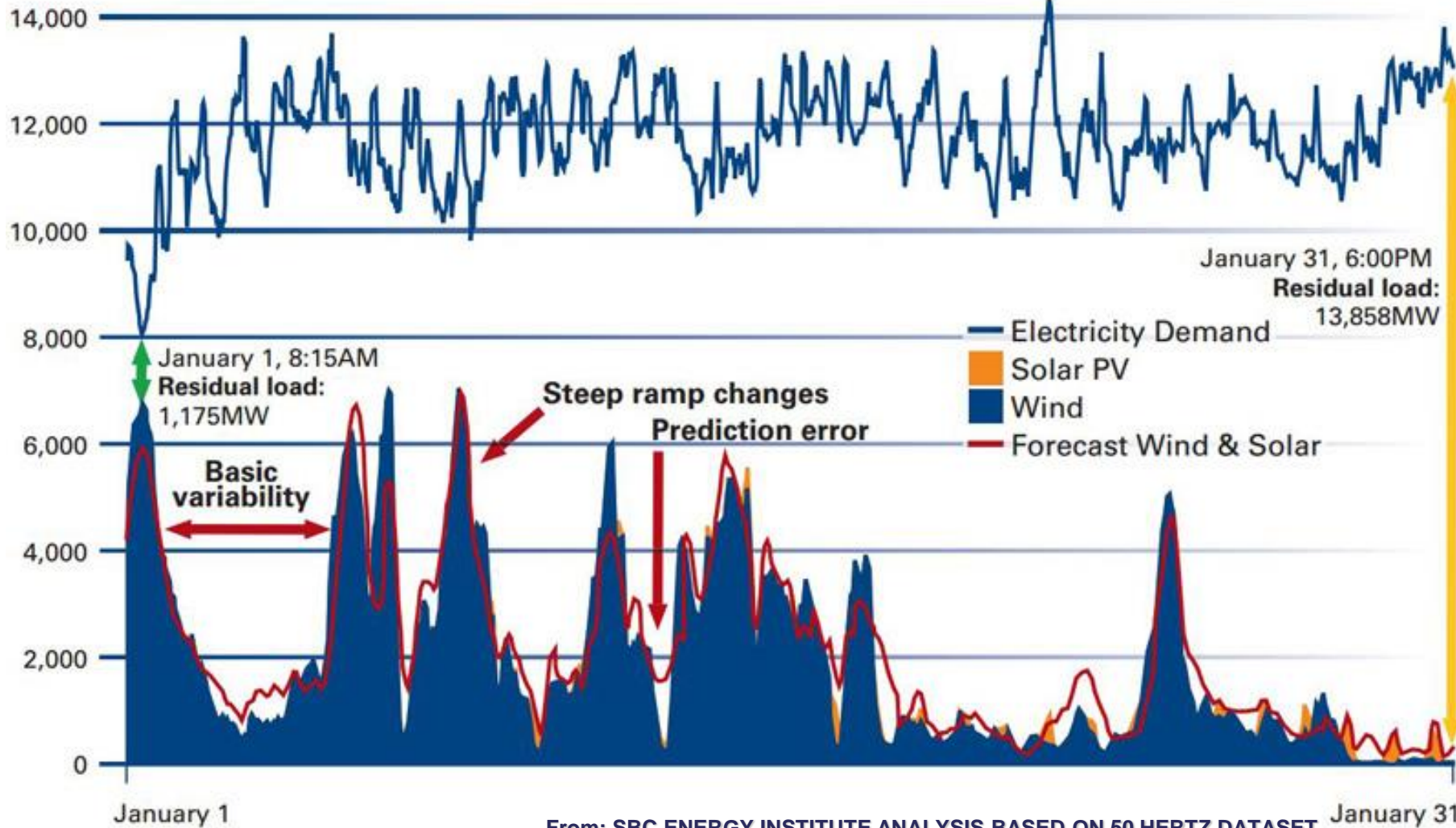
Average annual growth in wind

From: IEA – Energy Technology Perspectives 2012



Renewables growth...and load-flexibility

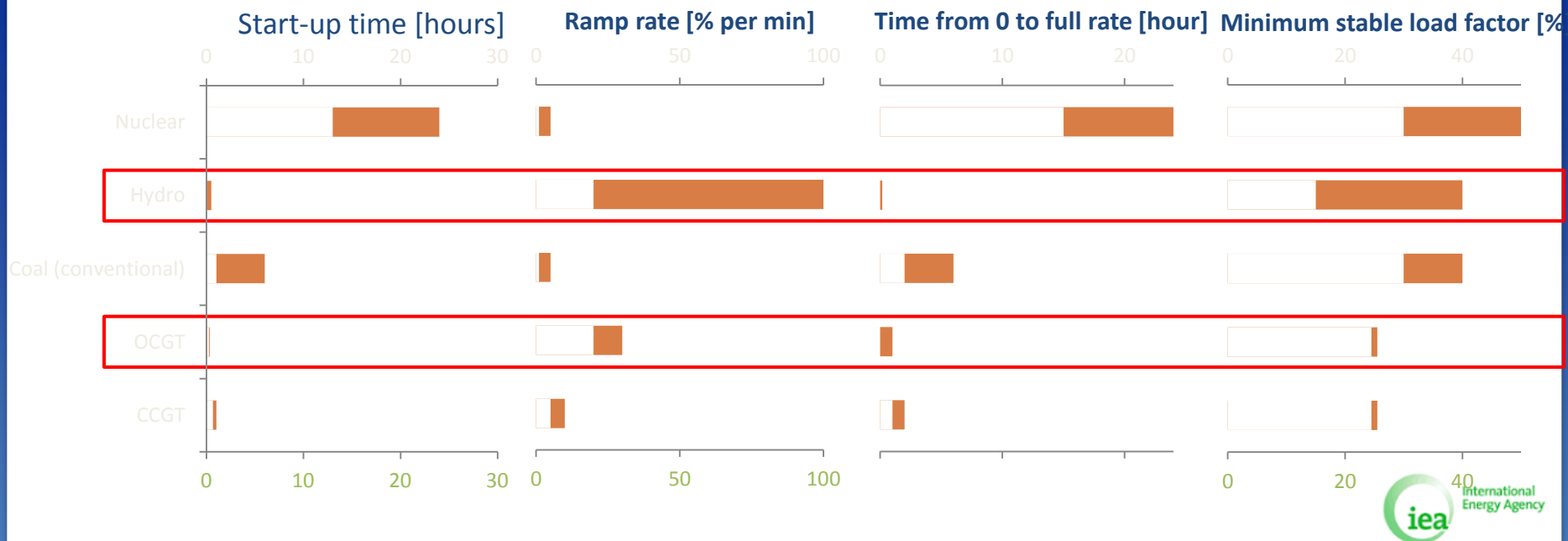
MW, 2011 in northern Germany



From: SBC ENERGY INSTITUTE ANALYSIS BASED ON 50 HERTZ DATASET



Flexibility from Power Generation



- Hydro generation can respond more quickly than other technologies, but the resource is geographically limited
- Open Cycle Gas Turbines are therefore very often considered
- For the traditional base load power plants, a change in operation would translate into reduced load factors, while maintenance cost increase and thus lower financial revenue

From: IEA – Energy Technology Perspectives 2012



and...with CCS?

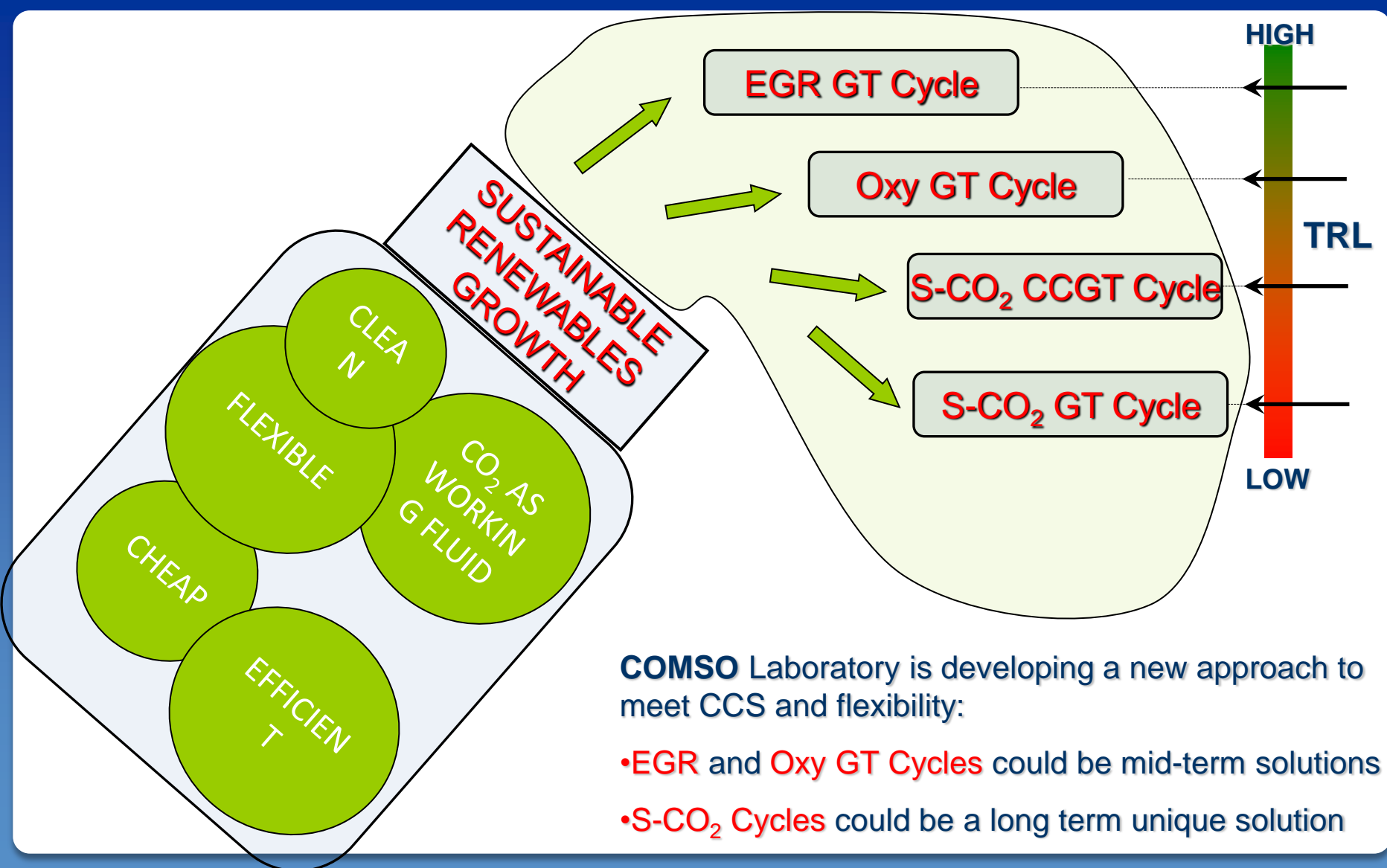
New operational constraints
Larger start-up time
Higher CAPEX and OPEX

Results:

CCS can meet the future
flexibility requirements

OCGT without CCS still
continue to be a viable
cost-effective option for peak
load

	Turndown	Cycling capability		Part load efficiency
		Start-up to full load	Ramp rates	
NGCC	Low load operation: 15-25% CC load (10-20% GT load) Min. environmental Load: 40-50% CC NPO (30-40% GT load)	Hot start-up: 45-55 min Warm start-up: 120 min Cold start-up: 180 min	35 - 50 MW/minute max Hot start-up load change rate: - 0-40% GT load: 3-5%/min - HRSG press.: 1-2%/min - 40-85% GT load: 4-6%/min - 85-100% GT load: 2-3%/min	Approx. constant efficiency down to 85% GT load 2-3 percentage points less @ 60% CC load
with CCS	Post-combustion unit min. load: 30% CO ₂ compressor min. efficient load: 70%	Regenerator preheating: - hot start-up: 1-2 h - warm start-up: 3-4 h	Same as plant w/o CCS	Same as plant w/o CCS
IGCC	Min. env. GT Load: 60% PO. Process unit /air separation unit (ASU) cold box min. load: 50% ASU compr. min. load: 70%	Cold start-up: 80-90 h Gasification hot start-up: 6-8 h ASU hot start-up: 6 h	Gasification ramp rate: 3-5%/min ASU ramp rate: 3%/min	Gross electrical efficiency: 2 percentage points less @ 70% CC load
with CCS	CO ₂ compressor min. efficient load: 70%	Same as plant w/o CCS	Same as plant w/o CCS	Same as plant w/o CCS
USC PC	Min. boiler load: 25- 30%	Very hot start-up: < 1h Hot start-up: 1.5-2.5 h Warm start-up: 3-5 h Cold start-up: 6-7 h	30-50% load: 2-3%/min 50-90% load: 4-8%/min 90-100% load: 3-5%/min	Subcritical boiler: -4 perc. point @ 75% load Supercritical boiler: -2 perc. point @ 75% load
with CCS	Post-combustion unit min. load: 30% CO ₂ compressor min. efficient load: 70%	Regenerator preheating: - hot start-up: 1-2 h - warm start-up: 3-4 h	Same as plant w/o CCS	Same as plant w/o CCS
Oxy fuel				
Air-firing mode	Min. boiler load: 25- 30%	Very hot start-up: < 1h Hot start-up: 1.5-2.5 h Warm start-up: 3-5 h Cold start-up: 6-7 h	30-50% load: 2-3%/min 50-90% load: 4-8%/min 90-100% load: 3-5%/min	Subcritical boiler: -4 perc. point @ 75% load Supercritical boiler: -2 perc. point @ 75% load
Oxy-firing mode	Cold box min. load: 40- 50%. ASU compressor min. efficient load: 70% CO ₂ compressor min. efficient load: 70%	Start-up in air-firing mode, ASU start-up completed in approx. 36 h	ASU ramp rate: 3%/min	Same as plant in air- firing mode



COMSO Laboratory is developing a new approach to meet CCS and flexibility:

- **EGR** and **Oxy GT Cycles** could be mid-term solutions
- **S-CO₂ Cycles** could be a long term unique solution



AGATUR

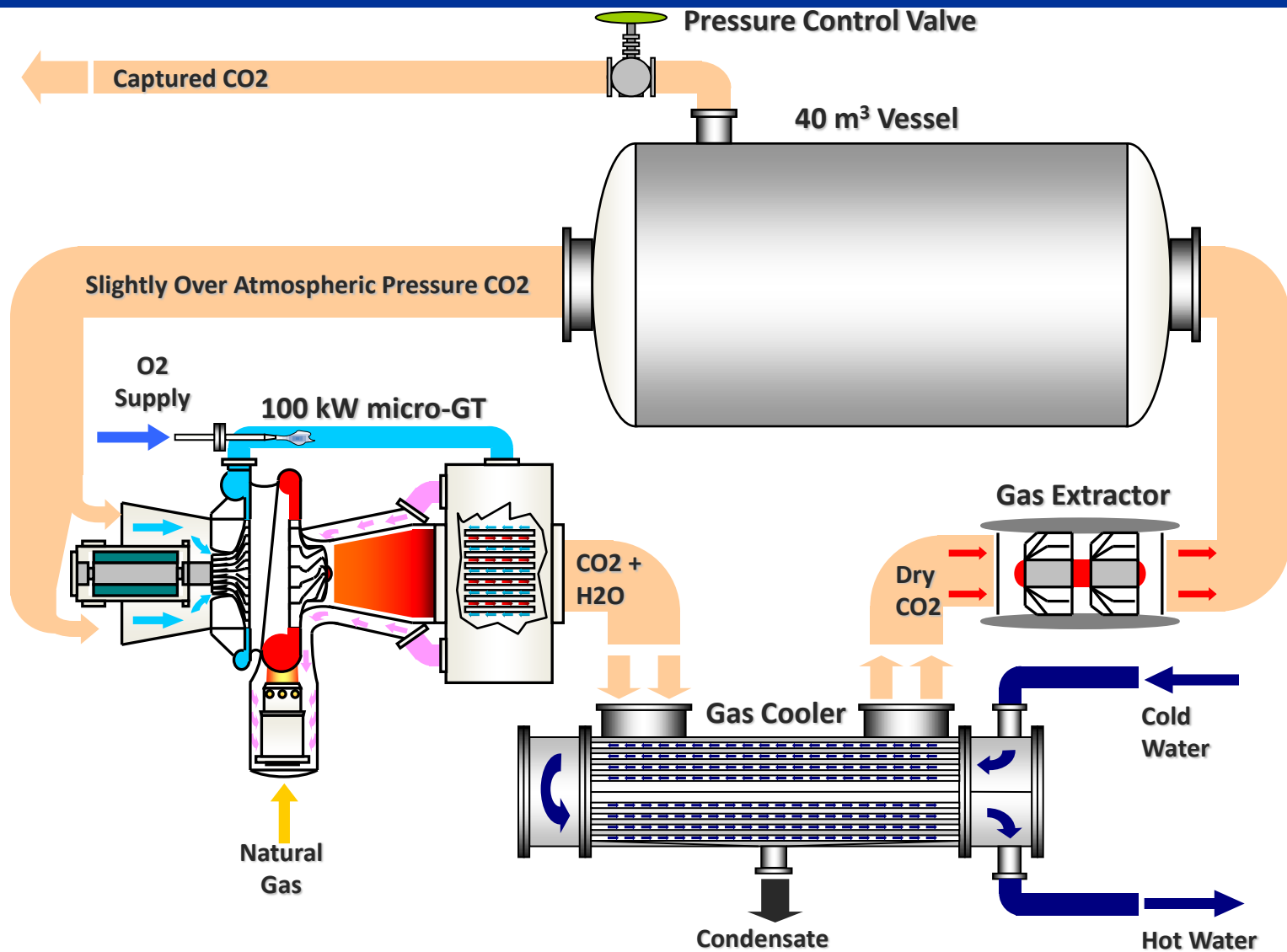
Advanced GAs TUrbines Rising





COMSO Experimental Activities

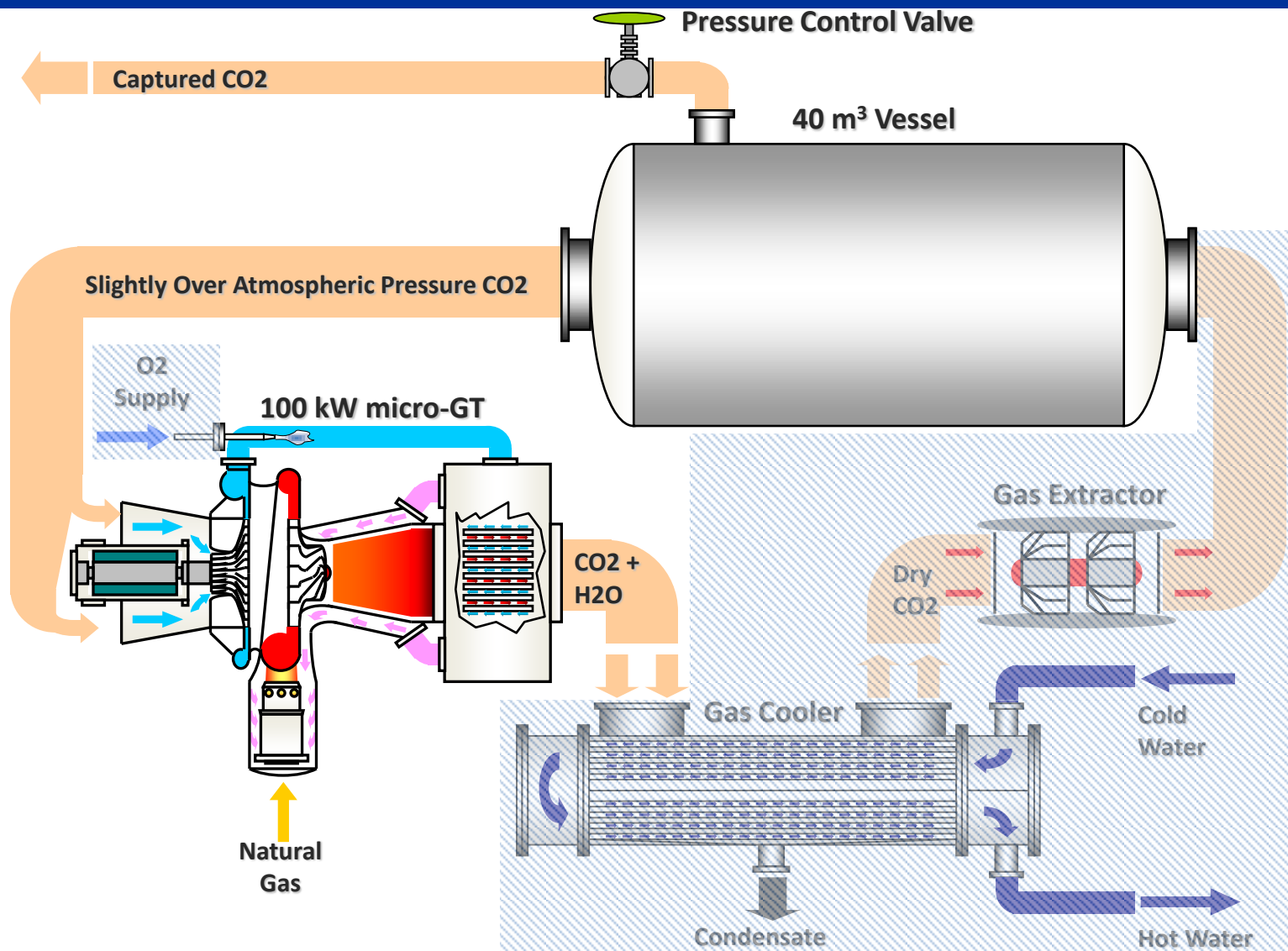
EGR Cycle implementation on AGATUR facility





COMSO Experimental Activities

EGR Cycle implementation on AGATUR facility

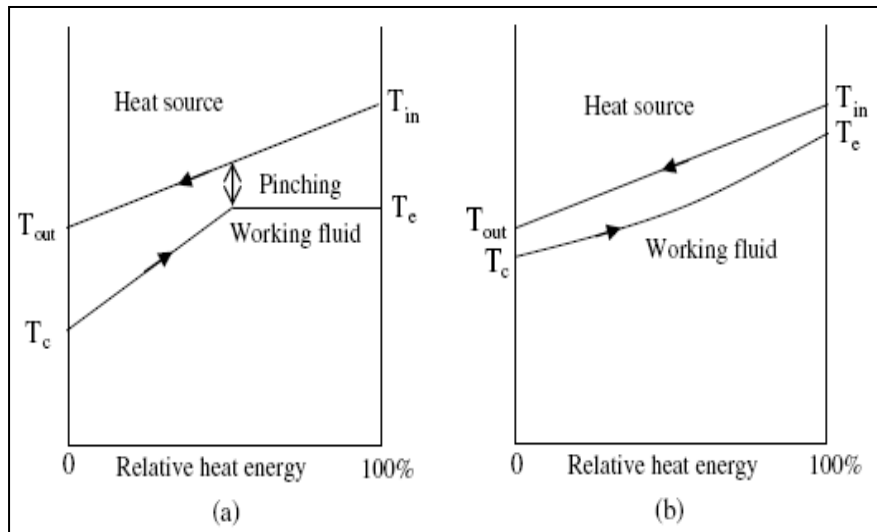
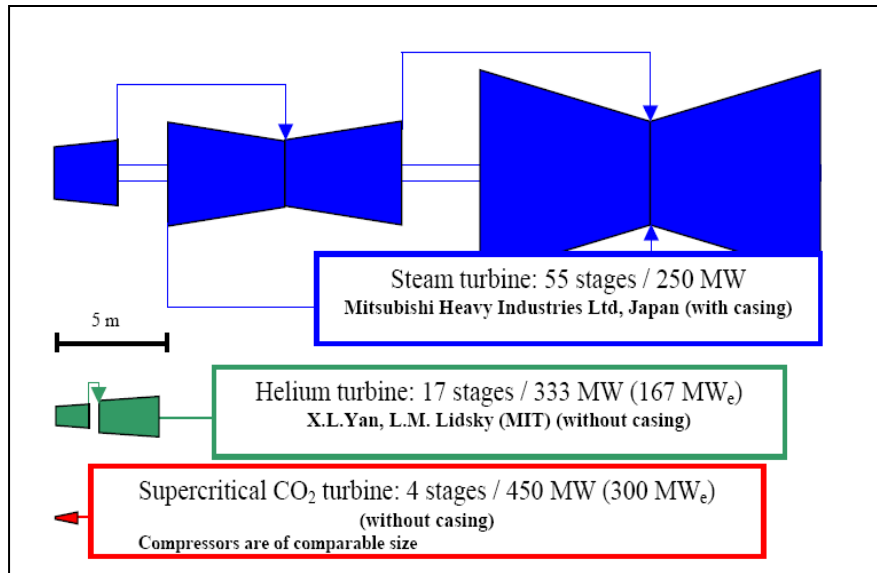




Characteristics of an ideal power cycle

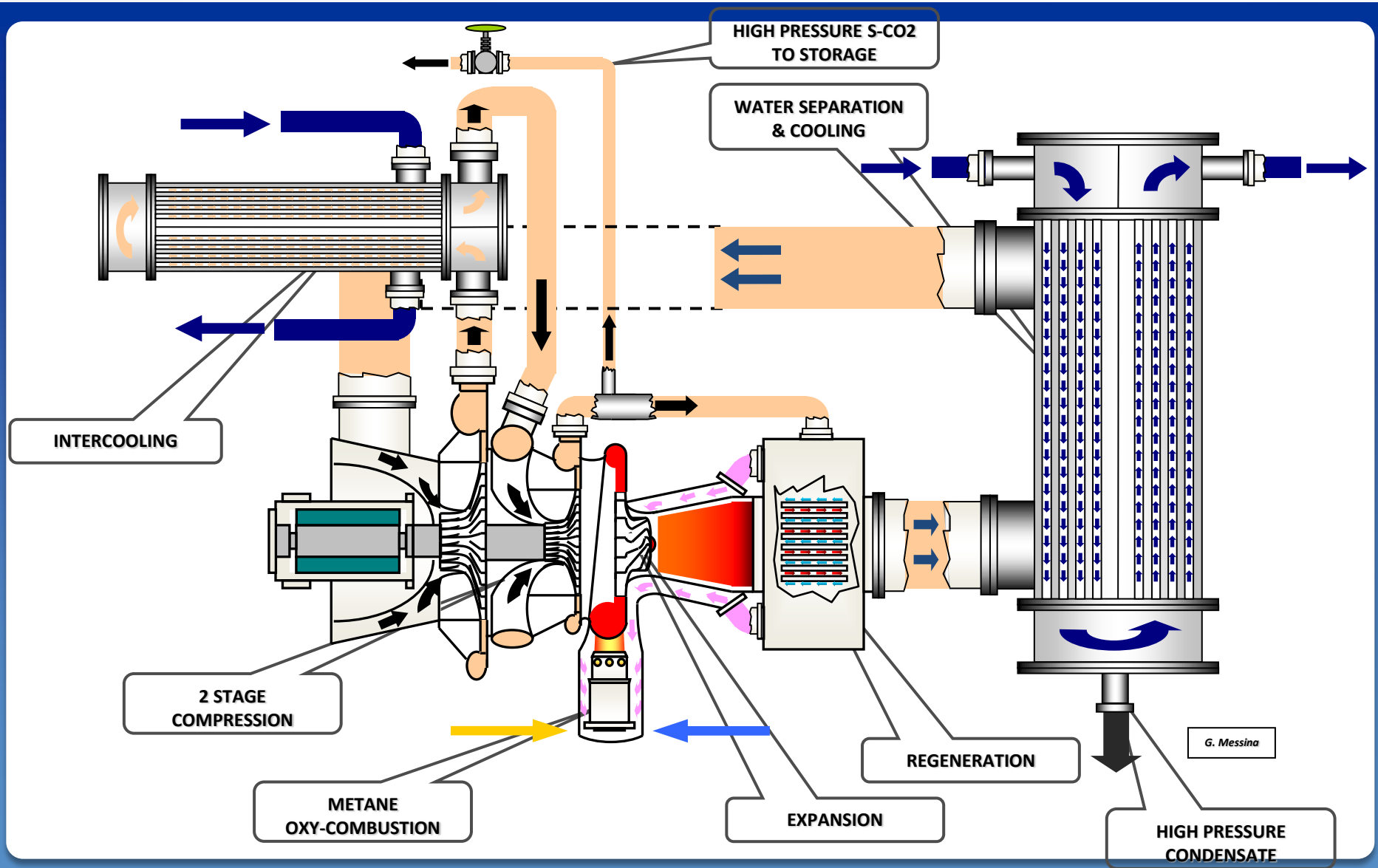
- Good utilization of available heat
 - High expansion, low compression work
 - Direct coupling to heat source
- Benign working fluid
 - Non-corrosive, non-toxic, thermally stable
 - Dry expansion to avoid erosion
- Low capital cost
- Low operation & maintenance (O&M) costs

Supercritical CO₂ meets these characteristics

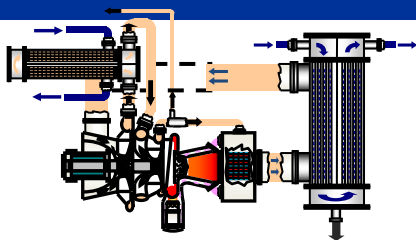




OXY S-CO₂ Cycle: plant layout



G. Messina



ETN

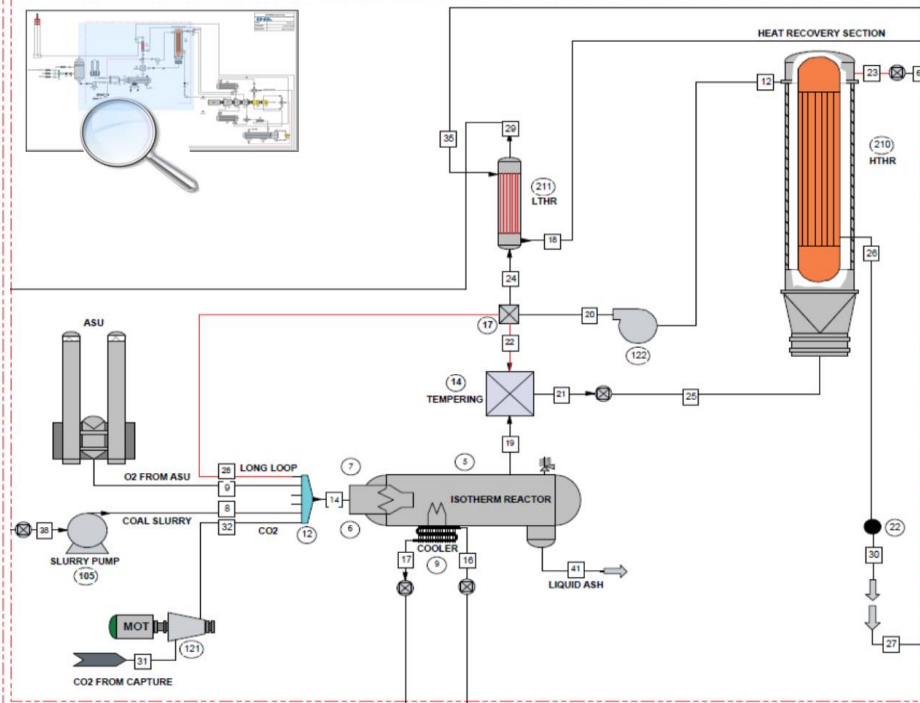
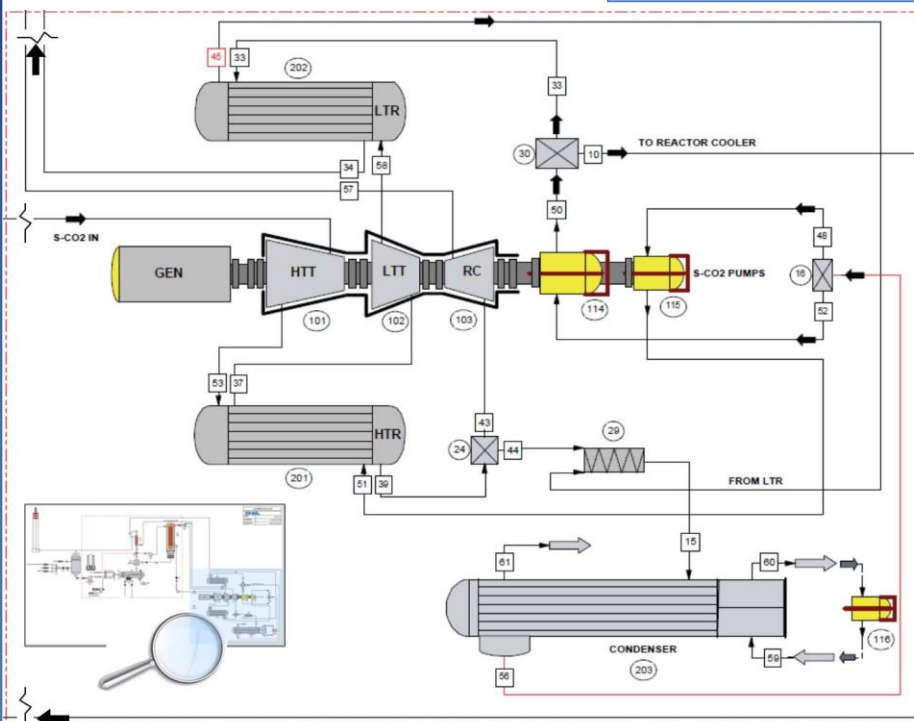
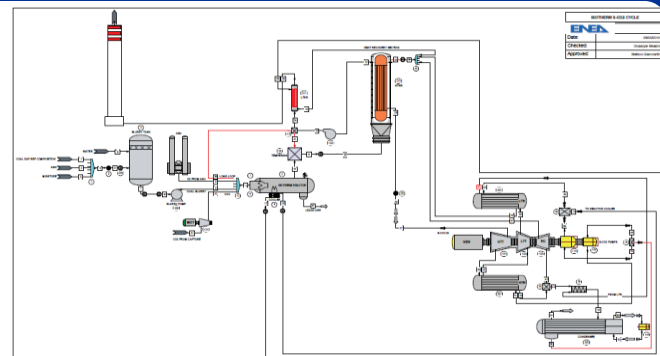
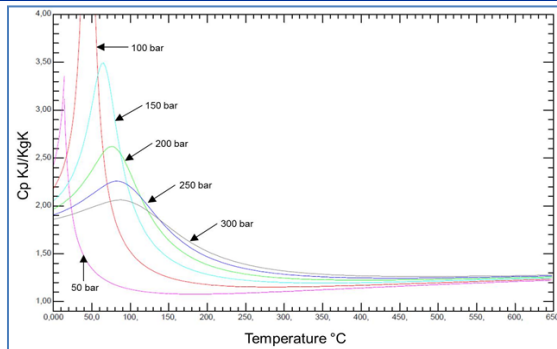
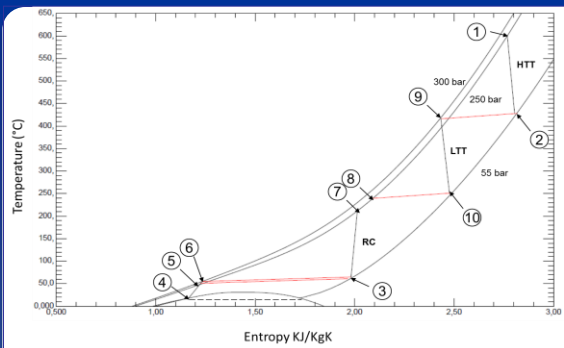
·Fuel ·kg/s	·LHV kJ/kg	·HCOMPR · kW	·LCOMPR kW	·TURB ·kW	·TIT ·°C	·TOT ·°C	·TOR ·°C	·Oxygen ·kg/s	·Oxygen kJ/kg	·EFF
·0,01443	·50010	·32	·80	·-540	·1151	·781	·702	·0,058	·42	·0,535
·0,01392	·50010	·36	·83	·-526	·1100	·734	·659	·0,058	·42	·0,525
·0,01354	·50010	·35	·83	·-505	·1050	·696	·613	·0,056	·40	·0,511

- ❑ Regenerator cold side outlet temperature is a key parameter on cycle performance, because of both direct and indirect impact through the TIT limitation.
- ❑ A rough sensitivity study was performed by varying TIT, in order to evaluate the “Technological level” on the cycle performance.
- ❑ **The first principle efficiency LHV basis, is always more than 50%,** also with a “state-of-the-art” temperature setting. Energy consumption for oxygen production was included (720 kJ/kg).
- ❑ Beside of mechanical energy, other cycle products are a stream of “**pipeline ready**” CO₂ (300 bar) and a water stream at 30 bar.
- ❑ The cycle is virtually “zero emission”.

Giuseppe Messina, “Supercritical Carbon Dioxide Power Cycle”, presentation to European Turbine Network, London, 2013



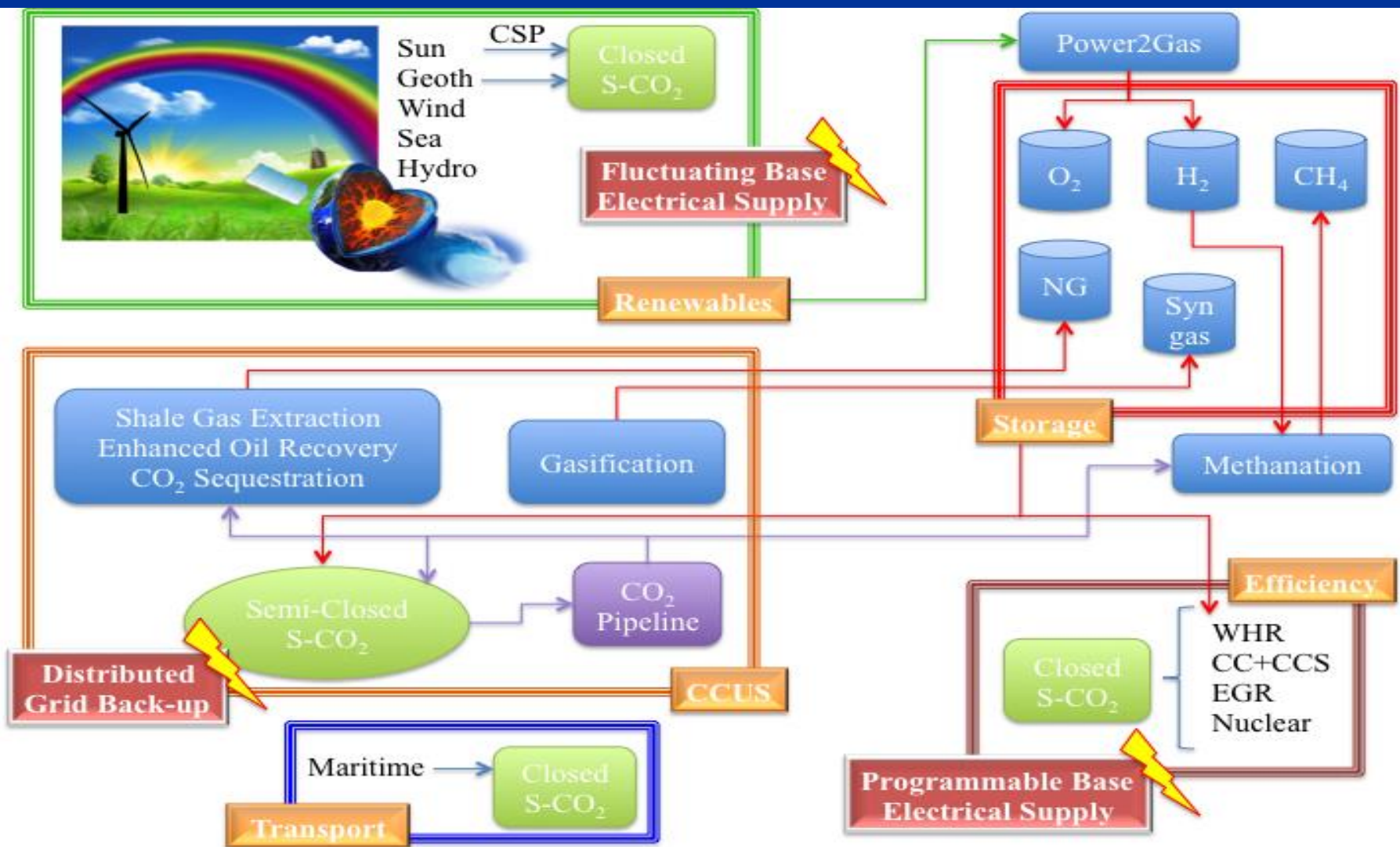
OXYCoal fired S-CO2 Closed Cycle



G.Messina, E. Giacomazzi, "Modellazione di un Ciclo di Potenza a CO2 Supercritica da 48 MWt alimentato dal Loop ISOTHERM PWR", Ricerca di Sistema Elettrico, PAR 2013.



An Holistic Solution



E. Giacomazzi and G. Messina, Exploitation of Supercritical CO2 Properties – An Holistic Solution for the 21° Century Power Generation, Impiantistica Italiana, 2015

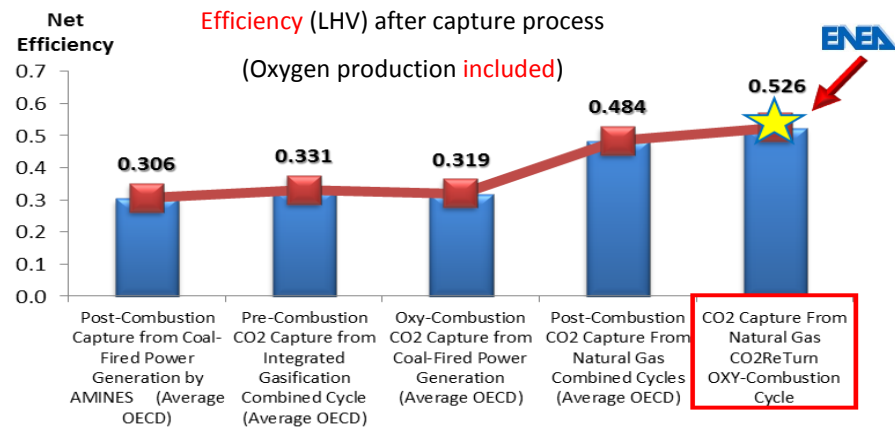
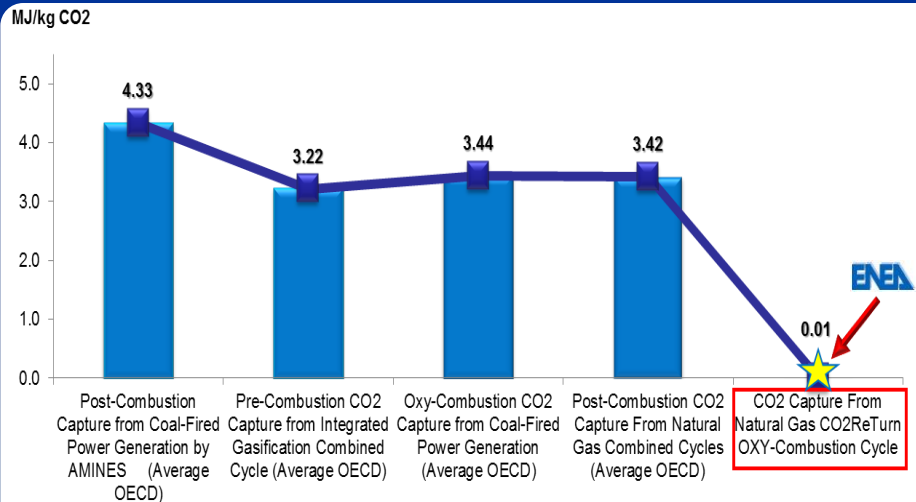


S-CO₂ ALBA Cycle

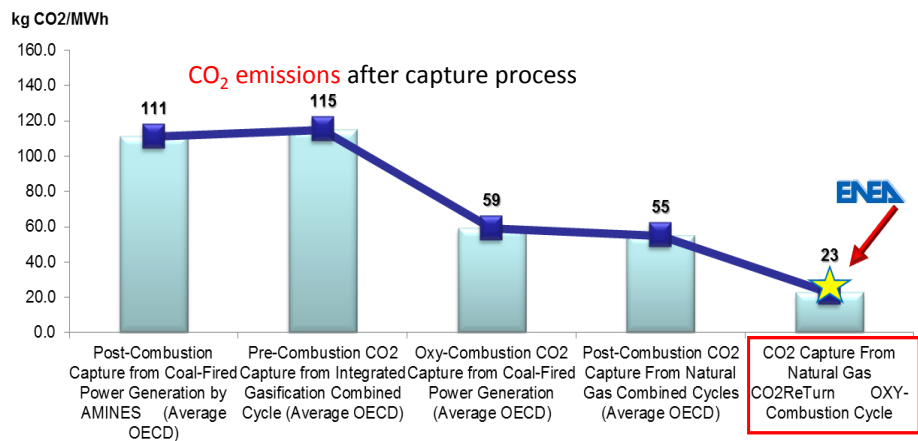
the COMSO Laboratory proposal in figures



Sustainable Combustion & Processes Laboratory



SPECCA: Specific Primary Energy Consumption for CO₂ Avoided. Data elaborated by ENEA from: 1) Rahul Anantharaman et al. "European Best Practice Guidelines for Assessment of CO₂ Capture Technologies", CAESAR Project – FP7, 2011; 2) Matthias Finkenrath, "Cost and Performance of Carbon Dioxide Capture from Power Generation", IEA, 2011.



S-CO₂ Advanced Liquid compression Brayton Cycle

Patenting procedure in progress



ITALIAN NATIONAL AGENCY
FOR NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND
SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

UTTEI – Unit of Advanced Technologies for Energy and Industry
COMSO – Sustainable Combustion Processes Laboratory



Sustainable Combustion
& Processes Laboratory

Eugenio Giacomazzi

Ph.D., Aeronautic Engineer
Researcher

ENEA – C.R. Casaccia, UTTEI-COMSO, S.P. 081
Via Anguillarese, 301
00123 – S. M. Galeria, ROMA – ITALY

Tel.: +39.063048.4649 / 4690 – Fax: +39.063048.4811
Mobile Phone: +39.3383461449
E-Mail: eugenio.giacomazzi@enea.it

Giuseppe Messina

Mechanical Engineer

ENEA – C.R. Casaccia, UTTEI-COMSO, S.P. 081
Via Anguillarese, 301
00123 – S. M. Galeria, ROMA – ITALY

Tel.: +39.063048.6762 – Fax: +39.063048.4811
Mobile Phone: +39.3338617051
E-Mail: giuseppe.messina@casaccia.enea.it

Thanks for your attention!

Express your interest sending an e-mail to:

Giuseppe.Messina.Cas@ENEA.it
Eugenio.Giacomazzi@ENEA.it

Allegato 5
RdS/PAR2014/271

Produzione di combustibili dalla CO₂, un'alternativa al
sequestro geologico

V.Barbarossa, ENEA



**RICERCA DI
SISTEMA ELETTRICO**



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Accordo di Programma MiSE-ENEA

CATTURA E SEQUESTRO DELLA CO₂ PRODOTTA DA COMBUSTIBILI FOSSILI

PRODUZIONE DI COMBUSTIBILI DA CO₂, UN'ALTERNATIVA AL SEQUESTRO GEOLOGICO

Vincenzo Barbarossa

C. R. "Casaccia" – ENEA – Roma

*ENEA – Sede
Roma, 24 Giugno 2015*

- Miglioramento efficienza dei cicli produttivi (E.E.)
- Introduzione di nuovi materiali e nuove tecnologie
- Introduzione di nuovi combust. (bio)
- Sviluppo delle F. E. R.

- Celle a combustibile
- Sviluppo di sistemi “smart”
- Fotovoltaico organico
- Nuovi combustibili
- Nuovi materiali

- CCS

CCU – CO₂ UTILIZATION

**Breve
termine**

**Medio
termine**

**Lungo
termine**

1-5 a

5-10 a

> 10 a

CCU

- *Valore aggiunto alla cattura di CO₂*
- *Tecnologia complementare alla CCS*
- *Alternativa alle limitate capacità di stoccaggio*

CO₂

- **Microalghe** (*1.8 ton CO₂ = 1 ton biomass = ca. 0.5 ton carbon*)
- **Carbonatazione** (*1 ton CO₂ req. about 1.6 to 3.7 ton of rock*)
- **Chemicals e Fuels**

MERCATO POTENZIALE

Allo stato delle attuali tecnologie è stato stimato un contributo totale delle CCU (chemicals + fuels) pari a ~ 20 % delle emissioni di CO₂.

Ma i progressi nella R&D, che è ancora allo stato iniziale, possono aumentare di molto il contributo della CCU alla mitigazione delle emissioni

INVESTIMENTI

I paesi che investono maggiormente in CCU sono:

Germania – 118 M Euro in un progetto con la Bayer

Stati Uniti – 106 M US \$

(http://fossil.energy.gov/news/techlines/2010/10027-DOE_Announces_Six_Projects_to_Conv.html)

Australia – 40 M AU\$ (<http://scinews.com.au/releases/410/view>)

Biossido di Carbonio

- 
- un rifiuto
 - una risorsa per applicazioni di nicchia

- un elemento chiave nelle strategie verso l'efficienza energetica
- una fonte pulita di C per la sintesi di combustibili e chemicals

ΔH_f°
Kcal/mole

0

-40

-80

-120

-160

H_2
 CH_4
 CO

CH_3OH
 H_2O

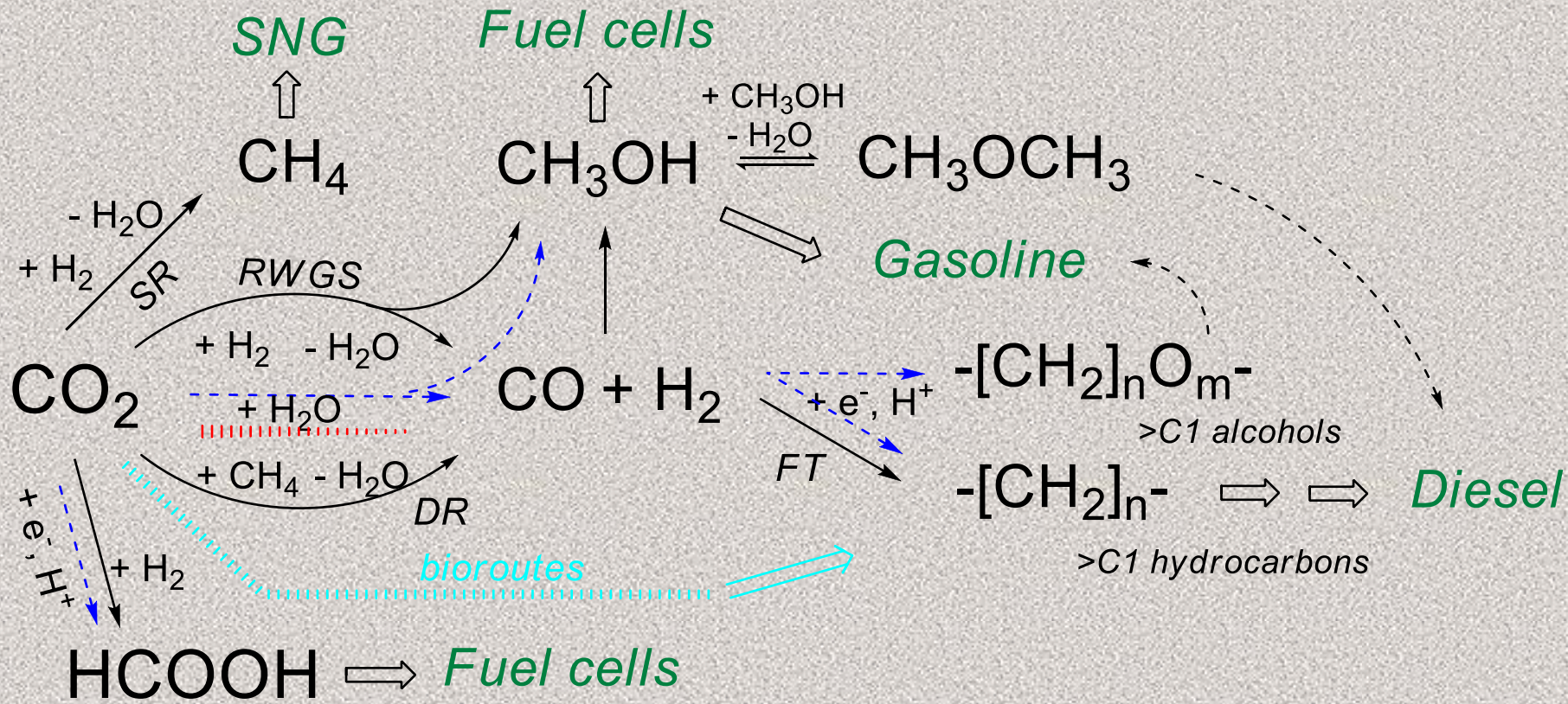
CO_2 $HCOOH$

H_2CO_3

H_2



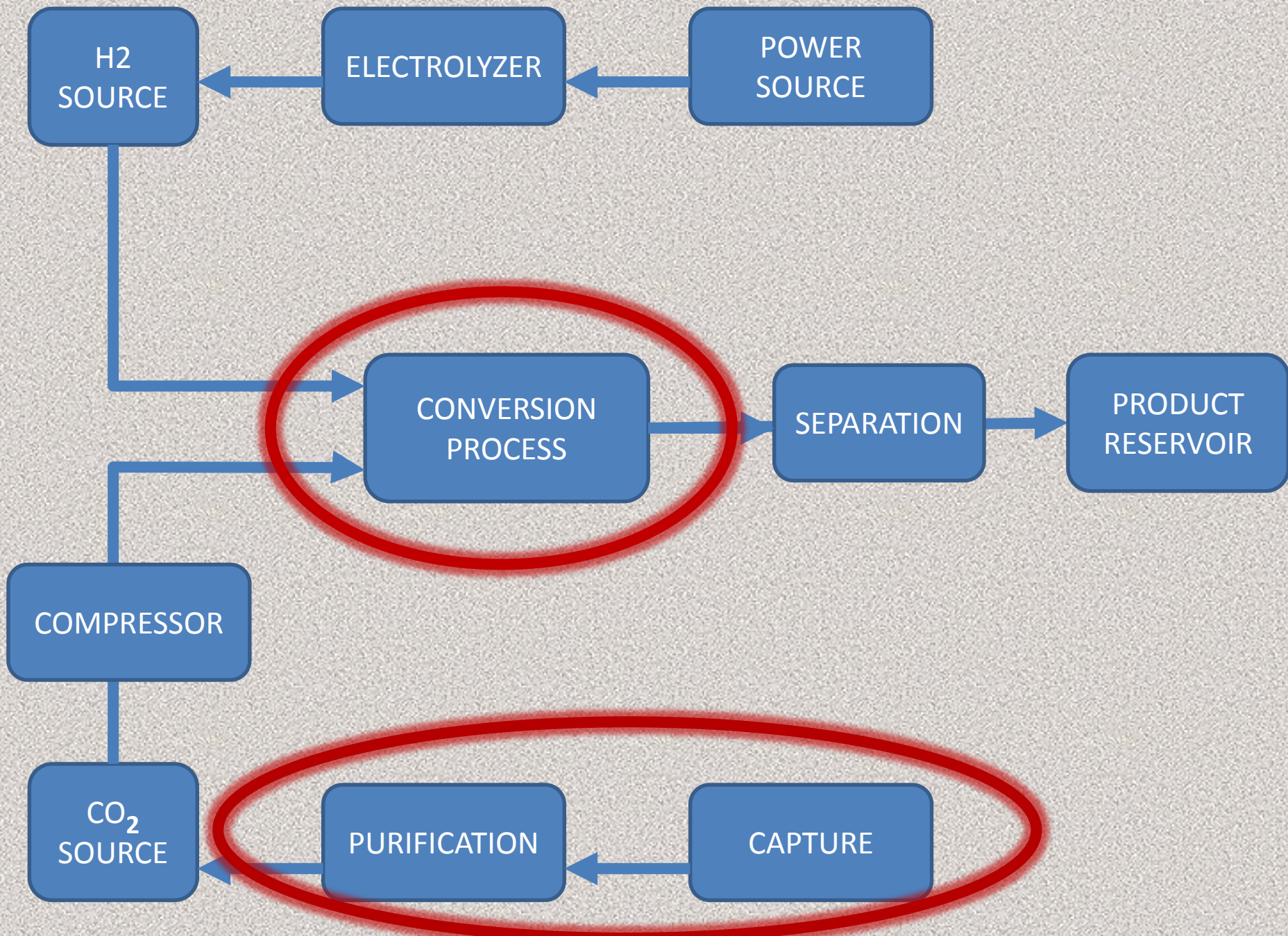
La versatilità del CO₂ in termini di prodotti e di tecnologie utilizzabili



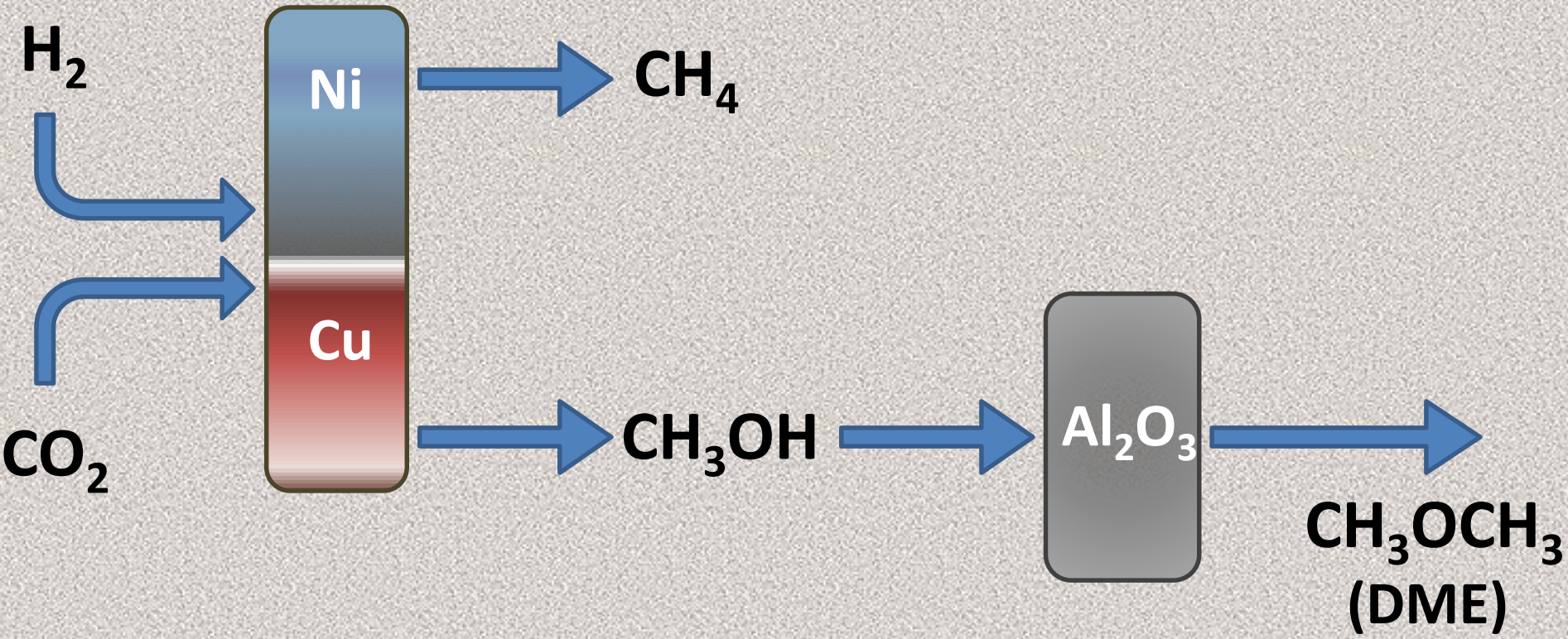
Chemical routes : *FT* : Fischer Tropsch
DR: Dry reforming
RWGS: Reverse water gas shift
SR: Sabatier reaction

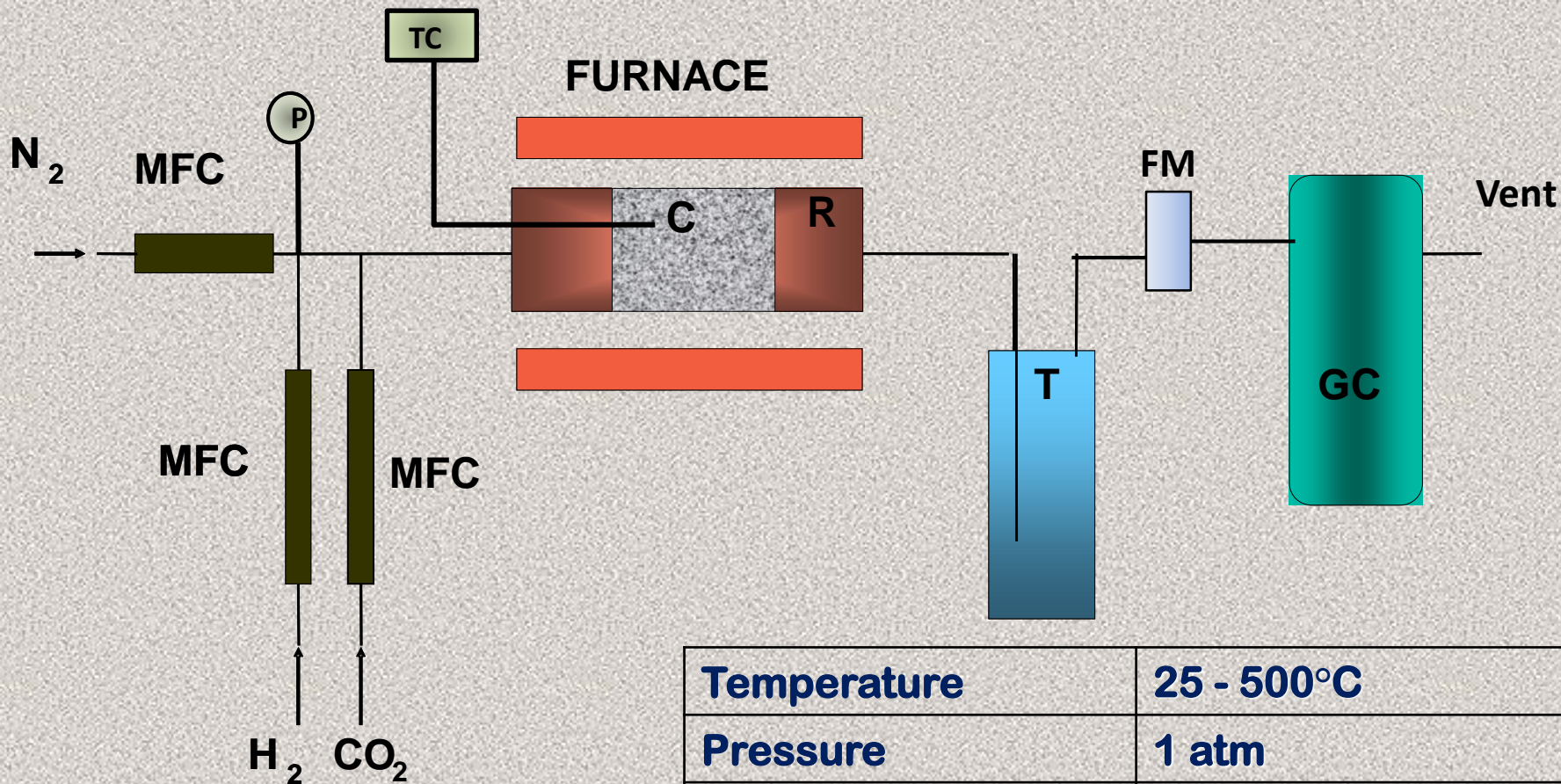
$\xrightarrow{\text{(catalytic)}}$

- - - - -> Electrochemical routes
||||| Solar thermal routes



L' ATTIVITA' ENEA



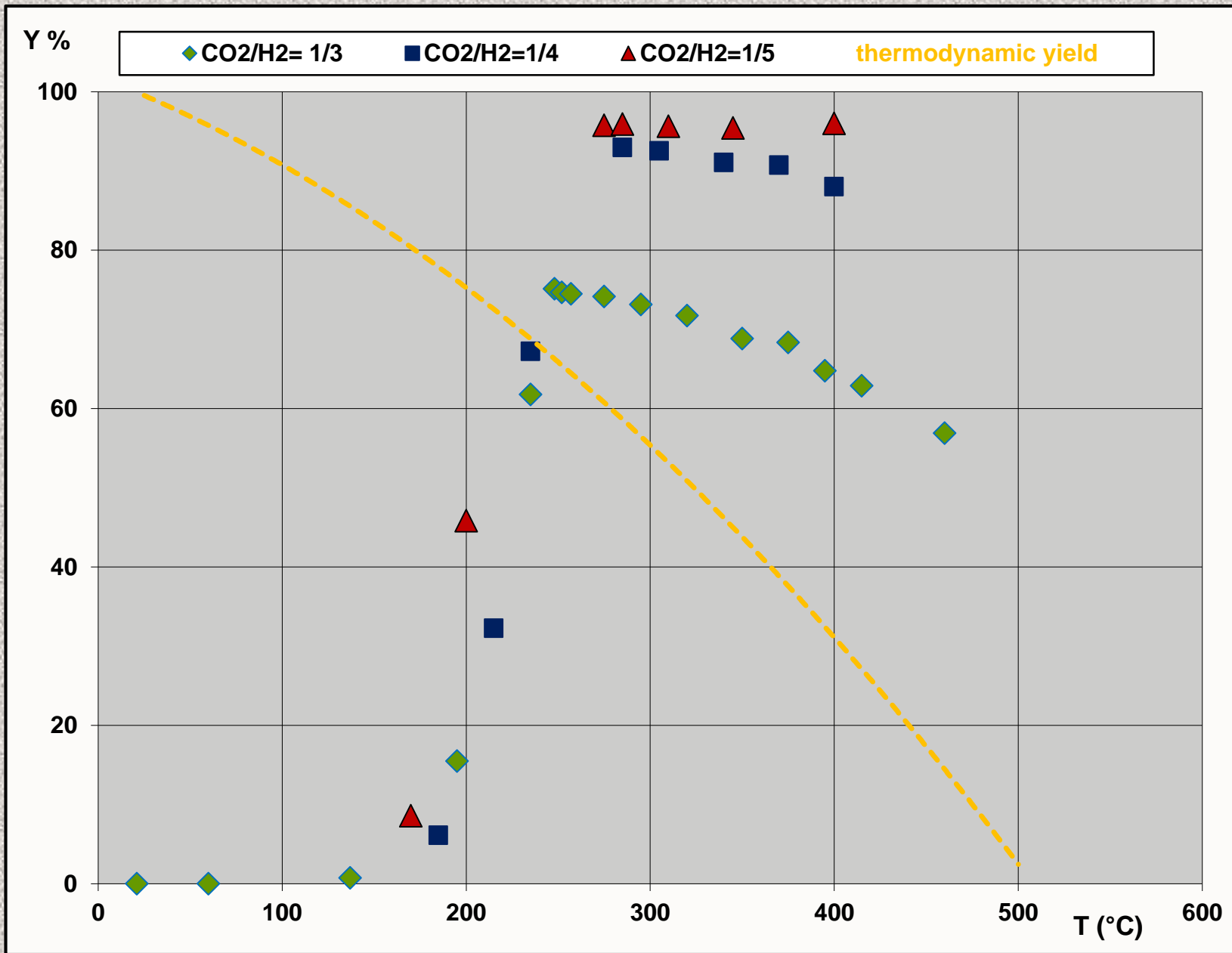


METANAZIONE



Y = 96 %

Temperature	25 - 500°C
Pressure	1 atm
Catalyst	Ni powder (particle size <100nm) SiO ₂ , Al ₂ O ₃ supported
Contact time	0,07 - 50 s
Inner diam. reactor	0,8 cm (pyrex)
Length of the fixed bed catalyst	3,5 cm - 17 cm



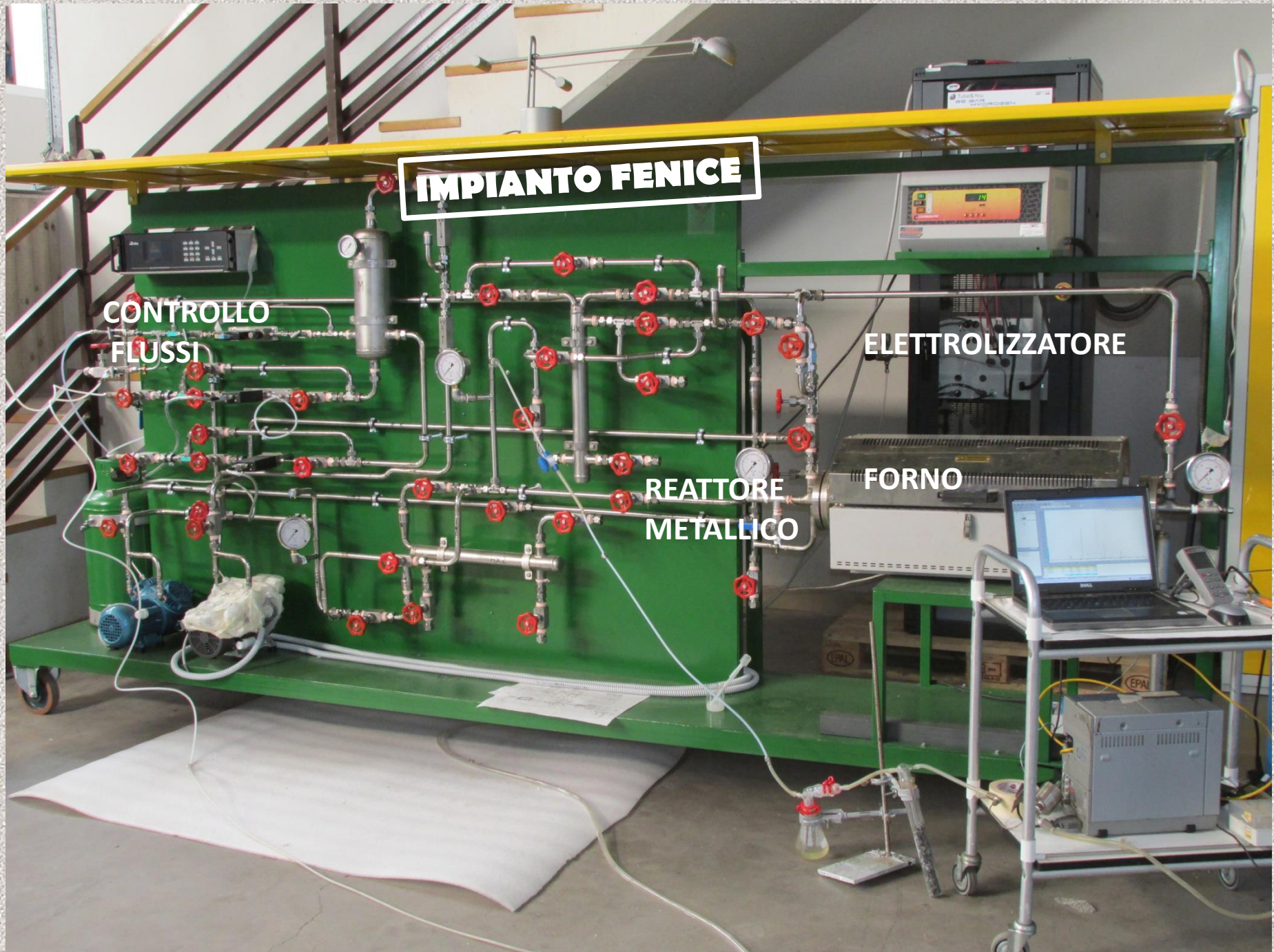
IMPIANTO FENICE

CONTROLLO
FLUSSI

REATTORE
METALLICO

ELETTROLIZZATORE

FORNO



MAIN SPECIFICATIONS

RENEWABLE ENERGY SOURCE

CRYSTALLINE SILICON PHOTOVOLTAIC CELLS (UP TO 5 KW)

ELECTROLYZER (*CTS Energy*)

PEM TYPE; H₂ PRODUCTION = 750 NL/h; P_{max} = 30 bar

METHANATION REACTOR

METALLIC REACTOR; Din. = 5.5 cm; L = 84 cm;

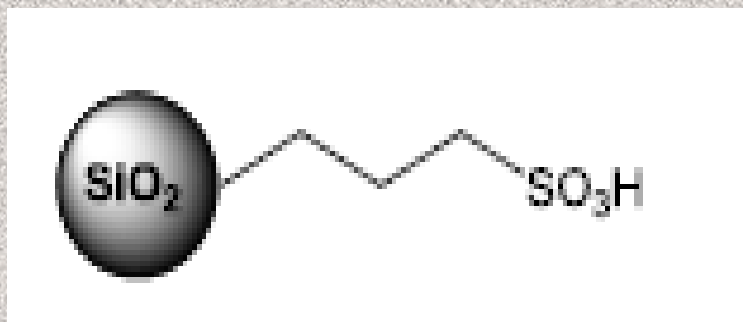
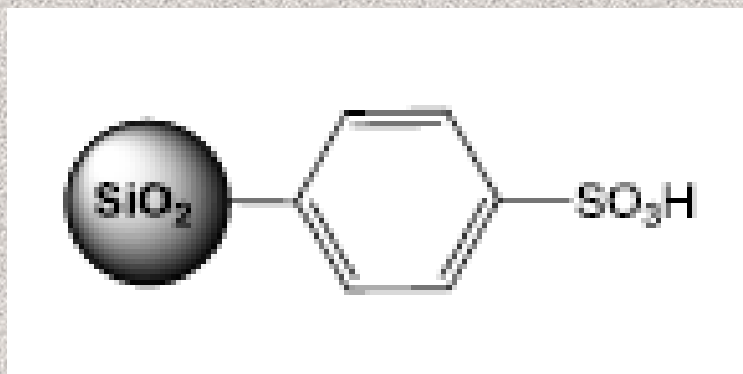
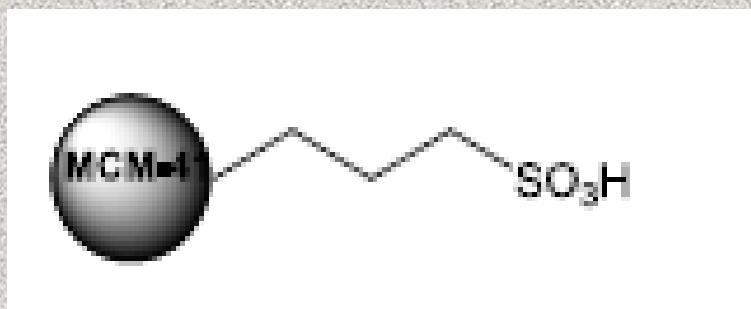
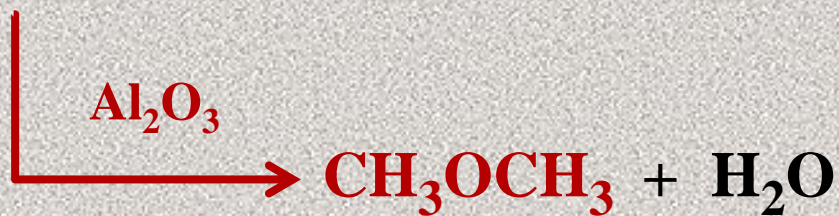
CATALYST : Ni/Al₂O₃; G1-85 (*BASF*)

CH₄ RESERVOIR

CH₄ PRODUCTION UP TO 185 NL/h; P_{acc.} = 20 bar

CO₂ SOURCE

FLUE GAS COMING FROM POWER PLANT AND CEMENT FACTORY



CONCLUSIONI

- ✓ **La conversione di CO₂ è una tecnologia che aggiunge valore ai costosi processi di cattura.**
- ✓ **La conversione a fuels richiede H₂ che a sua volta richiede energia.**
Se l'energia per la produzione di H₂, p.e. via elettrolisi dell'acqua, deriva da una fonte rinnovabile, la conversione di CO₂ rappresenta un utile metodo per immagazzinare energia rinnovabile sotto forma di energia chimica disponibile *on demand*.
- ✓ **La produzione di fuels da CO₂ e fonti rinnovabili ha effetti positivi sulla accettazione pubblica degli impianti.**

FINE



Allegato 6
RdS/PAR2014/271

La collaborazione ENEA-SOTACARBO nell'ambito del
Polo Tecnologico Sulcis e la produzione di "Synthetic
Natural Gas" da carbone

C.Bassano - ENEA



RICERCA DI
SISTEMA ELETTRICO



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Accordo di Programma MiSE-ENEA

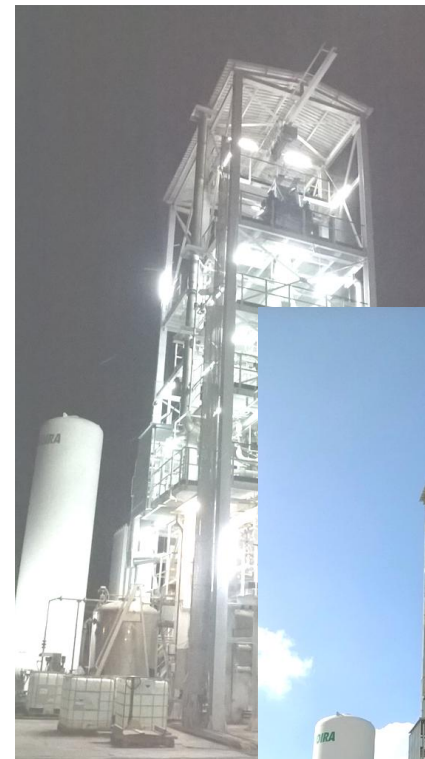
La collaborazione ENEA-SOTACARBO nell'ambito del Polo Tecnologico Sulcis e la produzione di "Synthetic Natural Gas" da carbone

Claudia Bassano, Paolo Deiana

ENEA Sede Legale, Salone Centrale – Via Giulio Romano, 41 – Roma
Cattura e Sequestro Della CO₂ Prodotta Da Combustibili Fossili
Roma, 24 Giugno 2015



- Il Polo Tecnologico del Sulcis
- Soggetti attuatori e soggetti coinvolti
- Attività, motivazioni e finalità
- Primi risultati e attività in corso
- Prospettive e sviluppi futuri



Agosto 2014

Il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) e la Regione Autonoma della Sardegna (RAS) firmano un accordo per l'attuazione del Protocollo di Intesa 2 Agosto 2013 dando di fatto il via alla **costituzione del "Polo Tecnologico del Sulcis"**.

I soggetti attuatori sono ENEA e Sotacarbo e le attività sono effettuate presso il centro ricerche Sotacarbo e più in generale presso le infrastrutture presenti nel Sulcis.

Le attività comprendono ricerche sul carbone pulito in un programma di 10 anni tra cui:

- Progetto di un impianto **oxyfuel** da 50MWt.
- **Sviluppo di nuovi sistemi di separazione e cattura** precombustion e postcombustion della CO₂ meno costosi e meno energivori degli attuali e nuove tecniche di rigenerazione dei solventi.
- Sperimentazione di diverse tecniche di **confinamento in strati sotterranei** profondi del bacino carbonifero del Sulcis, con tecniche di compressione, stoccaggio criogenico, trasporto e confinamento della CO₂ catturata.



HR: 2863 permanent staff
71 temporary staff
Headquarters in Rome
9 Research Centers
5 Research Laboratories
12 Local Offices
Brussel Liason Office

ENERGY

- Nuclear Fusion
- Nuclear Fission
- Renewable Energy Sources
- Energy Efficiency
- Advanced Technologies for Energy and Industry



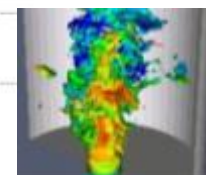
NEW TECHNOLOGIES

- Radiation Applications
- Material Technologies
- Energy and Environment Modeling
- ICT



SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

- Environmental Characterization, Prevention and Recovery
- Environmental Technologies
- Seismic Protection
- Radiation Biology and Human Health
- Sustainable Development and Innovation of the Agro-Industrial System



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile

Società Tecnologie Avanzate Carbone SpA

Centro Ricerche Sotacarbo

Compagine societaria: 50% ENEA e 50% RAS

Impianti, laboratori e attività di studio
per la gassificazione,
la cattura della CO₂
e la produzione di idrogeno



SW Sardegna
Bacino
Minerario
Del
Sulcis





Coordinamento, sviluppo e test tecnologie



Sperimentazione c/o piattaforma pilota, oxyfuel, storage CO₂,



Università di Cagliari

Purificazione syngas, analisi chimiche, analisi tar, coal slurry



Politecnico Milano

Catalisi, sintesi sperimentazione e caratterizzazione
Catalizzatore supportato su matrice monolita per metanazione
Modellistica chimica



Università di Bologna

Membrane di separazione gas, cattura della CO₂
e purificazione del Synthetic Natural Gas



Università di Roma

Analisi di sistema, modellistica dei processi, storage e monitoraggio



Analisi geosismica

Una **task force dedicata alla gestione condivisa delle attività** sugli impianti di gassificazione e di cattura della CO₂ è stata istituita con la partecipazione di personale ENEA e Sotacarbo.

Le **filieri tematiche trattate** nella cornice del progetto

“Cattura e Sequestro della CO₂ prodotta da Combustibili Fossili “ sono:

1. Tecnologie innovative per la cattura della CO₂ in pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi (gassificazione)
2. Tecnologie per l'ottimizzazione dei processi di ossi-combustione
3. Monitoraggio e storage della CO₂
4. Studi e sperimentazioni relative alla produzione di SNG da CO e CO₂
5. Comunicazione e diffusione dei risultati

Test sugli impianti di gassificazione e valutazione delle prestazioni di processo su scala fino a 5 MWt

Verifica di funzionalità di tutti i componenti nella diverse fasi di start-up, stazionario e shut-down.

Nuovi test in corso su diversi tipi di carbone, cippato e loro miscele.

Caratterizzazione del syngas prodotto (concentrazioni gas e analisi tar e polveri).

Progetto e realizzazione di una nuova sezione di trattamento syngas

Nuovo disegno della griglia è stato realizzato ed è ora in fase di test.

Progettazione e realizzazione del sistema di caricamento automatico del combustibile.

Progettazione e realizzazione di un nuovo sistema di trattamento acque di lavaggio.

In prospettiva acquisizione di un gruppo elettrogeno a combustione interna con quadro parallelo.

Prove di cattura della CO₂ con solventi a base di ammine

Prove di rigenerazione dei solventi

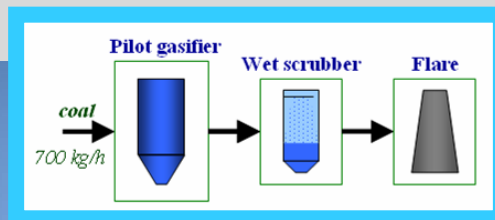
Caratterizzazione del loop completo assorbimento e rigenerazione

Implementazione del sistema di controllo del loading basato sulla misura della densità della miscela

Vista globale

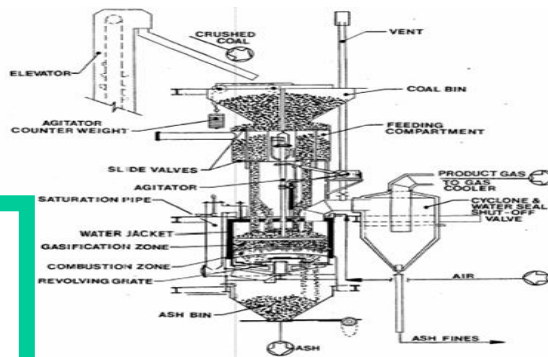
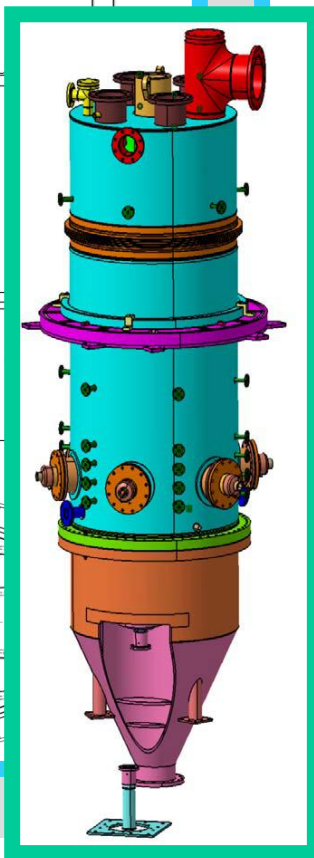
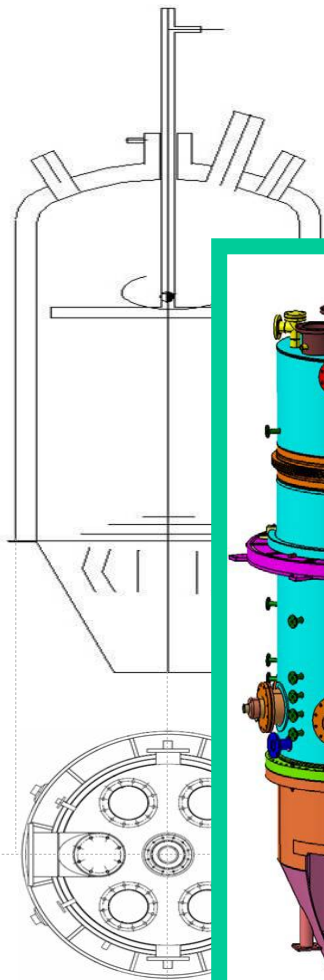


Vista NORD



Vista SUD

Il gassificatore



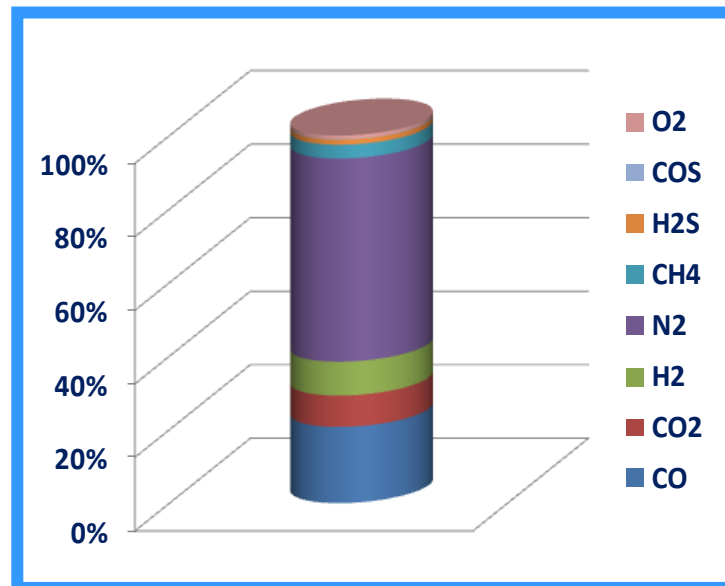
- Letto fisso con griglia rotante
- Tipologia Wellman-Galusha
- Caricamento dall'alto
- Progettato per alimentazione a carbone
- Capacità massima 700 kg/h
- Capacità operativa 500 kg/h
- Pressione di progetto 3.0 bar a
- Pressione operativa 0.2 bar g
- Temperatura Uscita Syngas 200-300°C
- Alimentazione mista biomasse/carbone
- Water jacket
- Stirrer raffreddato
- Start up a irradiator ceramici
- Scarico ceneri asciutte



Le procedure operative sviluppate ad hoc prevedono:

1. testing and start-up dei sistemi ausiliari;
2. avviamento dell'impianto;
3. operatività in regime continuo e stazionario;
4. spegnimento dell'impianto.

Type	sub-bituminous coal	Woodchips	Mixture
Name	Sulcis	Eucalyptus	-
Provenance	Sardinia	Sardinia	-
<i>Mixture percentage</i>			
Mass Percentage	75%	25%	-
Bulk density (kg/dm ³)			
Density	0,8	0,3	0,7
<i>Immediate analysis (% in mass)</i>			
Fixed Carbon	40,65	19,10	32,40
Moisture	7,45	7,75	7,48
Volatiles	40,45	63,14	44,00
Ash	11,45	9,96	16,08
<i>Elemental analysis (% in mass)</i>			
Total Carbon	66,49	39,40	51,85
Hydrogen	6,18	4,98	5,17
Nitrogen	1,41	0,18	1,17
Sulfur	7,02	0,01	5,12
Oxygen	n.d.	-	-
Moisture	7,45	7,70	7,46
Ash	11,45	9,96	16,08
<i>Calorimetric Analysis (MJ/kg)</i>			
Higher Heating Value	22,59	14,51	20,82
Lower Heating Value	21,07	13,25	19,51



Rough Syngas properties (on dry basis)

Volume flow rate (Nm³/h) 400

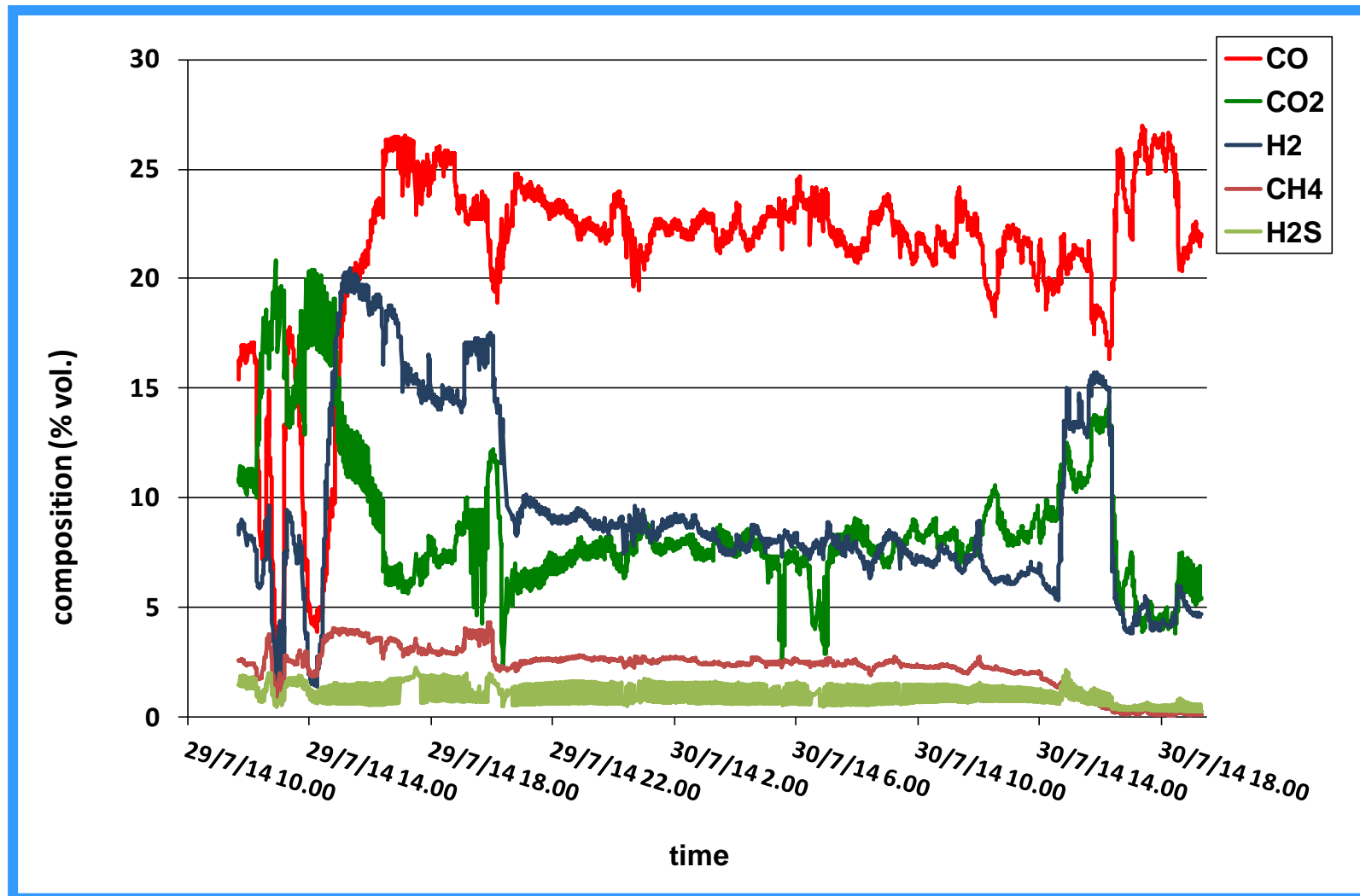
Lower Heating Value (MJ/kg) 4,2

Pressure (MPa) 0,014

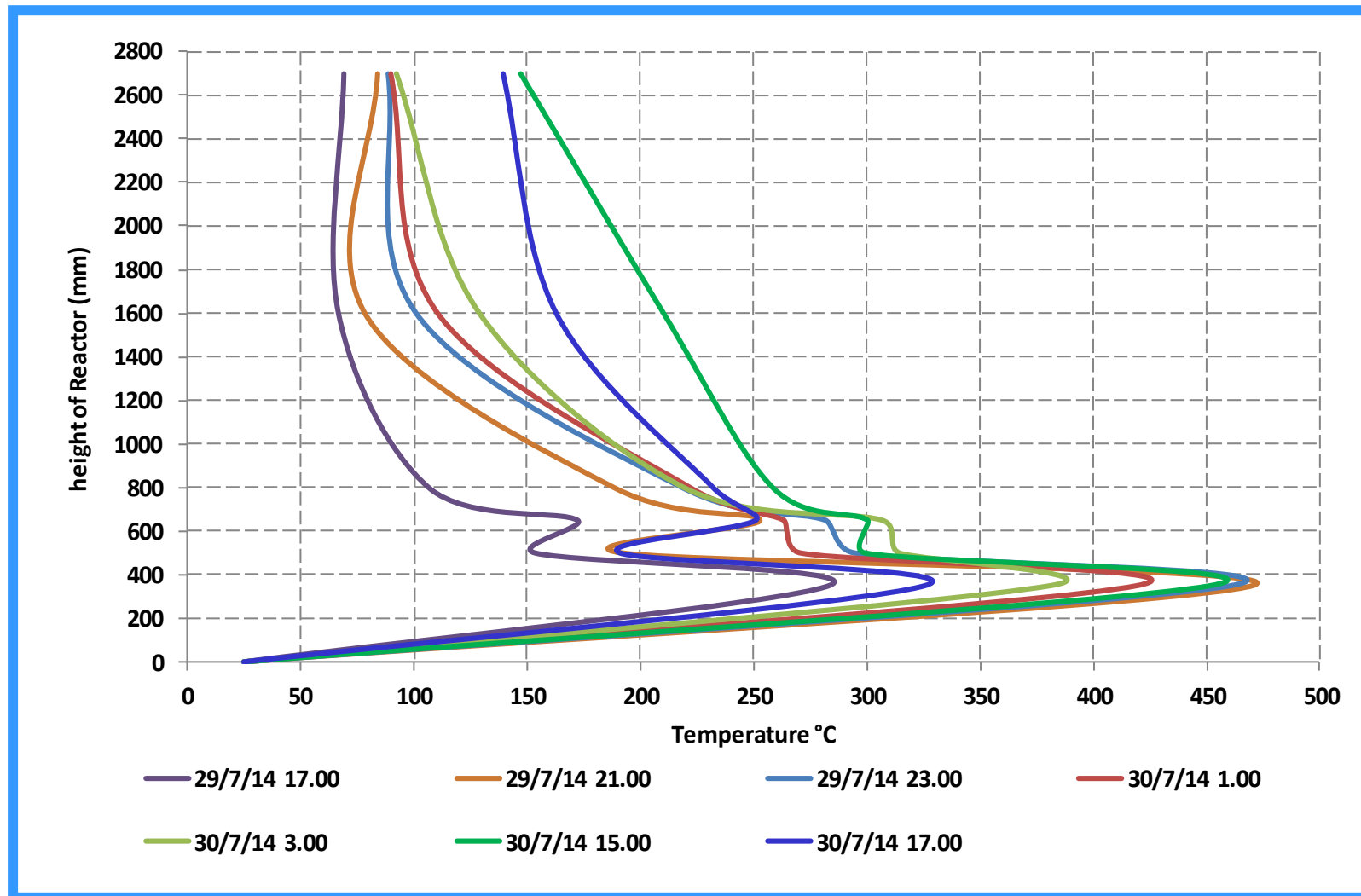
Temperature (° C) 50,4

...fino a 1tonn/h alimentazione x 1000 m³/h di syngas

Composizione del syngas



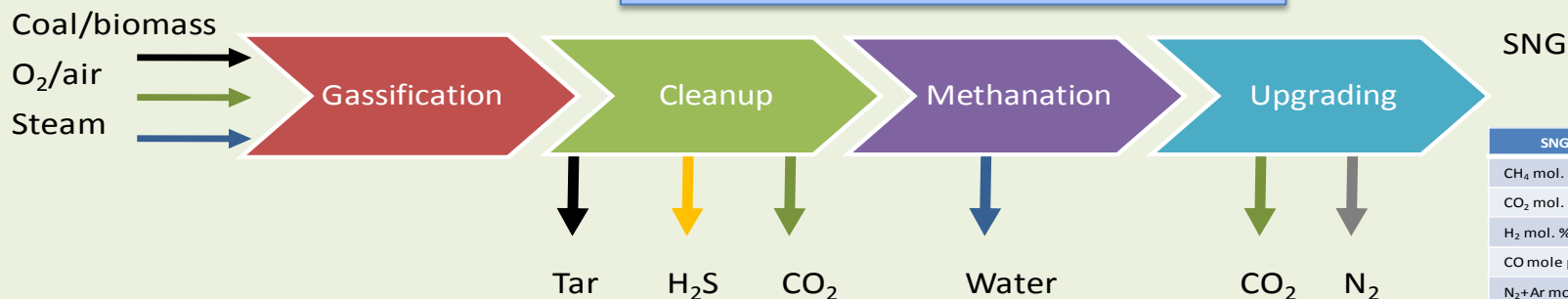
Profili di temperatura



Migliorare la **competitività economica** rispetto ai competitors
(Gas Naturale e GPL)

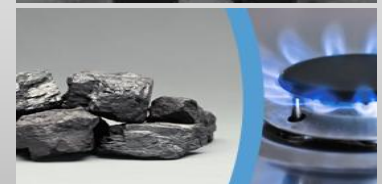
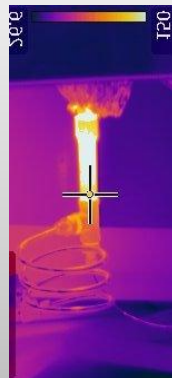


- Differenziazione delle **fonti energetiche**
- Sicurezza energetica
- Integrazione con le tecnologie **CCS**
- Mercato di utilizzo: pipeline o locale
- Utilizzo CO₂ applicazione nel **power to gas**



SNG Typical composition	
CH ₄ mol. %	97
CO ₂ mol. %	0.16
H ₂ mol. %	1.36
CO mole ppm	11
N ₂ +Ar mol. %	0.53
HHV MJ/Nm ³	39
Wobbe Index MJ/Nm ³	51.6

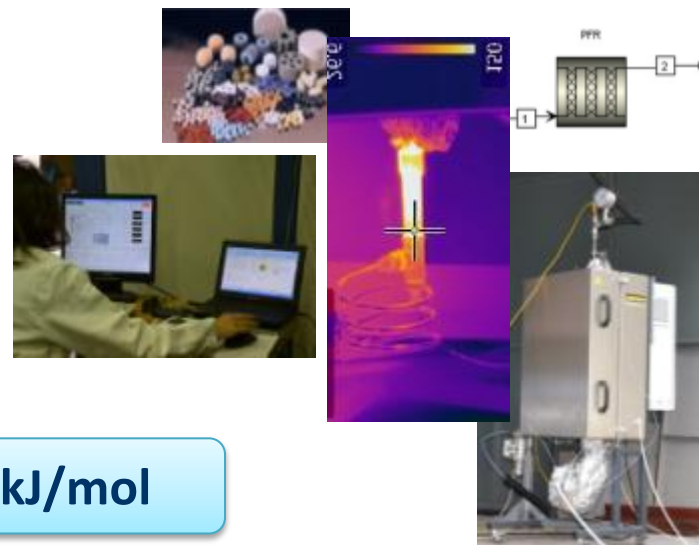
1. **Test sperimentali** su **catalizzatori** di natura commerciale su **scala laboratorio**
2. **Sperimentazione** su scala **pilota** di sistemi e componenti
3. Ricerca di base sui materiali (**metallici, sorbenti, catalizzatori**)
4. **Analisi e modellazione di processi** e sistemi energetici con l'ausilio di **software industriali** finalizzata alla valutazione di **parametri prestazionali** sia in termini **energetici** che **economici e ambientali (LCA)**
5. **Coordinamento** attività e progetti, collaborazioni con **Università (POLIMI UNIBO CAGLIARI)**
6. **Trasferimento tecnologico**, brevetti, partecipazione a tavoli di discussione



Test sperimentali su catalizzatori di natura commerciale

Condizioni operative ottimali in termini di resa in CH₄

Forte esotermicità reazioni → ricircolo o diluizione



Set up sperimentale e metodo

Utilizzo di Aspen PFR

Reattore monotubolare

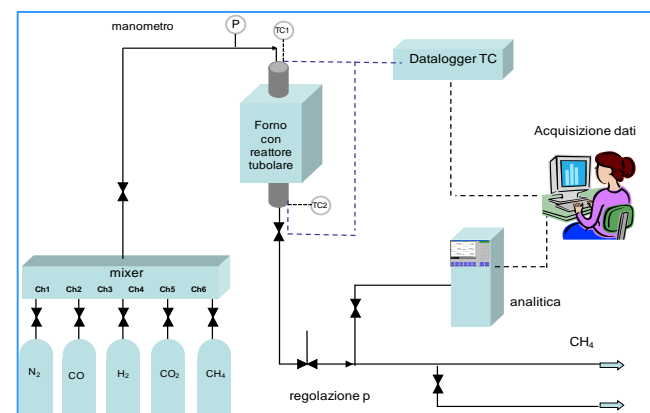
Catalizzatori

Test variando p

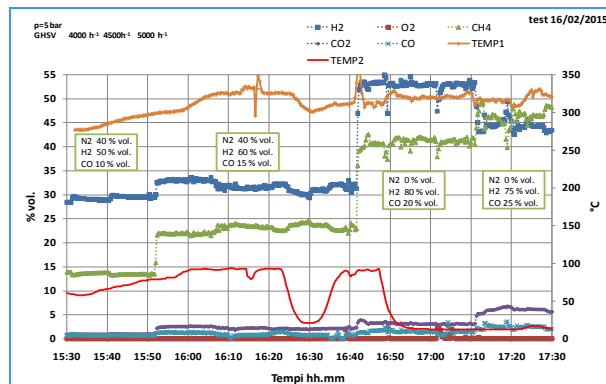
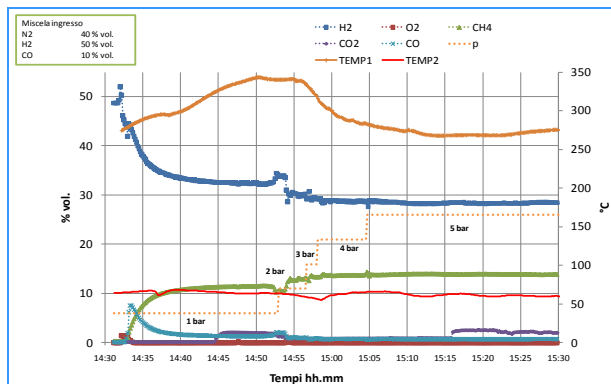
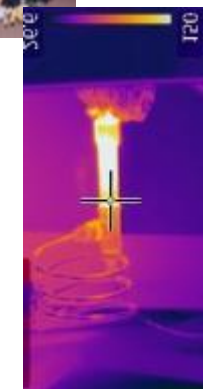
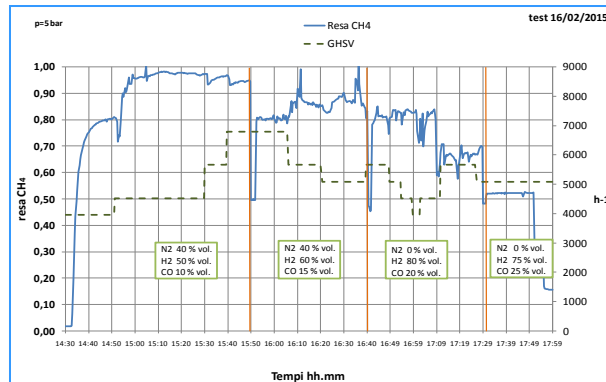
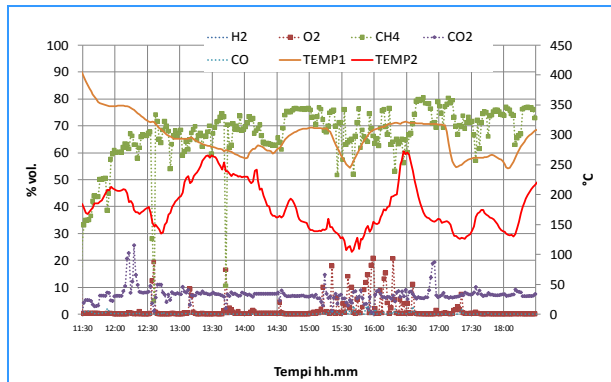
Test variando miscele

Temperatura

Ru/Al₂O₃ Ni/Al₂O₃
Pressioni 1- 5 bar
N₂/CO/H₂ /CO₂/CH₄
300-350 ° C

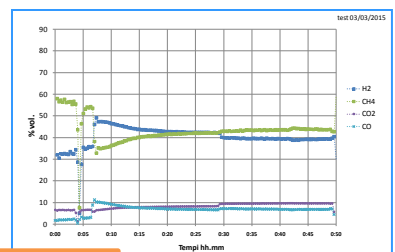
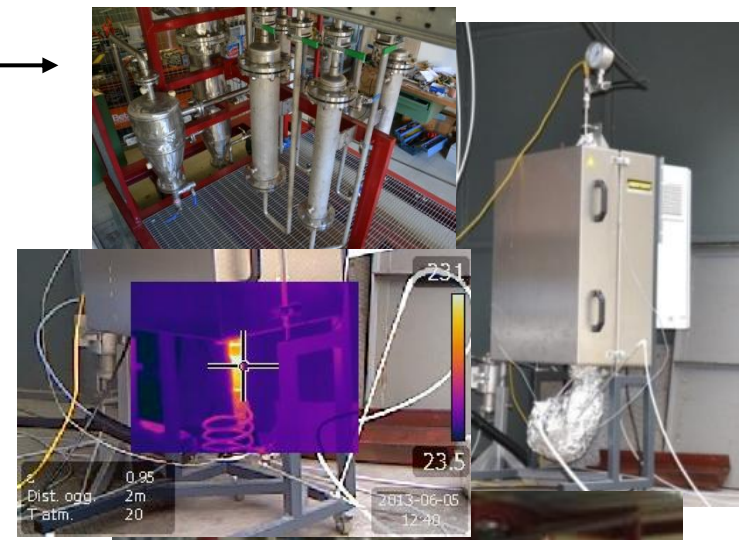
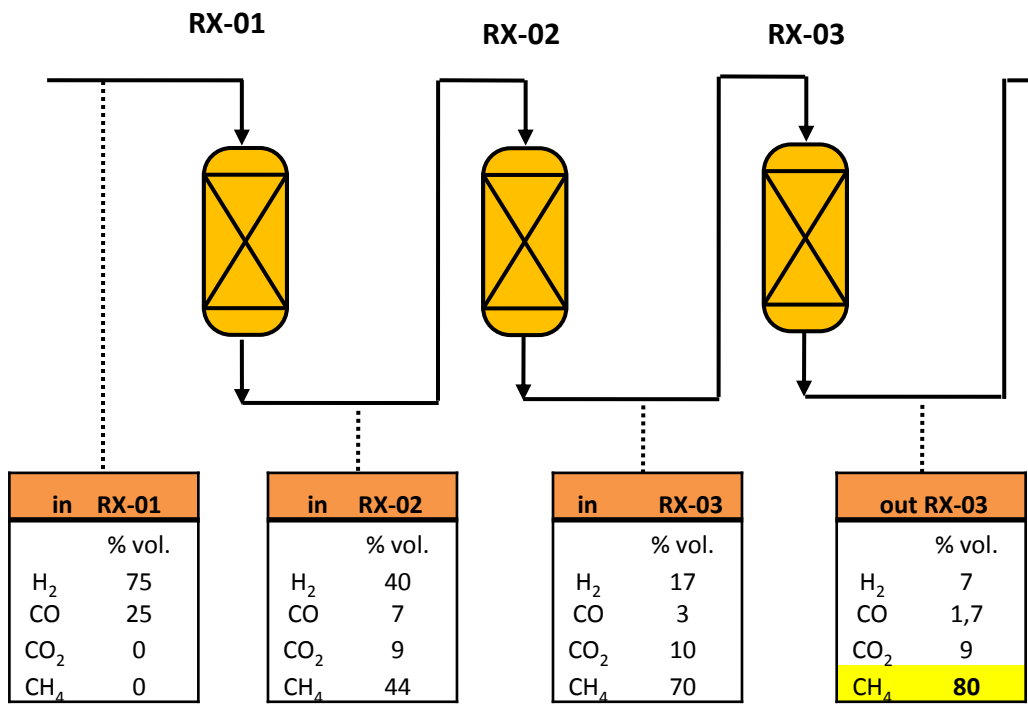


SNG: sperimentazione su scala laboratorio

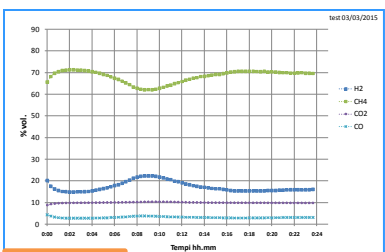


Controllo della temperatura → Reattore monotubolare al multitubolare ai reattori in serie

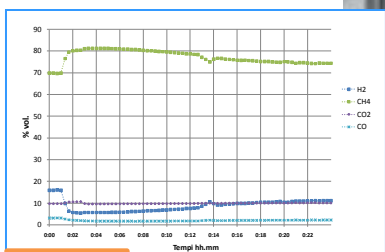
SNG: Sperimentazione su scala pilota



RX-01



RX-02



RX-03



Attività SNG: impianto GESSICA



GESSICA is an experimental facility dedicated to the study and testing of gasification process, of Synthetic Natural Gas production from coal and its implementation in "Power to Gas" sector.

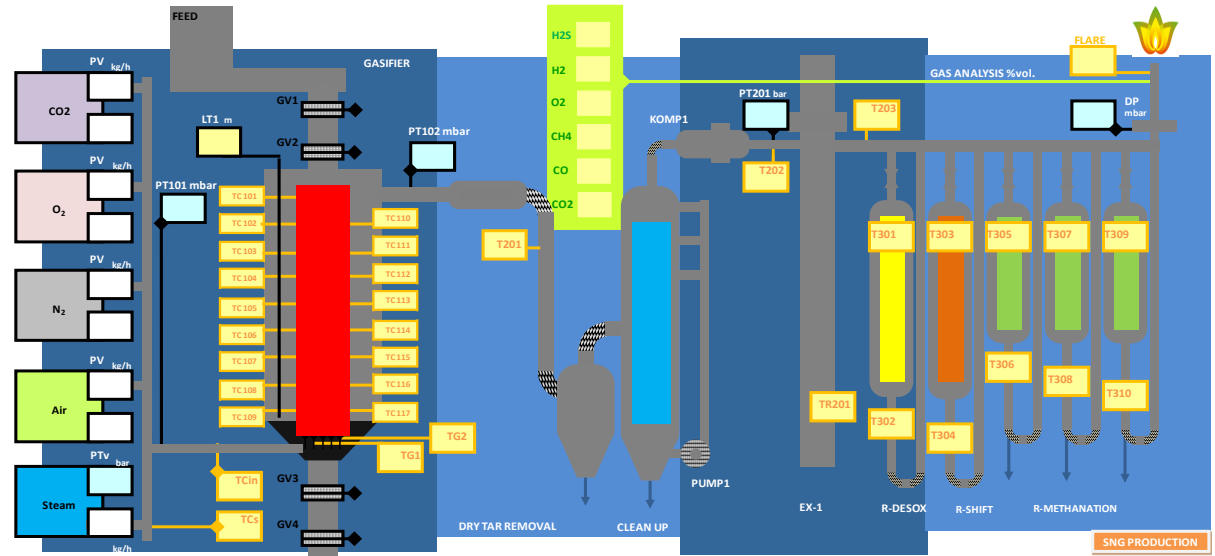
Potential users:
Public and private Research Bodies, energy and transport operators; catalysts producers.

Several power plant configurations have been recently studied as favorable alternatives to conventional technologies in the field of energetic conversion of coal. As a matter of fact, a new interest arises in the coal and biomass conversion technologies to produce **synthetic natural gas (SNG)** ensuring energy sources differentiation.

SNG has good market opportunities in the world of refining (used as fuel gas) and in the automotive sector. Furthermore, the SNG produced from coal can be used either **locally** (in the case of area not supplied by natural gas) or injected into the **methane pipeline**, partly alleviating the energy dependency on foreign gas and enhancing **energy security**.

Renewables are steadily becoming a greater part of the global energy mix, in particular in the power sector. Nevertheless fossil fuel power plants will continue to play an important role due to the aleatory nature of some types of renewable source. For this reason an energy storage strategy, as "**power to gas**" (P2G), would be attractive because allows to store the surplus of electrical energy balancing offer and demand over the electrical grid.

More in detail the excess of electrical energy can be used to produce H₂ (by electrolysis) that reacts with CO and CO₂ contained in the syngas coming from the gasification process, to produce high methane content SNG. It also could be seen as a viable alternative to use CO₂ instead of storing it into geological sinks.



Gasifier type	Updraft/Downdraft	
Feed	10-15	kg/h
Syngas	25	kg/h
LHV _{syngas}	3-10	MJ/kg
Gasifier cold gas efficiency	>75	%
Ash removal	Automatic	
Fuel feeding	Automatic	
Methane	3-5	Nm ³ /h
Average efficiency process SNG	40-50	%
CH ₄ yield	0.4-0.5	Nm ³ CH ₄ /kg feed
Plant size	20-40	kWth _{SNG}

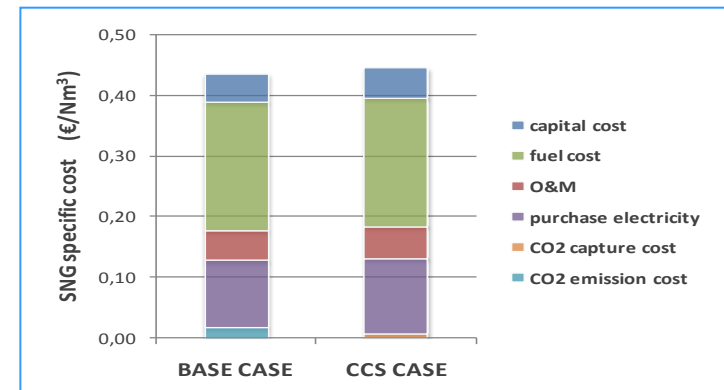
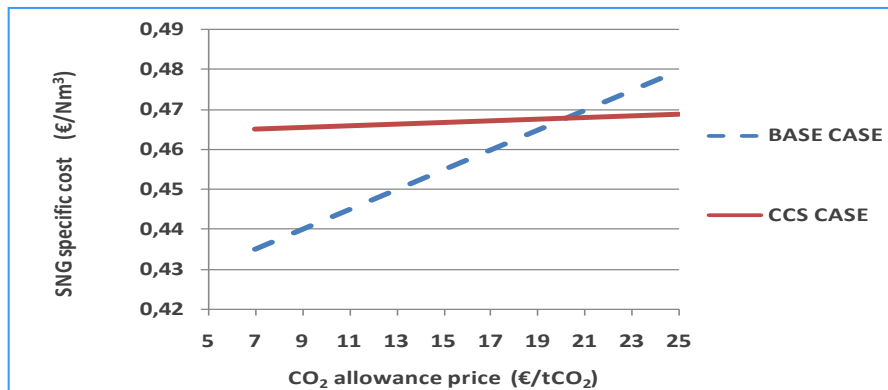
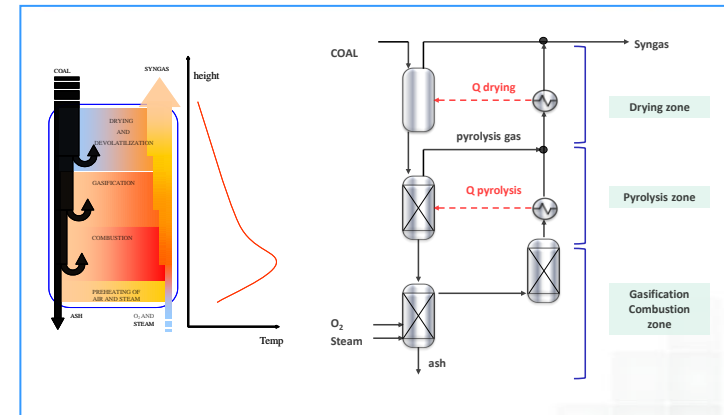


- ❑ Test dei processi di **gassificazione updraft e downdraft**
- ❑ Test di differenti processi e tecnologie di abbattimento del **tar (POX)**
- ❑ Test di differenti **sorbenti** per la desolforazione a caldo
- ❑ Test di differenti **catalizzatori** per la metanazione
- ❑ Test di differenti **tecnologie di upgrading del SNG** (es. membrane)



SNG: Analisi di fattibilità economica

- Studio di fattibilità tecnica economica di un impianto di produzione di SNG da carbone
- Rese in metano ed efficienze $\eta=0.52$
- Integrazione con la cattura della CO₂ $\eta \downarrow 2\%$
- Studio di fattibilità tecnica economica di un impianto di produzione di SNG da carbone
- Stima del costo del metano e sensitività rispetto all'EUA (€/tonCO₂)



Attività SNG: Energy Storage P2G

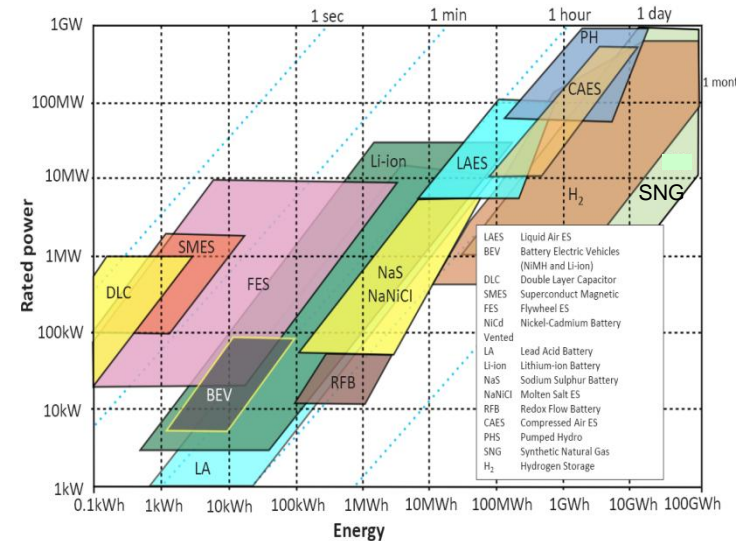
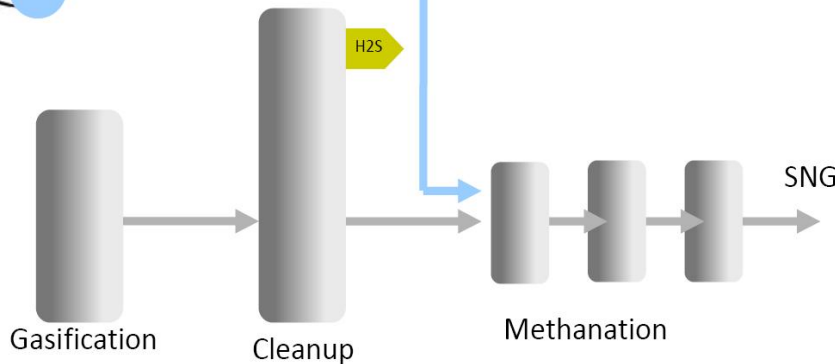
Energy Roadmap



Crescita delle rinnovabili
 Aleatorietà delle fonti rinnovabili
 Ruolo importante dei combustibili fossili a medio termine (CCS)



Hydrogen from Renewables



Si aggiusta a piacere il rapporto H₂/CO e H₂/CO₂ in modo che virtualmente si può eliminare la sezione di cattura della CO₂. Vanno fatte verifiche economiche e di disponibilità dell'H₂
 Flessibilità rispetto ai prezzi volatili dell'energia elettrica



**International Sulcis
CCS Summer School
3rd edition**

The interest in the Sulcis CCS Summer School can easily be explained by the growing attention worldwide for the technologies of separation and containment of carbon dioxide (so-called CO₂ - "Carbon Capture and Storage"). The lecture programme will cover the range of techniques developed for the capture, transport and geological storage of CO₂, for which the Sulcis basin is the ideal laboratory for experimentation. It is one of the few sites in the world potentially able to accommodate large amounts of carbon dioxide with almost no environmental risks, thanks to the presence of deep layers of coal suitable for the permanent storage of large quantities of CO₂ due to its peculiar geological features and also of an aquifer underneath the coal basin.

**Centro Ricerche Sotacarbo
Grande Miniera di Serbariu
Carbonia, Italy**

**13-17
July 2015**

Logistics:
Monday, July 13th, 2015
Introduction to CCS
Tuesday, July 14th, 2015
CO₂ capture technologies
Wednesday, July 15th, 2015
CO₂ transport technologies
Thursday, July 16th, 2015
CO₂ storage
Friday, July 17th, 2015
General CCS information

Logos: ENEA, SOTACARBO, CLEAN COAL, CO₂ capture, and various university logos.

Terza edizione della Sulcis CCS Summer School.
Organizzata da ENEA, Università di Cagliari (Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali) e Sotacarbo.

3rd Annual International Sulcis CCS Summer School 13-17 July 2015

Sotacarbo Research Center, Carbonia, Sardinia, Italy



Carbon Capture & Storage Summer School

Programma delle lezioni copre la gamma di tecniche

- la cattura,
- il trasporto
- lo stoccaggio geologico di CO₂

Comitato Scientifico

- Claudia Bassano (ENEA)*
- Giorgio Cau (University of Cagliari)*
- Paolo Deiana (ENEA)*
- Marcella Fadda (Sotacarbo)*
- Silvana Fais (University of Cagliari)*
- Francesca Ferrara (Sotacarbo)*
- Giuseppe Girardi (ENEA/Sotacarbo)*
- Salvatore Lombardi (University of Rome "La Sapienza")*
- Enrico Maggio (Sotacarbo)*
- Árpád B. Palotás (University of Miskolc, Hungary)*
- Sergio Persoglia (OGS)*
- Alberto Pettinau (Sotacarbo)*
- Mario Porcu (Sotacarbo)*
- Giulio Cesare Sarti (University of Bologna)*
- Vittorio Tola (University of Cagliari)*

Ottimizzazione e **completa automazione del processo di gassificazione.**

L'obiettivo dichiarato è quello di dimostrare il funzionamento continuo dell'unità da 1MWe, alimentata da carbone e biomasse e collegata in rete per la generazione di energia.

L'impianto completo rappresenta il FOAK, che potrebbe essere felicemente replicata ma anche aperta a futuri progetti di ricerca e programmi nel settore della gassificazione delle biomasse e del carbone.

Studio e sperimentazione di **sistemi di cattura della CO₂ di seconda e terza generazione.**

Sviluppo e messa a fattor comune degli impianti per prove e test sperimentali su nuovi materiali e processi nel campo dei solventi liquidi, sorbenti solidi e membrane.

Studio e sperimentazione delle **tecnologie di stoccaggio geologico definitivo.**

Attività di caratterizzazione del bacino dell'area del Bacino del Sulcis, test site CO₂.

Studio e sperimentazione **tecnologie SNG**

Applicazioni tecnologiche **SNG, P2G e verifica di fattibilità economica**



Grazie per la cortese attenzione

claudia.bassano@enea.it
www.enea.it



Allegato 7
RdS/PAR2014/271

Le attività di SOTACARBO sul tema della cattura e del
sequestro della CO₂

E.Maggio - SOTACARBO



RICERCA DI
SISTEMA ELETTRICO



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

Accordo di Programma MiSE-ENEA

Cattura e sequestro della CO₂ prodotta da combustibili fossili

ENEA, Via Giulio Romano, 41

Roma, 24 giugno 2015



ENRICO MAGGIO

e.maggio@sotacarbo.it

Le attività Sotacarbo sul tema della cattura e stoccaggio della CO₂

SOTACARBO – Società Tecnologie Avanzate Carbone - SpA
c/o Grande Miniera Serbariu
09013 Carbonia (CI)

⇒ Panoramica sulla attività Sotacarbo

- Impianti sperimentali pilota e dimostrativo
- Impianti su scala da laboratorio
- Laboratori
- Attività Sotacarbo su cattura e stoccaggio CO₂
- Sviluppi futuri

Panoramica sulla attività Sotacarbo



MINISTERO DELLO
SVILUPPO ECONOMICO



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

ATTIVITÀ DEL POLO TECNOLOGICO-SOTACARBO PER L'IMPIEGO SOSTENIBILE DEL CARBONE

Programma di ricerca



Cattura della CO₂



Stoccaggio della CO₂



Ossicombustione

Copertura Finanziaria delle attività del Polo Tecnologico:

MiSE: € 2.200.000 SOTACARBO + € 800.000 ENEA all'anno x 10 anni

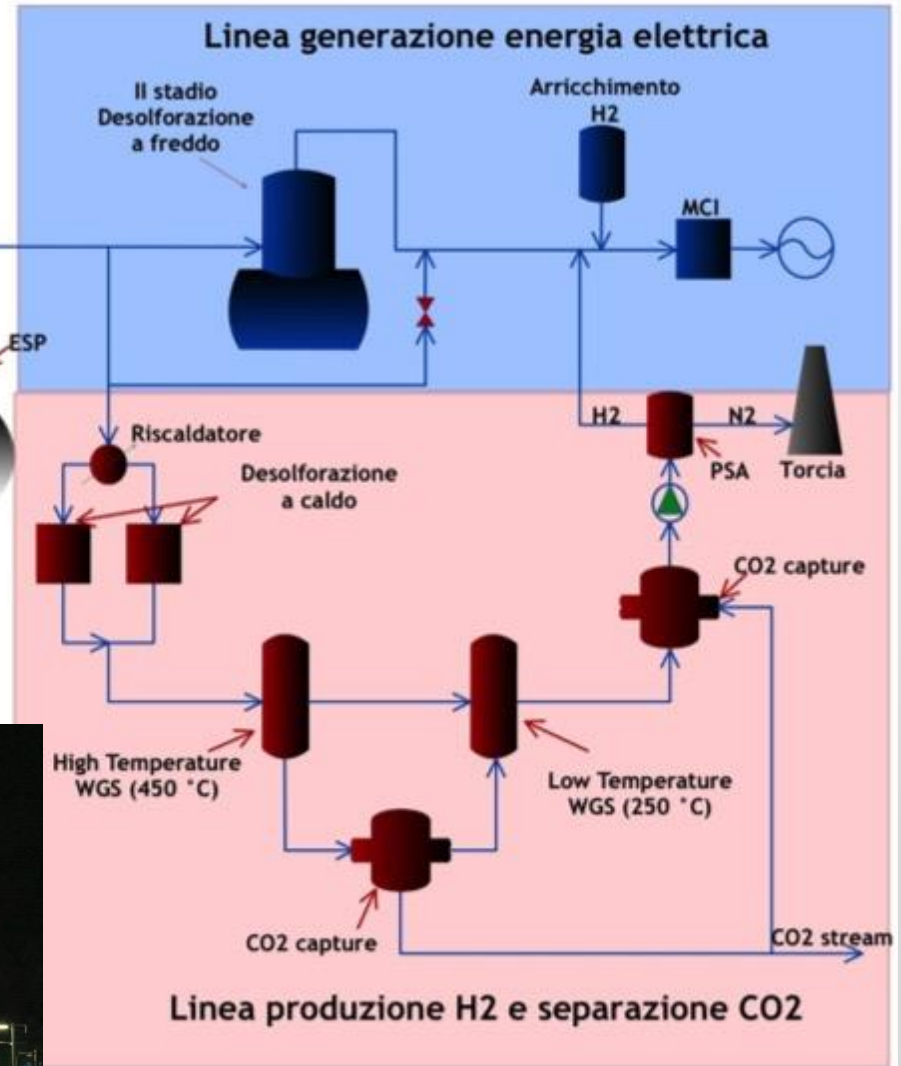
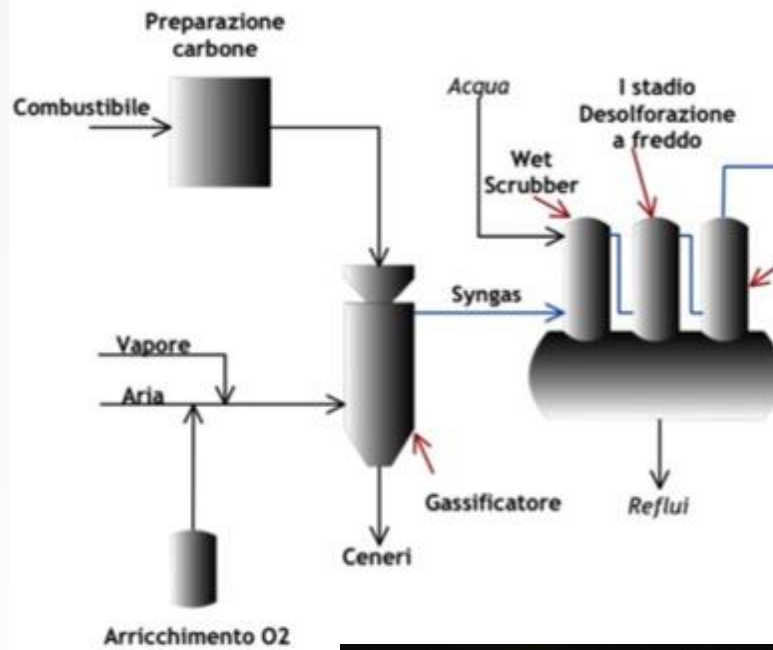
RAS: € 8.400.000 x 3 anni + ulteriori finanziamenti da definire per i successivi 3 anni

Panoramica sulla attività Sotacarbo

⇒ Impianti sperimentali pilota e dimostrativo

- Impianti su scala da laboratorio
- Laboratori
- Attività Sotacarbo su cattura e stoccaggio CO₂
- Sviluppi futuri

Impianto PILOTA





Gassificatore



Desolforazione a caldo



Skid a freddo



Cattura CO₂



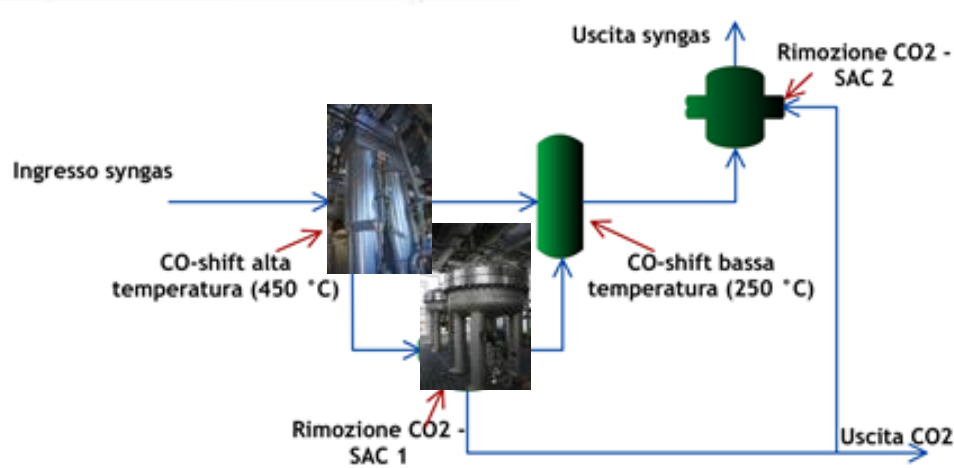
Desolforazione a freddo



Rigenerazione ammine

Impianto PILOTA

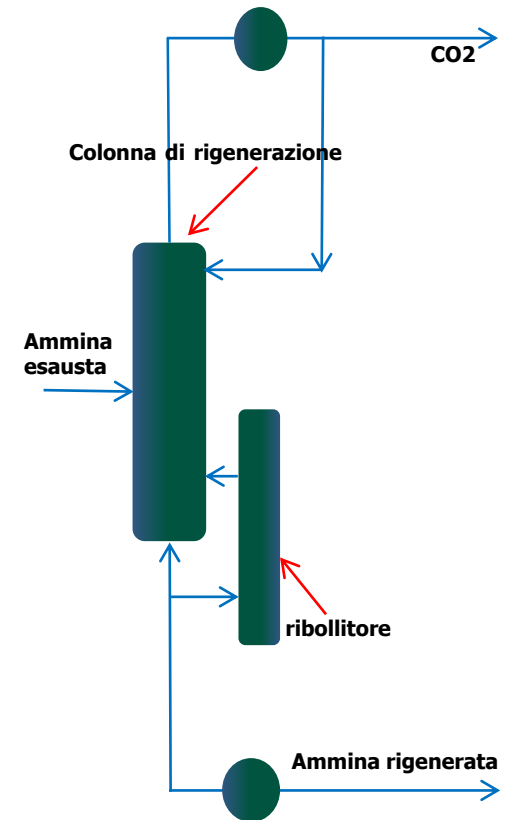
Sezioni coinvolte nelle sperimentazioni di cattura CO₂ e rigenerazione ammine



sistema integrato di CO-shift e assorbimento della CO₂



Misuratori di densità

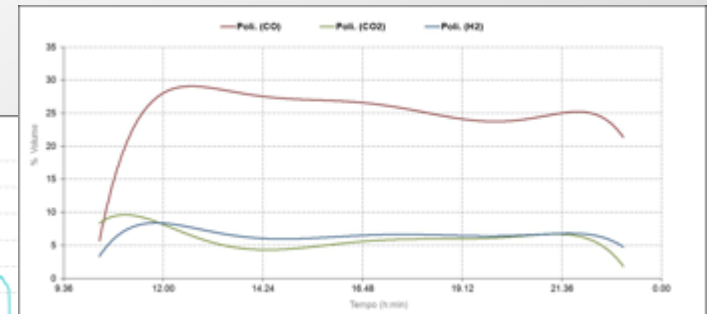
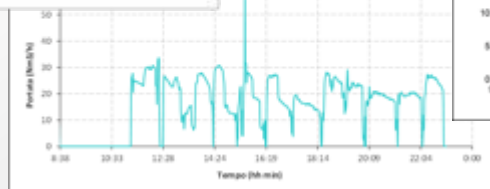
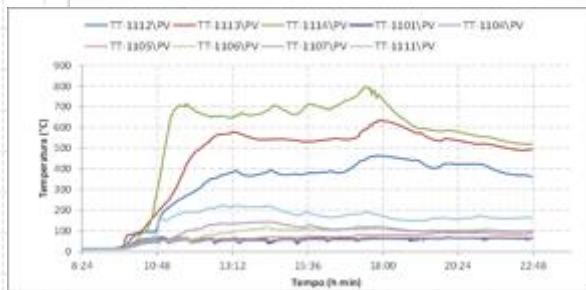
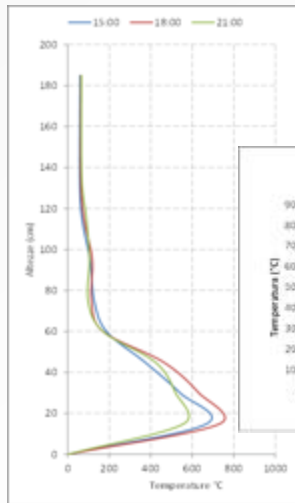


sistema rigenerazione ammine

Risultati sperimentazione



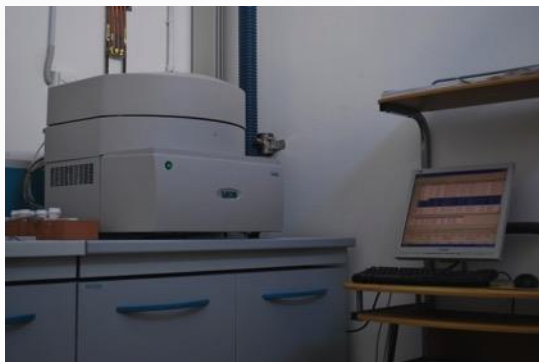
n.	data	miscela combustibile	tipologia test (G: gassificazione; CC: Carbon Capture)	ore di sperimentazione
1	08/05	72% carbone Sulcis + 28% cippato [wt%]	G + CC	14
2	14/05	44% carbone Sulcis + 56% pellet [wt%]	G	16
3	29/05	44% carbone Sulcis + 56% pellet [wt%]	G	16
4	05/06	44% carbone Sulcis + 56% pellet [wt%]	G	16
5	12/06	44% carbone Sulcis + 56% pellet [wt%]	G + CC	16
6	19/06	44% carbone Sulcis + 56% pellet [wt%]	G + CC	16
7	03/07	44% carbone Sulcis + 56% pellet [wt%]	G + CC	16
8	10/07	44% carbone Sulcis + 56% pellet [wt%]	G + CC	16



Risultati campagne sperimentali

Tipologie di carbone utilizzati

Circa **2200 ore**
di test sperimentali
(giugno 2008 – giugno 2015)



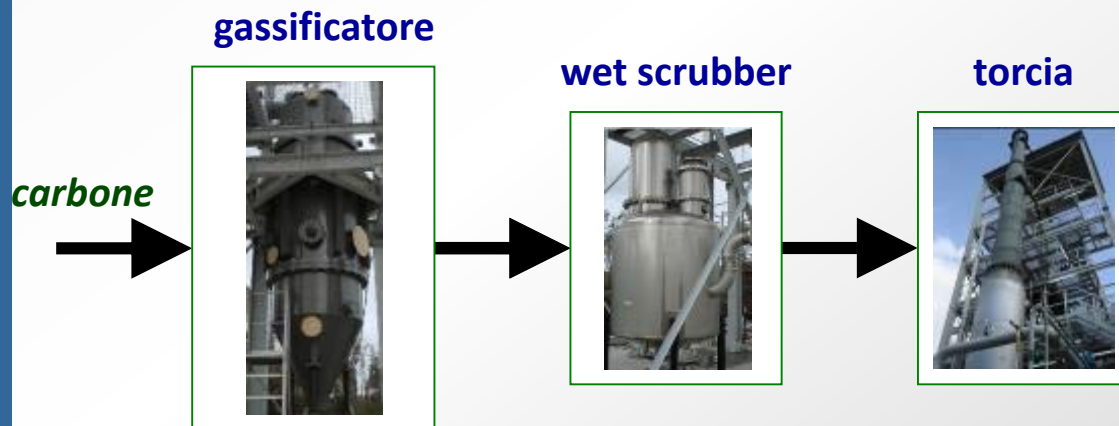
	S African (SAF)	Russian (RUS)	Sulcis (SUL)	Usibelli (UAK)	Hungarian (HUN)
<i>General information</i>					
<i>classification</i>	<i>bituminous</i>	<i>bituminous</i>	<i>sub-bituminous</i>	<i>Lignite</i>	<i>lignite</i>
<i>origin</i>	<i>South Africa</i>	<i>Russia</i>	<i>Italy</i>	<i>Alaska</i>	<i>Hungary</i>
<i>Density (kg/dm³)</i>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9
<i>Proximate analysis (% by weight)</i>					
fixed carbon	72.58	80.19	40.65	31.33	17.54
moisture	3.64	2.38	7.45	17.64	22.90
volatiles	8.81	4.81	40.45	41.00	24.85
ash	14.97	12.62	11.45	10.02	34.71
<i>Ultimate analysis (% by weight)</i>					
total carbon	75.56	81.65	66.49	48.56	25.43
hydrogen	3.86	4.64	6.18	5.96	3.63
nitrogen	1.40	0.79	1.41	0.50	0.48
sulphur	0.57	1.01	7.02	0.18	4.82
oxygen	n.a.	n.a.	n.a.	17.14	8.03
moisture	3.64	2.38	7.45	17.64	22.90
ash	14.97	12.62	11.4	10.02	34.71
<i>Thermal analysis (MJ/kg)</i>					
HHV	28.10	29.39	22.59	19.46	9.21
LHV	27.18	28.96	21.07	17.75	7.88

migliore
performance

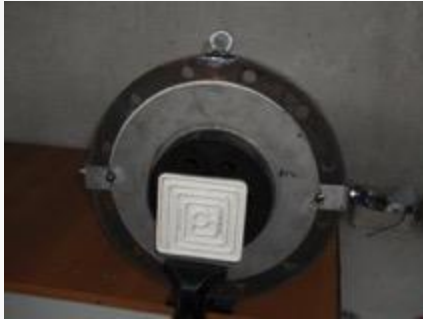


Impianto DIMOSTRATIVO

- Gassificatore a letto fisso up-draft
- Potenza termica: ~ 5 MW
- Temperatura syngas: ~ 350-400 °C
- Tipologia ceneri: **secche**



Impianto dimostrativo



Irradiatori ceramici del sistema di accensione



Particolare griglia di scarico ceneri



Sistema rotazione griglia



Sistema di raffreddamento:
Steam drum



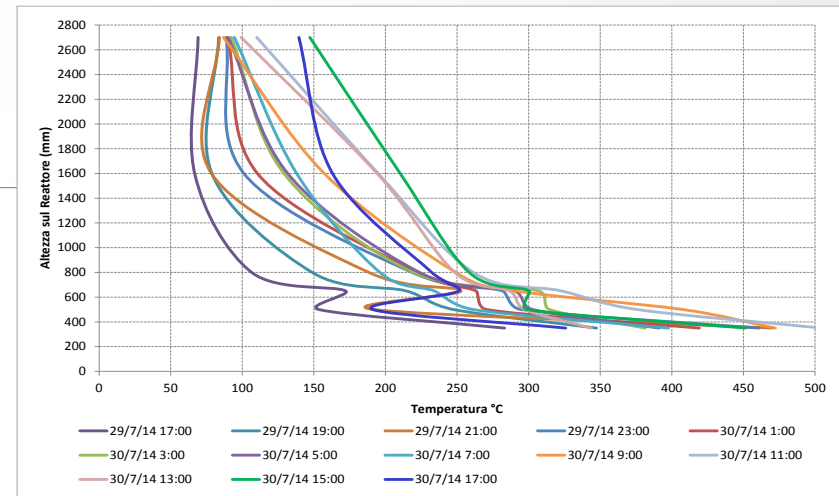
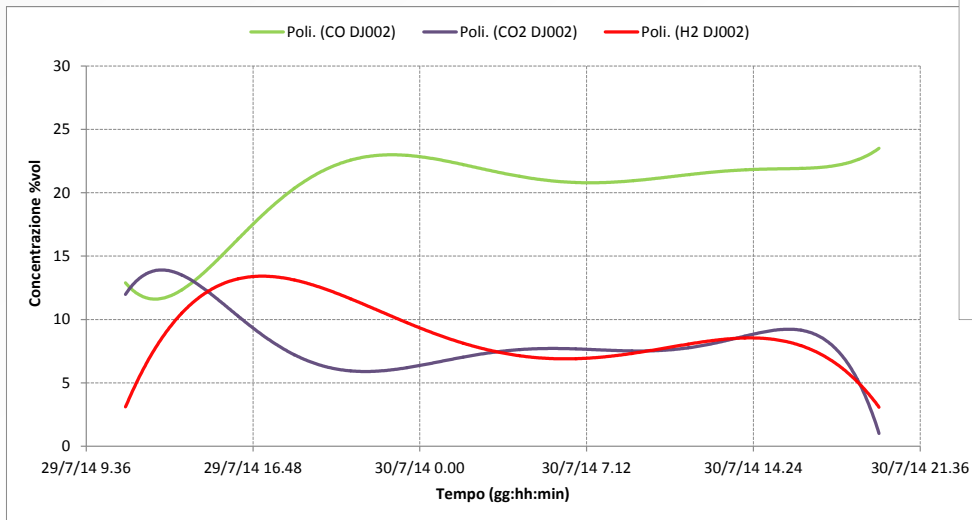
Soffiante aria processo



Sistema Caricamento combustibile

Nel precedente PAR sono state eseguite 2 prove sperimentali sull'impianto dimostrativo (in data 29-30.07.2014 e in data 16-17.09.2014) della durata di 36 ore ciascuna per una durata complessiva di 72 ore.

Prova del 29-30.07.2014 – Composizione syngas uscita scrubber



Prova del 29-30.07.2014 – Profilo temperature gassificatore

Sistema campionamento e analisi syngas



15 prese di campionamento impianto pilota



Gas Cromatografo

Composti chimici analizzati (CO_2 , H_2 , O_2 , CO , CH_4 , N_2 , H_2S , COS , C_2H_6 , C_3H_8)

Sistema campionamento e analisi syngas

Sistema di monitoraggio composizione syngas in tempo reale



- CO
 - CO₂
 - CH₄
- } Rilevazione infrarossi
- H₂ conduttività termica
 - O₂ paramagnetico
 - H₂S Rilevazione UV



Panoramica sulla attività Sotacarbo

Impianti sperimentali pilota e dimostrativo

⇒ Impianti su scala da laboratorio

- Laboratori
- Attività Sotacarbo su cattura e stoccaggio CO₂
- Sviluppi futuri

Impianti su scala da laboratorio

GAIA bench scale unit

Greenhouse gas Absorption In Amine-based solvents pilot plant

Impianto di separazione CO₂ con solventi amminici

MOSCA bench scale unit

Metal Oxides for Sulphur Compounds Adsorption

Reattore di adsorbimento dello zolfo



Impianti su scala da laboratorio

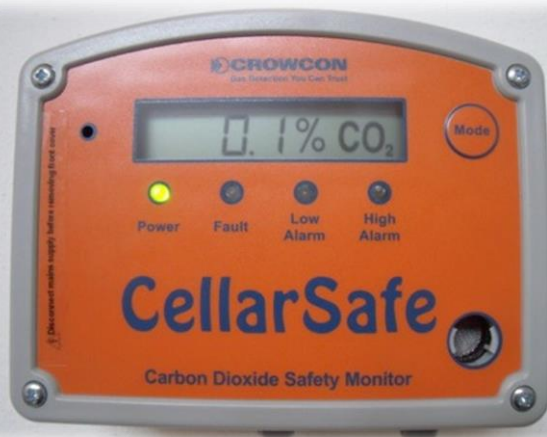


analisi gas

micro gas cromatografo

*acquisizione portate di
solvente*

*registratore videografico di segnali
a 5 canali*



rilevatore di CO₂ nell'ambiente

*sistema CellasSafe dotato di segnali sonori e
visivi in caso di raggiungimento delle
concentrazioni pericolose di CO₂*

- ☑ Panoramica sulla attività Sotacarbo
- ☑ Impianti sperimentali pilota e dimostrativo
- ☑ Impianti su scala da laboratorio

⇒ Laboratori

- Attività Sotacarbo su cattura e stoccaggio CO₂
- Sviluppi futuri

Preparazione campioni



Laboratorio analisi CHN-S



Laboratorio analisi termica



Laboratorio analisi calorimetrica

Personale impegnato nei progetti di ricerca



6 Ingegneri meccanici (3 con esperienza decennale)



6 Ingegneri chimici (4 con esperienza decennale)



3 Ingegneri ambientali con esperienza decennale



1 Ingegnere elettrico con esperienza decennale



2 Ingegneri energetici



4 Geologi (2 con esperienza decennale)



2 Chimici



1 Laureato in giurisprudenza e giornalista pubblicitaria



5 Operatori d'impianto con esperienza decennale

- ☑ Panoramica sulla attività Sotacarbo
 - ☑ Impianti sperimentali pilota e dimostrativo
 - ☑ Impianti su scala da laboratorio
 - ☑ Laboratori
- ⇒ Attività Sotacarbo su cattura e stoccaggio CO₂
- Sviluppi futuri

Cattura della CO₂ in post e pre-combustione, con produzione di combustibili gassosi

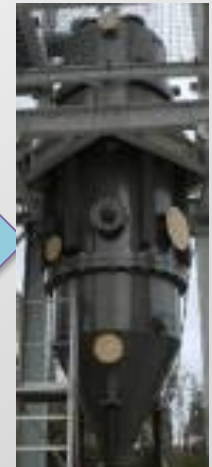
Produzione di combustibili gassosi dal carbone attraverso il processo di gassificazione e l'approfondimento di processi di separazione della CO₂ dal syngas con solventi liquidi.

Sperimentazioni volte a caratterizzare la produzione di syngas, il suo trattamento e il loop completo di assorbimento e desorbimento della CO₂ presente nel syngas con misure di densimetria e viscosimetria.



Impianto Pilota

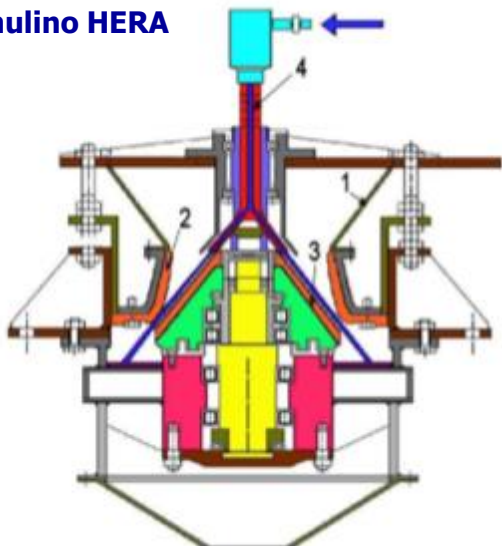
220 ore di test sperimentali



Impianto Dimostrativo

Preparazione ed alimentazione del coal slurry da alimentare al reattore di ossicombustione

mulino HERA



fase sperimentale



CARATTERISTICHE	VALORI
Contenuto di carbone [%]	68-70
Potere calorifico superiore [kcal/kg]	5000-5200
Potere calorifico inferiore [kcal/kg]	4600-4800
Viscosità apparente [mPas]	1000
Densità [-]	1,25
Contenuto in peso di ceneri [%]	6
Tenore di zolfo [%]	0,2
Massa <200 mesh [%]	80-85

Condizioni operative adottate nelle prove:

- a) Materiale tal quale
- b) Materiale imbibito

Coal slurry: caratteristiche tipiche

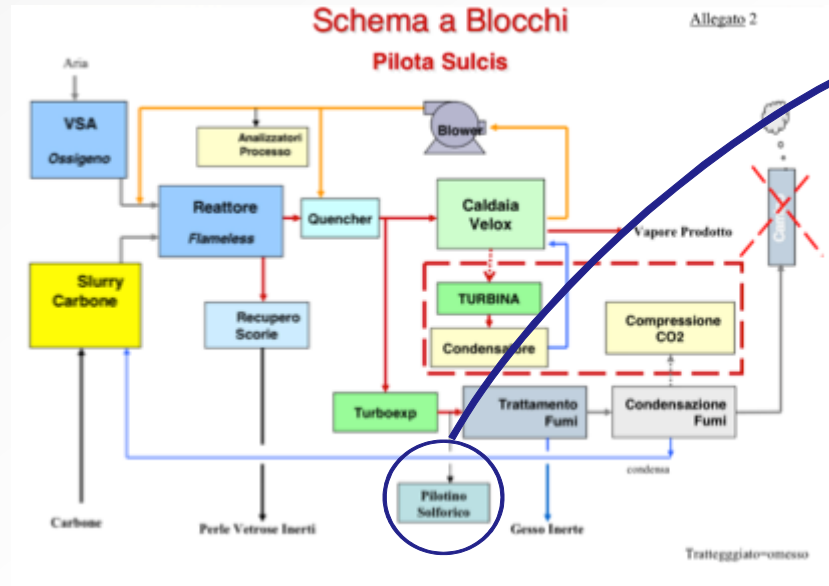
Velocità del getto d'acqua alle diverse condizioni operative

SIGLA	CONDIZIONI OPERATIVE				
	Diam. Ugello [mm]	Pressione [MPa] *	Portata H ₂ O [l/min]	Potenza idr. [kW]	Granul. alim.
PROVA 1 S	-	-	-	-	< 20 mm
PROVA 1 WJ	0,8	50	8,5 x 2	14	< 20 mm
PROVA 2 WJ	0,8	100	12,0 x 2	40	< 20 mm
PROVA 3 WJ	0,8	150	14,7 x 2	74	< 20 mm
PROVA 4 WJ	0,5	100	4,7 x 2	16	< 20 mm
PROVA 5 WJ	0,5	150	5,7 x 2	29	< 20 mm
PROVA 6 WJ	0,5	180	6,3 x 2	38	< 20 mm

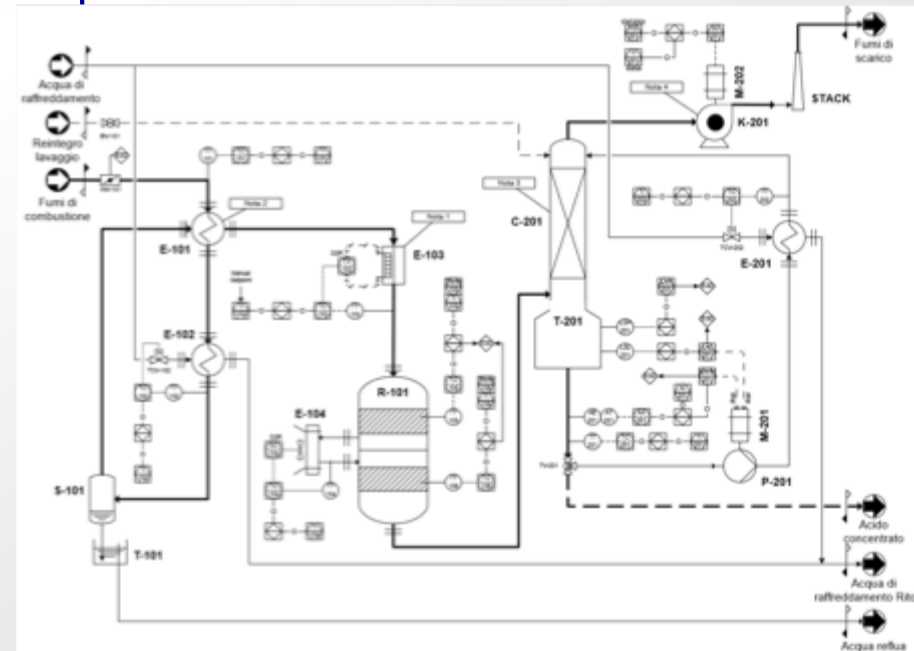
SIGLA	CONDIZIONI OPERATIVE				
	Diam. Ugello [mm]	Pressione [MPa]	Portata H ₂ O [l/min]	Potenza idr. [kW]	Granul. alim.
PROVA 2 S	-	-	-	-	< 10 mm
PROVA 7 WJ	0,5	100	4,7 x 2	16	< 20 mm
PROVA 8 WJ	0,5	100	4,7 x 2	16	< 10 mm

DIAMETRO UGELLO [mm]	PRESSIONE [MPa]			
	50	100	150	180
0,5		435	532	583
0,8	307	435	532	

Definizione e trattamento degli effluenti tipici del processo e realizzazione di una sezione di recupero di acido solforico da fumi di ossicombustione



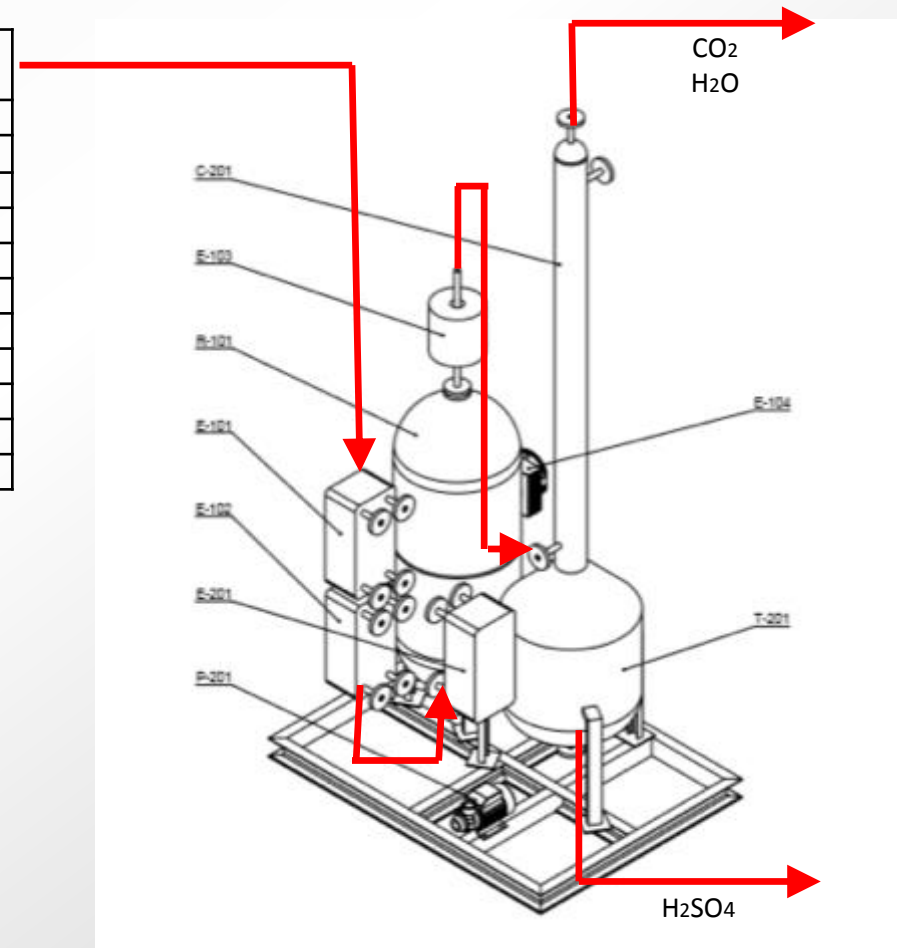
Schema sezione di recupero zolfo e produzione acido solforico



"Fumi di combustione"	
<i>Corrente gassosa in uscita dal processo di combustione del carbone</i>	
Portata totale (Max / Nor / Min)	4,5 / - / - kg/h
Temperatura (Max /Nor /Min)	450 / - / - ° C
Pressione (Max / Nor / Min)	0,2 / - / - barg
<i>Composizione [%_{vol}]</i>	
Particolato	assente
Metalli pesanti e alcalini	assenti
NO _x	assenti
CO ₂	56%
SO ₂	2%
H ₂ O	39%
O ₂	3%

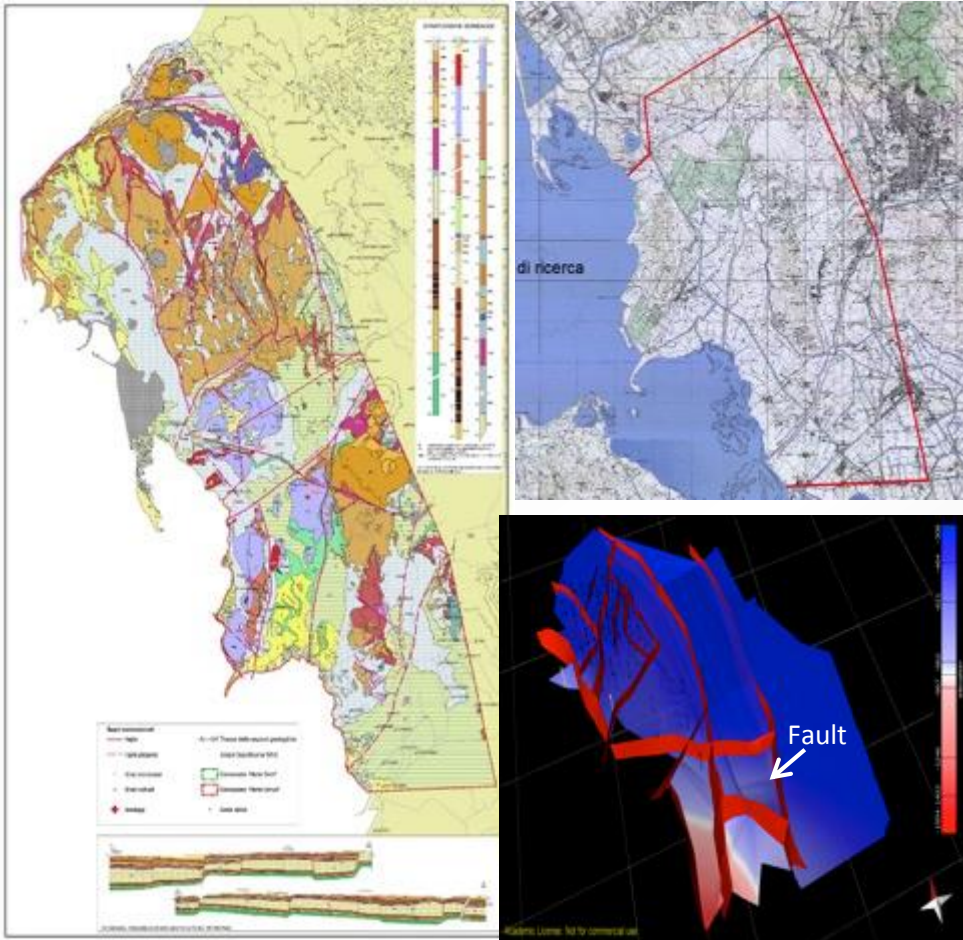
Principali componenti della sezione

- reattore catalitico (R-101)
- scambiatore di calore (recupero termico) (E-101)
- scambiatore di calore (E-102)
- riscaldatore elettrico (E-103)
- scambiatore di calore (E-104)
- colonna di assorbimento (C-201)
- sistema di controllo
- sistemi ausiliari



Attività realizzate nell'annualità 2013/2014

- Raccolta di tutte le informazioni pregresse
- Avvio delle attività mirate alla definizione della sismicità naturale
- Rilievo geostrutturale di superficie
- Indagine geochimica nell'area vasta per definire la baseline della CO₂ presente al suolo



Attività da svolgere nell'annualità 2014/2015

- Completamento degli studi per la definizione della sismicità naturale
- Rilievo geostrutturale in galleria in sotterraneo
- Indagine geochimica di dettaglio in prossimità di una faglia per futuri test di iniezione

Approfondimenti sulla raccolta delle informazioni, definizione preliminare delle specifiche tecniche per la realizzazione delle perforazioni e procedure autorizzative per attività di ricerca e prospezione

Studio preliminare ambientale quale parte integrante della procedura di verifica di assoggettabilità a Valutazione di Impatto Ambientale (VIA).



Rilievo geostrutturale in galleria

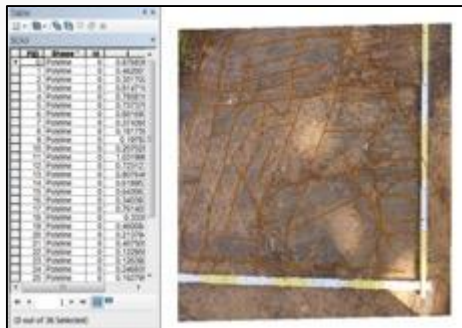
Area del Sulcis: modellazione geologica e analisi delle faglie/fratture



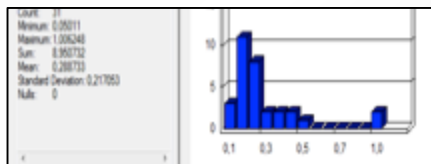
Faglia nel Cixerri



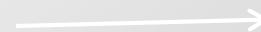
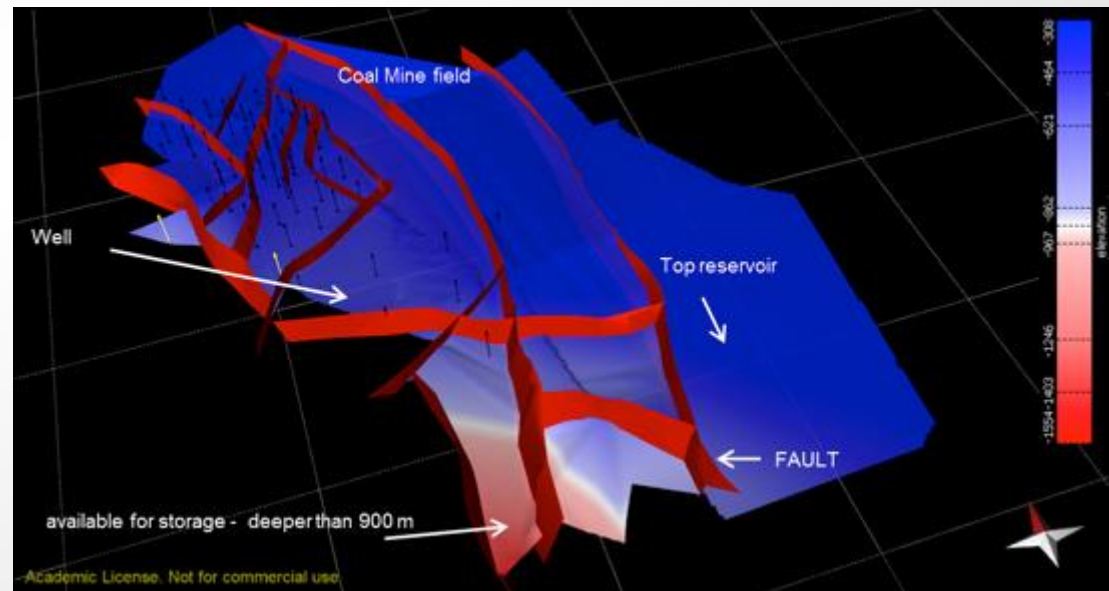
Analisi strutturale nella miniera del Sulcis



Scanarea



Frequency analysis of fractures

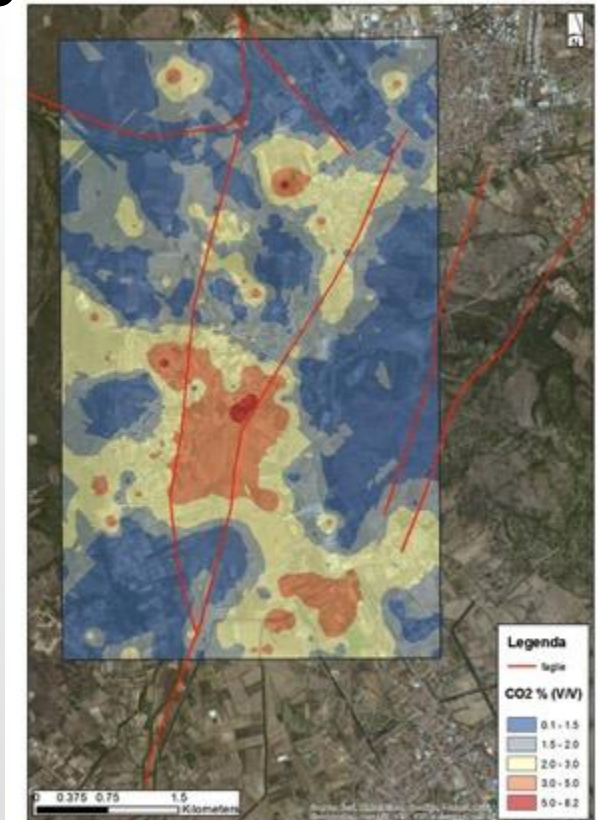
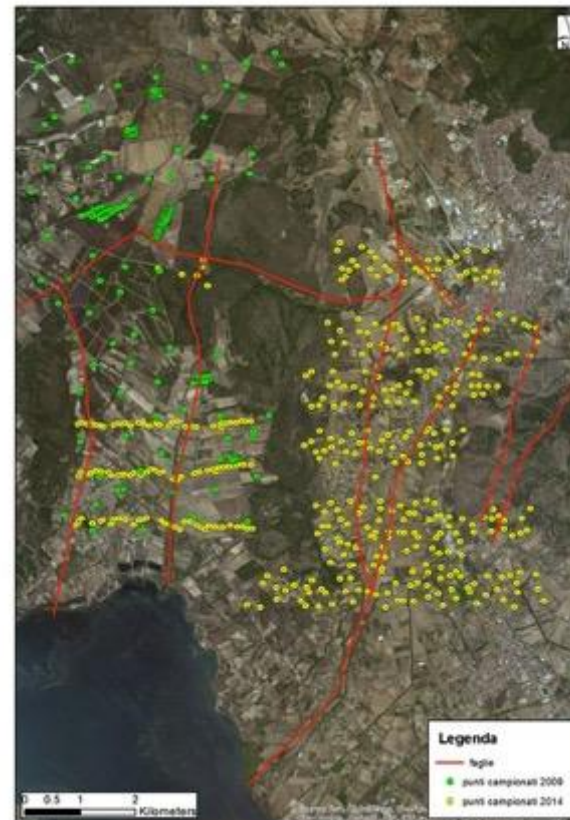


Monitoraggio geochimico dell'area del bacino del Sulcis

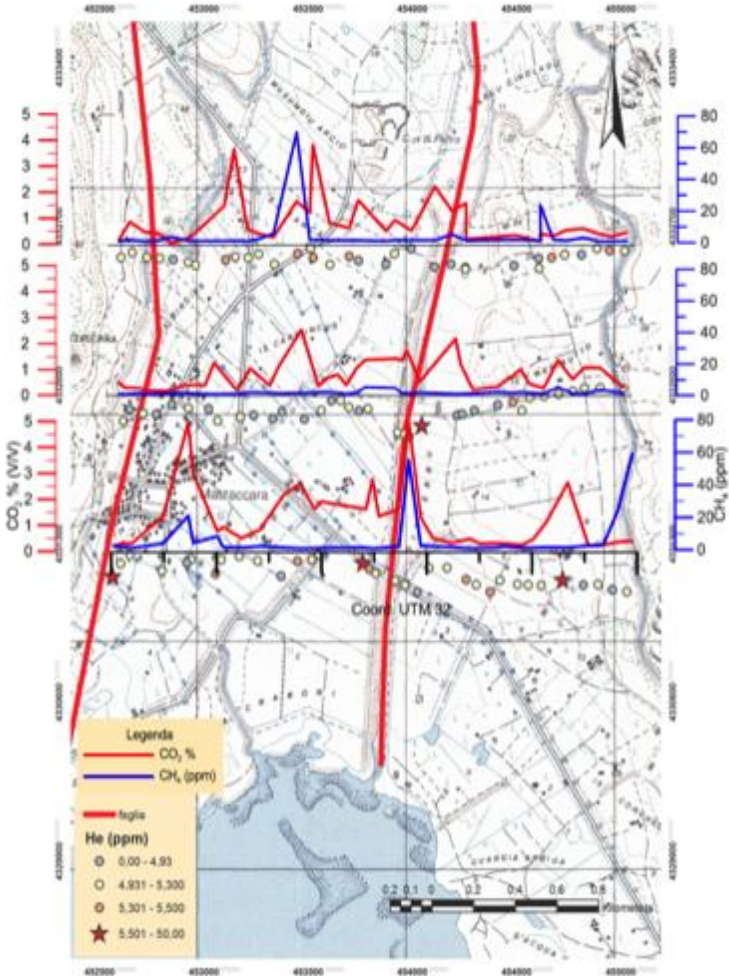
- Campionamento e misura in campo;
- Analisi ed elaborazione statica;
- Definizione della BASELINE.



Prelievi dei gas al suolo



Monitoraggio geochimico dell'area del bacino del Sulcis



Profilo della presenza dei gas al suolo lungo le faglie

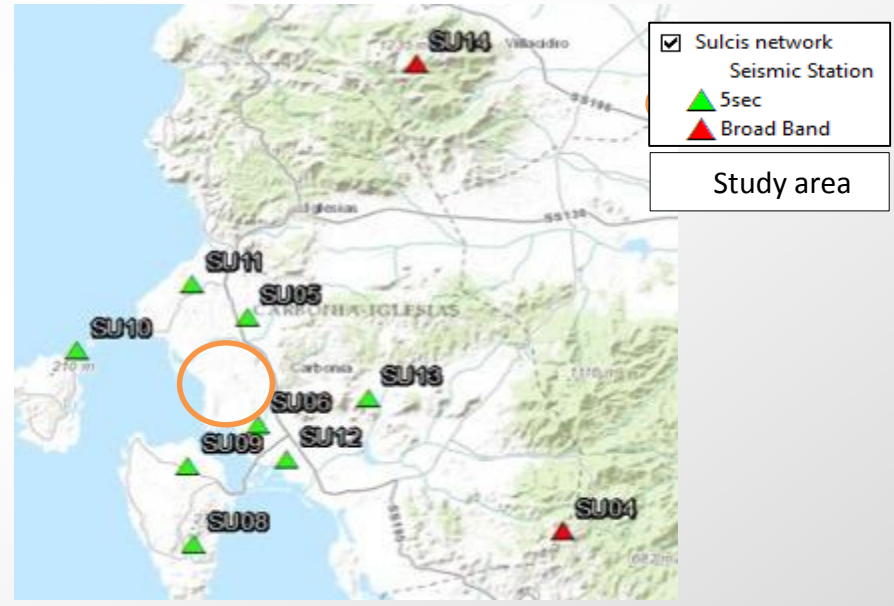
Faglia di Matzaccara:

- Coinvolge un deposito quaternario
- Ha una geometria semplice
- Mostra permeabilità

Indagine sul sistema di faglie nell'area di Matzaccara

Studio della sismicità e definizione della baseline dell'area del bacino del Sulcis

Sistema di rilevazione



10 Stazioni sismiche

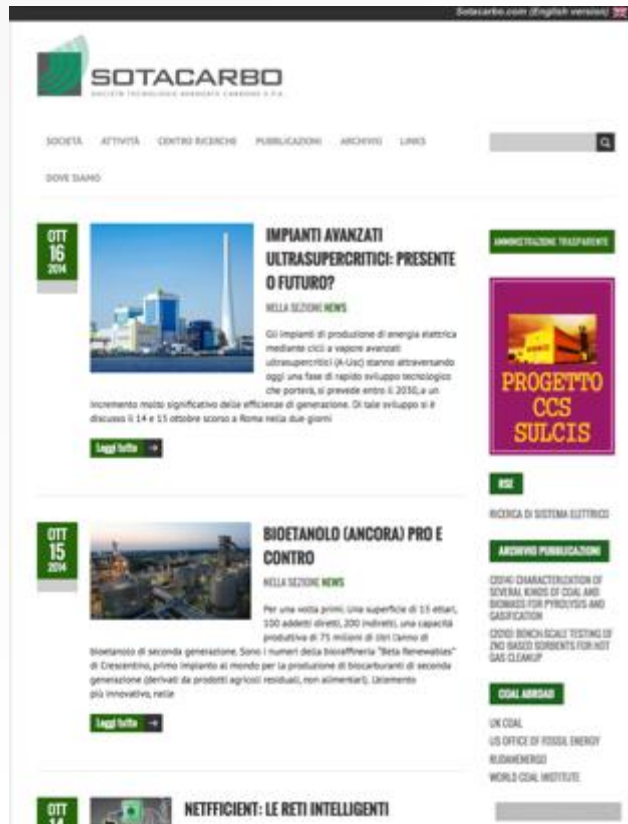


Primi Risultati Storage

- **Definizione della Baseline** del contenuto di CO₂ presente nel suolo
- **Studio della permeabilità delle faglie**
(Lo studio delle faglie mostra una bassa permeabilità ma sono necessari ulteriori dati per realizzare un modello più complesso dello strato superficiale)
- **Analisi di laboratorio:** Bassa porosità delle formazioni carbonatiche (che mostra una buona permeabilità per fratturazione e carsismo)
- **Bassa sismicità** dell'area sulla base dai dati storici (INGV)
- **Differenze tra le stratigrafie** delle aree nord e sud del bacino carbonifero
(Sarà necessario, per confermare tale differenza, realizzare un nuovo pozzo di esplorazione)
- **Caprock e reservoir:** Mostrano alta eterogeneità



piano di comunicazione



Website screenshot showing SOTACARBO logo and navigation menu. The main content area features three articles:

- OTT 16 2014** **IMPIANTI AVANZATI ULTRASUPERCRITICI: PRESENTE O FUTURO?**
NELLA SEZIONE NEWS
Gli impianti di produzione di energia elettrica mediante cicli a vapore avanzati ultrasupercritici (A-USC) stanno attraversando oggi una fase di rapido sviluppo tecnologico che porterà, si prevede entro il 2030, a un incremento molto significativo della efficienza di generazione. Di tale sviluppo si è discusso il 14 e 15 ottobre scorso a Roma nella due giorni.
- OTT 15 2014** **BIOETANOLO (ANCORA) PRO E CONTRO**
NELLA SEZIONE NEWS
Bioetanolo di seconda generazione. Sono i numeri della bio Raffineria "Beta Renewables" di Crescentino, primo impianto al mondo per la produzione di biocarburanti di seconda generazione (derivati da prodotti agricoli residui, non alimentari). Utilizzano più innovativa, nelle
- OTT 14** **NETFICIENT: LE RETI INTELLIGENTI**

On the right side of the website, there is a sidebar with sections: **INNOVAZIONE TRATTAMENTI**, **PROGETTO CCS SULCIS**, **RSE**, **RICERCA DI SISTEMA LITURGICI**, **ARCHIVIO PUBBLICAZIONI**, **OGGI AIRSAD**, and **UK COAL US OFFICE OF FISSILE ENERGY RUDENEMERGI WORLD COAL INSTITUTE**.



International Sulcis
CCS Summer School
3rd edition

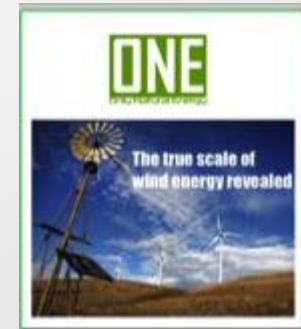
Monday, July 13th, 2015
Tuesday, July 14th, 2015
Wednesday, July 15th, 2015
Thursday, July 16th, 2015
Friday, July 17th, 2015

The interest in the Sulcis CCS Summer School has easily be explained by the growing attention worldwide for the technologies of separation and treatment of carbon dioxide (so-called CCS - "Carbon Capture and Storage"). The lecture programme will cover the range of technologies developed for the capture, transport and geological storage of CO₂, for which the Sulcis basin is the ideal laboratory for experimentation. It is one of the few sites in the world potentially able to accommodate large amounts of carbon dioxide with almost no environmental risks, thanks to the presence of deep layers of rock suitable for the permanent storage of large quantities of CO₂ due to its peculiar geological features) and also of an aquifer underseals the coal basin.

Centro Ricerche Sotacarbo
Grande Miniera di Serbariu
Carbonia, Italy

13-17 July 2015

ENEA
SOTACARBO
CLEAN COAL



3^a Edizione Sulcis CCS Summer School

www.sulciscssummerschool.it



International Sulcis
CCS Summer School
3rd edition

The interest in the Sulcis CCS Summer School can easily be explained by the growing attention worldwide for the technologies of separation and containment of carbon dioxide (so-called CO₂ - "Carbon Capture and Storage"). The lecture programme will cover the range of techniques developed for the capture, transport and geological storage of CO₂, for which the Sulcis basin is the ideal laboratory for experimentation. It is one of the few sites in the world potentially able to accommodate large amounts of carbon dioxide with almost no environmental risks, thanks to the presence of deep layers of coal (suitable for the permanent storage of large quantities of CO₂ due to its peculiar geological features) and also of an aquifer underneath the coal basin.

Monday, July 13th, 2015
Introduction to CCS

Tuesday, July 14th, 2015
CO₂ capture and transport technologies

Wednesday, July 15th, 2015
CO₂ utilization and transport technologies

Thursday, July 16th, 2015
CO₂ storage

Friday, July 17th, 2015
Sulcis and CCS: the future potential

Centro Ricerche Sotacarbo Grande Miniera di Serbariu Carbonia, Italy

13-17 July 2015



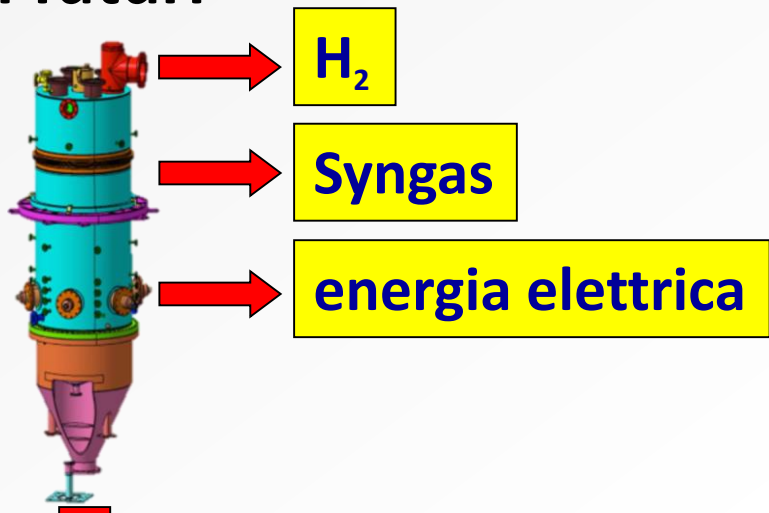
- ☑ Panoramica sulla attività Sotacarbo
- ☑ Impianti sperimentali pilota e dimostrativo
- ☑ Impianti su scala da laboratorio
- ☑ Laboratori
- ☑ Attività Sotacarbo su cattura e stoccaggio CO₂

⇒ Sviluppi futuri

Sviluppi futuri



Combustibili



CO₂

**Implementazione e
Integrazione
Piattaforma Pilota**

Cattura CO₂ in pre-combustione

Cattura CO₂ in post-combustione

Cattura CO₂ in ossicombustione

Cattura CO₂

Solventi di II e III generazione

Ottimizzazione processo

Scale UP impianto

Recupero calore residuo fumi

Stoccaggio CO₂



Definizione Baseline dell'area (geochimica e sismica)



Modello geologico



Pozzi di esplorazione



Test di iniezione



Laboratori di superficie e in sottosuolo



Divulgazione scientifica e public acceptance

ENOS - ENabling Onshore CO₂ Storage in Europe

- Sviluppare e testare in condizioni reali tecnologie chiave per lo stoccaggio “onshore” della CO₂
- Contribuire alla creazione di condizioni ottimali per lo stoccaggio della CO₂ in Europa.

Test di iniezione di CO₂ attraverso le faglie per creare un laboratorio di superficie che permetta di studiarne il comportamento.

Laboratorio sotterraneo

(in gallerie non più utilizzate della miniera di carbone)



GRAZIE PER L'ATTENZIONE



Allegato 8
RdS/PAR2014/271

The Development of CCS Technologies: the ENEA Experience

Claudia Bassano - ENEA



AGENZIA NAZIONALE
PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA
E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

3rd Sulcis Summer School on CCS Technologies 3° Scuola Estiva sulle Tecnologie di Cattura e Stoccaggio della CO₂

The Development of CCS Technologies: the Enea Experience

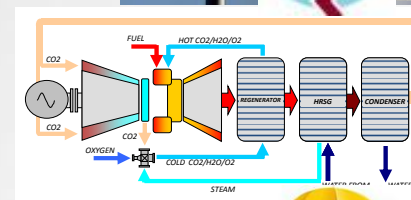
PhD. Ch. E. Claudia Bassano

ENEA

Italian National Agency for New Technologies,
Energy and Sustainable Economic Development

Energy Dept

Sotacarbo Research Center
Grande Miniera di Serbariu
Carbonia, 14 July 2015



- ENEA presentation
- ENEA activities and the Sulcis Technological Pole
- Carbon Capture Utilization & Storage Technologies
- Solid sorbents for CO₂ capture
- SNG production and P2G technology
- Supercritical CO₂ Gas Turbine Cycles

What is ENEA?



ENEA is the Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (Law n. 99 of July 23rd, 2009)



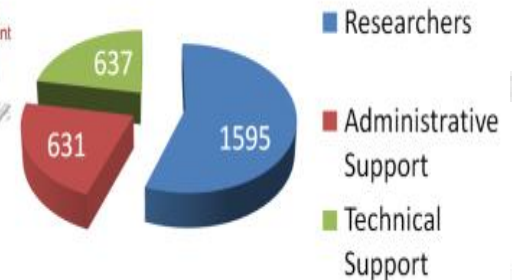
ENEA activities are targeted to research, innovation technology and advanced services in the fields of energy.

ENEA performs research activities and provides agency services in support to public administrations, public and private enterprises, and citizens.



Human Resources:
(30 June 2010)

2863 permanent staff
71 temporary staff
Master and PhD students
International Fellows

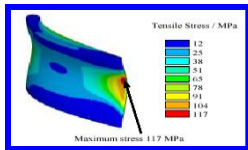


Headquarters located in Rome
9 Research Centres
5 Research Laboratories
12 Local Offices
Brussels Liason Office

Main tasks are:



Promote and conduct activities of basic and applied research, develop technological innovation also with prototypes realization and industrialization of new products;



Disseminate and transfer the results obtained, encouraging their use in productive and social sectors;



Supply high technical content services to public and private entities with studies, researches, measurements and valuations.



ENERGY

- ▶ Nuclear Fusion
- ▶ Nuclear Fission
- ▶ Renewable Energy Sources
- ▶ Energy Efficiency
- ▶ Advanced Technologies for Energy and Industry

NEW TECHNOLOGIES

- ▶ Radiation Applications
- ▶ Material Technologies
- ▶ Energy and Environment Modeling
- ▶ ICT

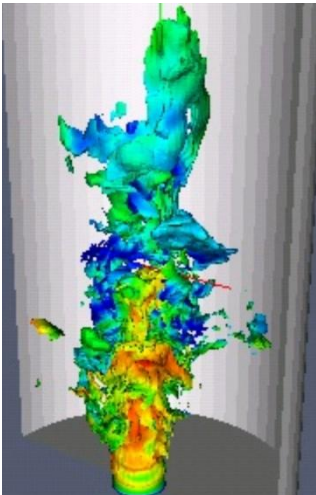
SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

- ▶ Environmental Characterization, Prevention and Recovery
- ▶ Environmental Technologies
- ▶ Seismic Protection
- ▶ Radiation Biology and Human Health
- ▶ Sustainable Development and Innovation of the Agro-Industrial System





- Advanced Power Plants
- CO₂ Capture and Storage
 - Pre and post combustion, oxy combustion
 - CO₂ geological storage (aquifers and ECBM), mineralization
 - Process analysis and integration
 - Cost analysis
- Advanced technologies for energy and industry research
 - Experimental tests on test rigs, pilot and demo plants
 - high performance computing and process simulation
- Advanced combustion in gas turbines and boilers



Operates in the following fields of energy area:

- Combustion;
- Gasification and pyrolysis;
- CO₂ capture with solid sorbents;
- CO₂ utilization for fuels production;
- Advanced CO₂ gas turbine cycles (“capture ready”);

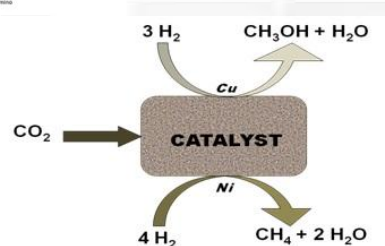
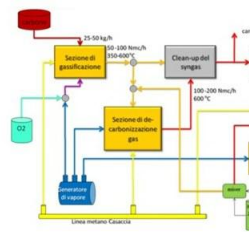
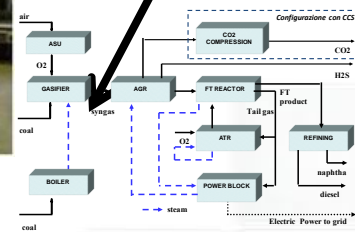


Different Scale Approaches

Plants

Laboratories

Studies



On August 2014 the **Italian Ministry of Economic Development** and the **Autonomous Region of Sardinia** sign an agreement for the implementation of a Memorandum of Understanding for giving the green light to the establishment of the “Polo Tecnologico del Sulcis”, the “**Sulcis Technological Pole**”.

The actuators are **ENEA and Sotacarbo** and activities are carried out at the Research Center Sotacarbo and more generally in the Sulcis Basin Area.

Activities include **research on clean coal in a 10 year program** including:

- Project of a plant from **oxyfuel** 50MWt .
- Development of new systems for separation and capture of CO₂ **precombustion** and **postcombustion** cheaper and less energy demanding than the current and new techniques for regeneration of solvents .
- Experimenting with different techniques of confinement in deep underground layers of the Sulcis coalfield , with compression techniques , cryogenic **storage , transportation and confinement of captured CO₂**.



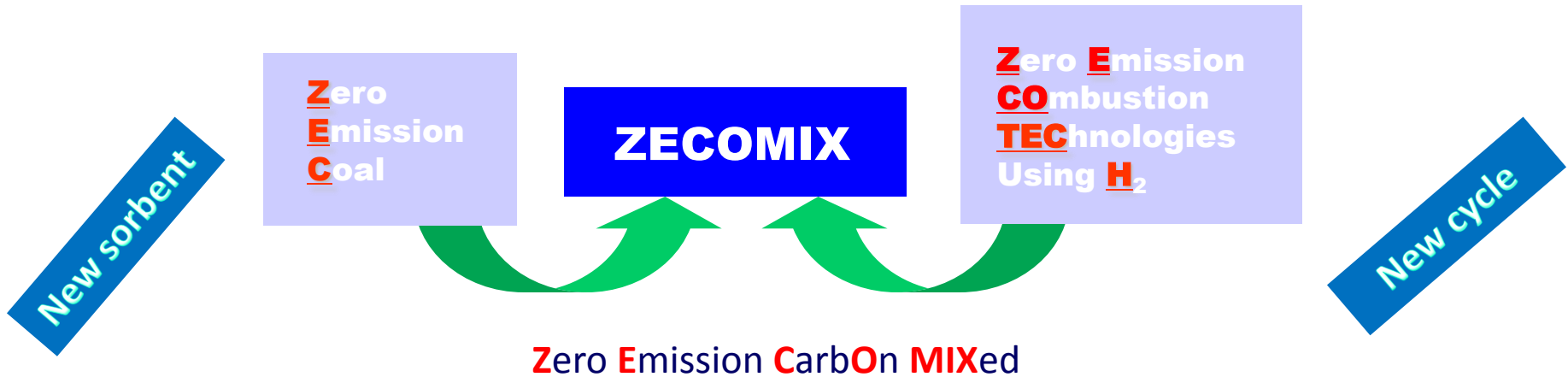
A dedicated task force to the shared management of activities on gasification and CO₂ capture has been set up with the participation of **ENEA and Sotacarbo staff**.

The topics covered in the frame of the project related to “**Capture and Storage of CO₂ Produced by Fossil Fuels**”, funded by the Italian MISE in the framework of the RdS are :

- Innovative technologies for capturing CO₂ in pre - combustion , with production of gaseous fuels through gasification
- Technologies for the optimization of oxy- combustion
- Monitoring and storage of CO₂
- Studies and experiments on the production of SNG from CO and CO₂
- Communication and dissemination of results (e.g. this CCS Summer School!)



Moreover **ENEA as National Agency on New Technologies and Energy** plays its role to promote and conduct activities of basic and applied research and to develop technological innovation... I'll give you just a small taste on three different CCS topics...

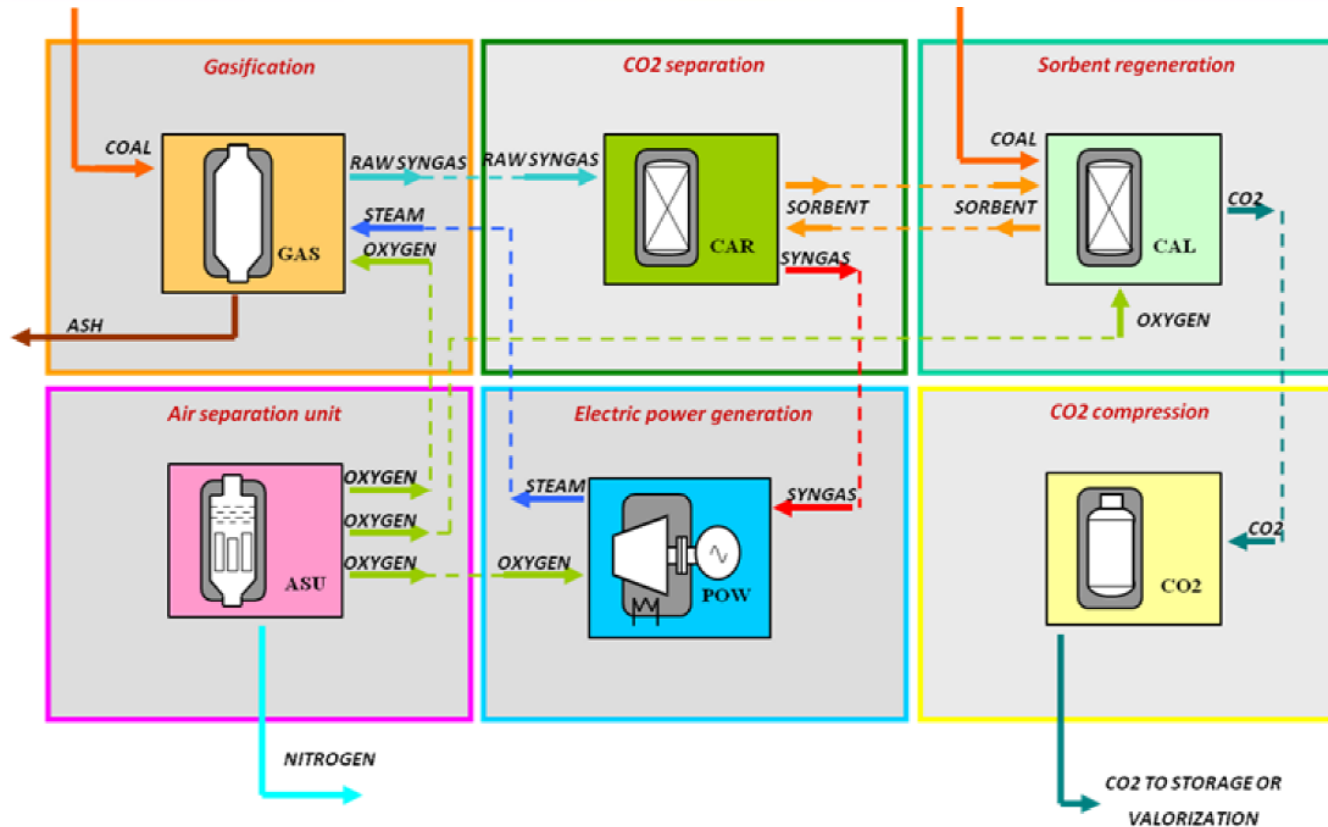


Aim of the project is to demonstrate, via a series of modelling and experimental activities, the feasibility of an **innovative new process** for the production of electricity and hydrogen "zero emission" by coal

ZECOMIX platform includes several processes: coal gasification, clean-up of syngas, CO₂ capture by means of **solid sorbent (Calcium Looping)** and combustion of hydrogen in gas turbines

Zecomix Cycle → higher overall efficiency $\eta \cong 50\%$





Main section: Gasification

CO₂ separation (calcium oxide based solid sorbents)

Solid sorbent regeneration section (calcination)

Power section micro turbine 100 kWe of electric power + ASU

Carbon dioxide drying and compression area

ZECOMIX Platform at Casaccia Research Center



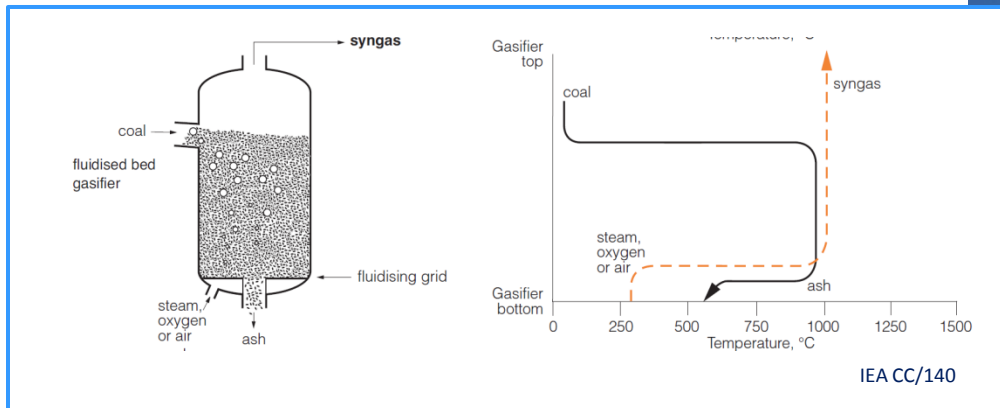
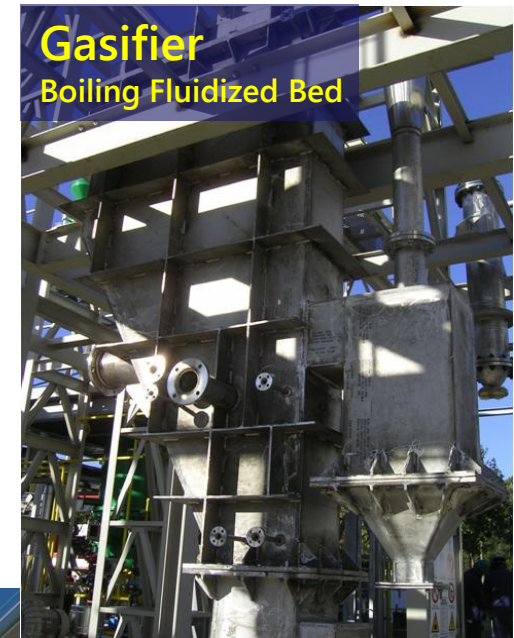
ZECOMIX Platform: the Gasification Section

Gasifier type : 300 kWth **bubbling fluidized bed reactor**

Coal feed: 50 kg/h

Olivine and **dolomite** is added to the coal enhancing the fluidization, controlling temperature , capturing the tar formed in the coal gasification and occurring a preliminary **desulphurization** by means of naturally dolomite

The olivine acts as a catalyst for the **TAR reforming**

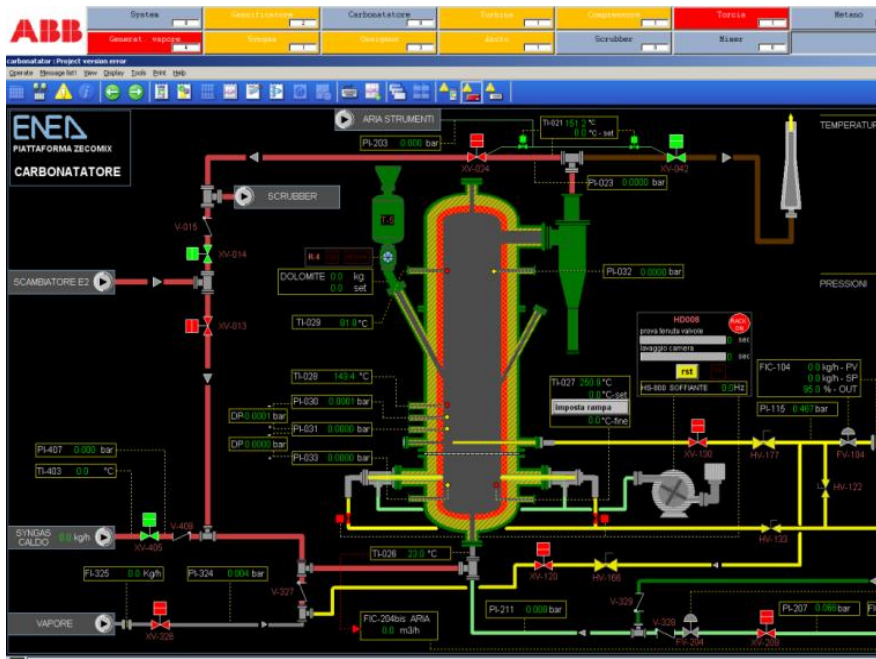


ZECOMIX Platform: the Carbonation Section

Carbonator Reactor

Fluidized bed reactor load with Ni-based catalyst (methane steam reform and water gas shift) and Ca-based sorbent (dolomite), the aim of the component is to separate the CO₂ from coal syngas for hydrogen production

Homogeneously gas-solid contact in the fluidized-bubbling carbonator



Calcium Looping

In this technology, CaO is converted into CaCO₃ during the CO₂ uptake, the spent solid sorbent is subsequently regenerated by releasing CO₂ in a calcination step at temperature ranges of 850 to 900 ° C.



carbonatation step

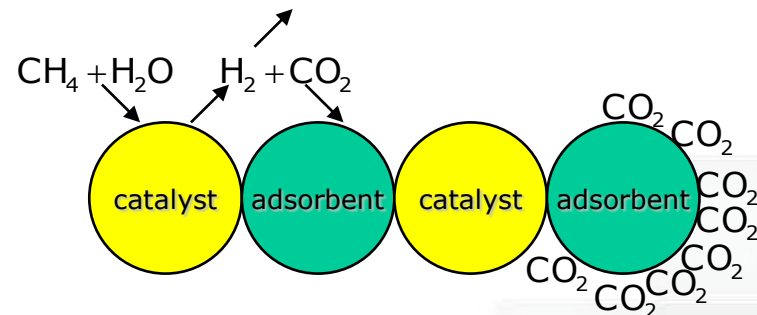
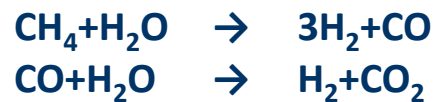


calcination step

chemisorption non-catalytic gas–solid reaction

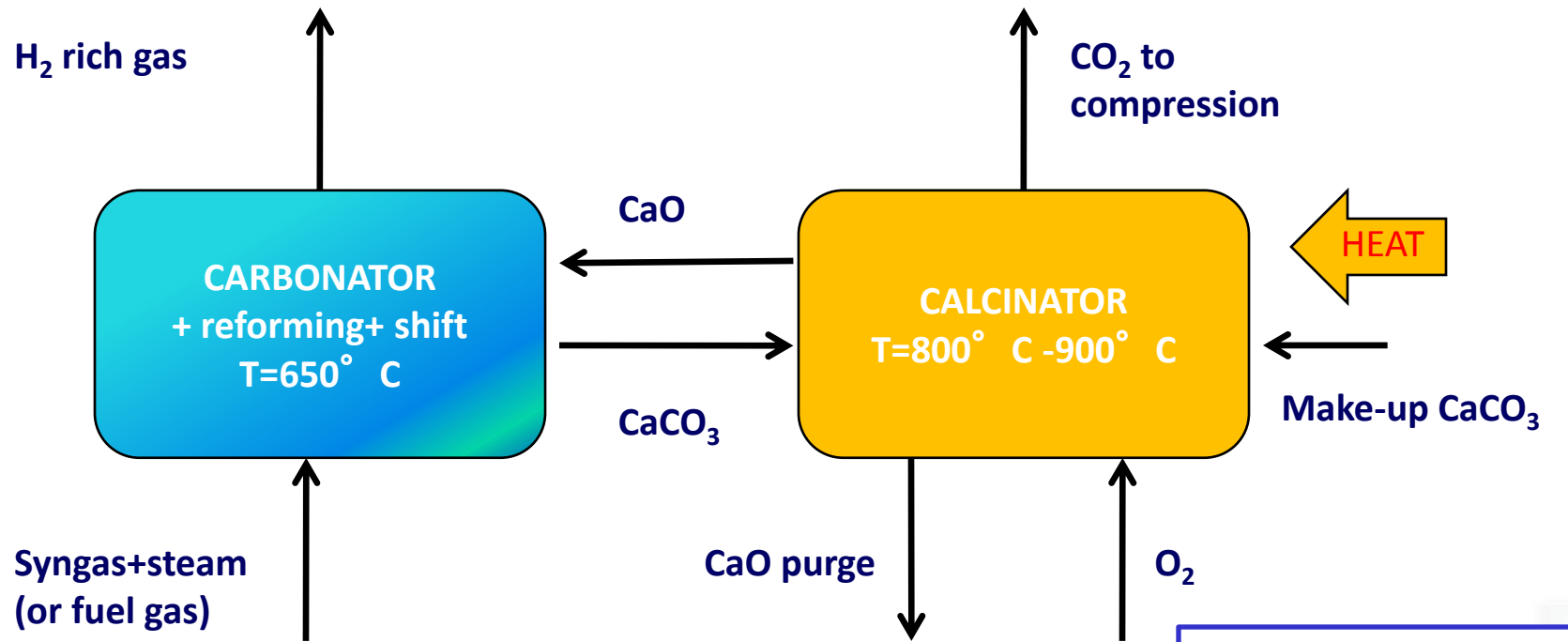
Enhanced steam methane reforming: in CO₂ capture unit, a simultaneous process of CO₂ capture from coal syngas, and **reforming of methane** happens.

Steam reforming
Water gas shift



CO₂ Capture at High Temperature

Calcium Looping



thermal regeneration process of the sorbent takes place.

ZECOMIX Platform: Power Section



Power Section

Oxycombustion: high-hydrogen content syngas is burnt with pure oxygen stream

100 kWe micro-turbine test bench, in which significant modifications to the combustion chamber have been made to make it able to burn H_2 with steam as temperature moderator.

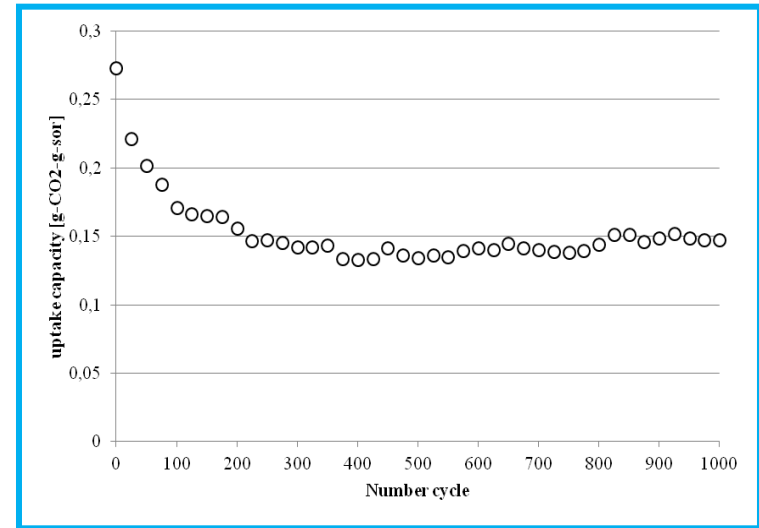


Lab Activity

Development of an advanced CaO based solid sorbent (CaO/Ca₁₂Al₁₄O₃₃)

Avoid sintering and occlusion of grains

Characterized by high capture and regeneration efficiencies – up to 1000 cycles capture/regeneration



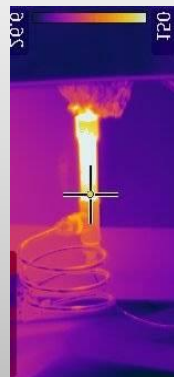
CaO based solid sorbents advantages

- Low cost
- Wide availability of the starting material (naturally occurring sorbent such as limestone or dolomite)
- High reactivity when it reacts with CO₂.
- Environmentally benign compared to other state-of-the-art solutions (e.g. amine-based liquid solvents).

SNG R&D Activities at ENEA



1. Experimental tests of **commercial catalysts** on laboratory scale
2. **Pilot-scale testing** of systems and components
3. **System modeling** and **economic assessment**
4. Coordination and projects, collaborations with Universities (**POLIMI, UNIBO, UNICA, ...**)
5. **Technology transfer**, patents, involvement in round table discussions



New interest arises in the coal and biomass conversion technologies to produce synthetic natural gas (SNG) ensuring **energy sources differentiation**

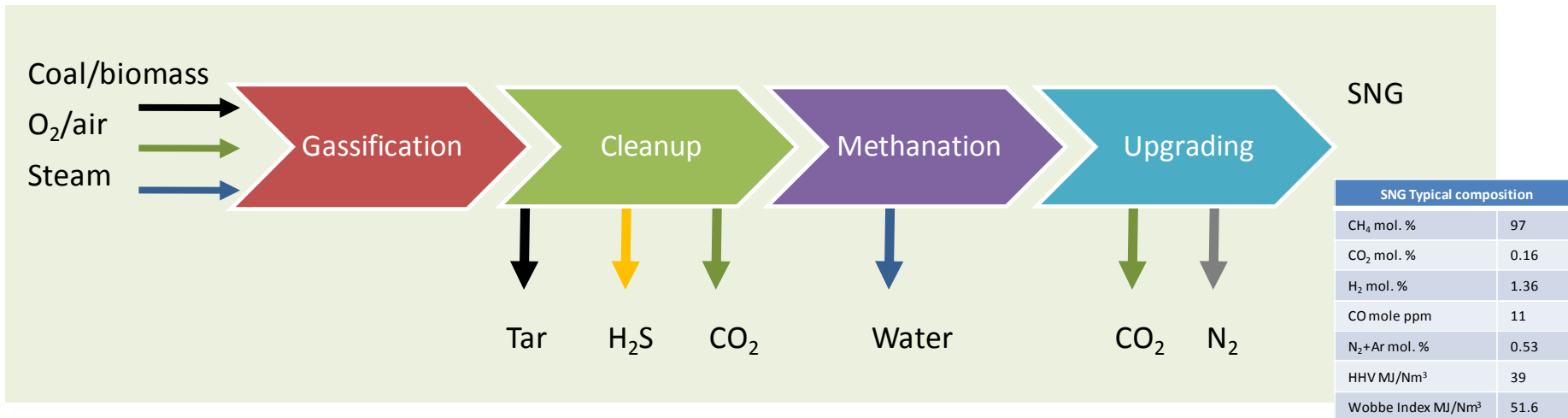
SNG has **good market** opportunities in the world of refining (used as fuel gas) and in the automotive sector.

SNG produced from coal can be used either locally (in the case of area not supplied by natural gas) or injected into the methane pipeline, partly alleviating the energy dependency on foreign gas and enhancing energy security.

Implementation in the **Power To Gas** P2G as energy storage technology

Goal of the activity is to enhance the **economic competitiveness** of gas from coal compared to competitors (Natural Gas and LPG)

SNG Integration with CCS Technologies



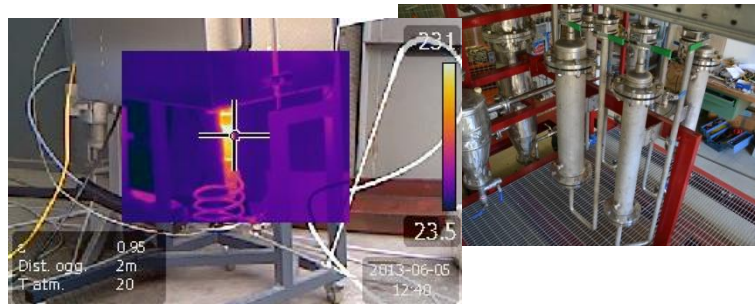
The SNG technology is CCS integrated natural born...

Removing part of the produced CO₂ is mandatory to meet the pipeline requirements for natural gas



R&D key topics

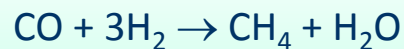
- Development of different process schemes
- Development of different reactors design
- Development of new catalysts
- Test of full chain process at pilot scale



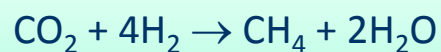
Increase of the temperature in the reactor

Optimal use of reaction heat

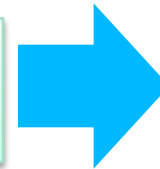
CO feed → Potential formation of carbonyls



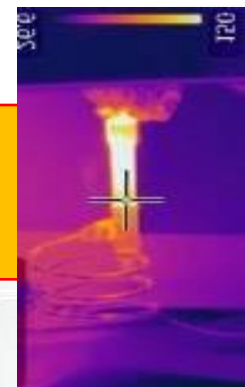
$$\Delta H^\circ_{298} = - 206 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta H^\circ_{298} = - 165 \text{ kJ/mol}$$



Highly Exothermic Reaction

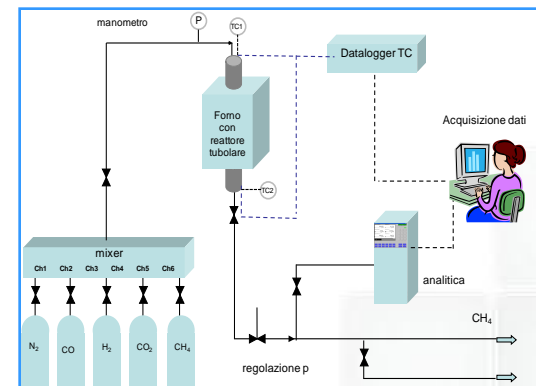
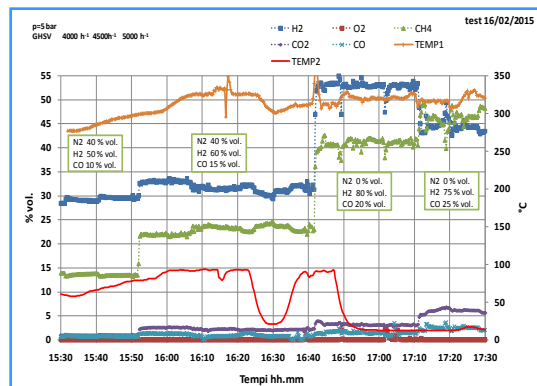
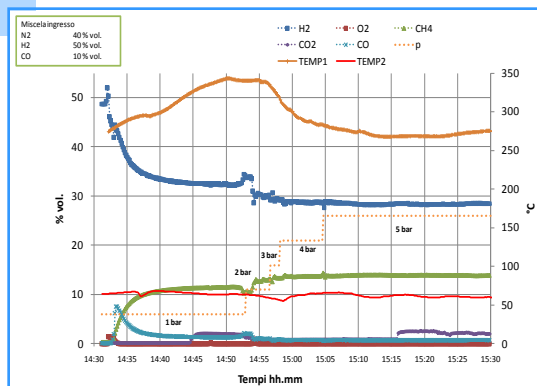
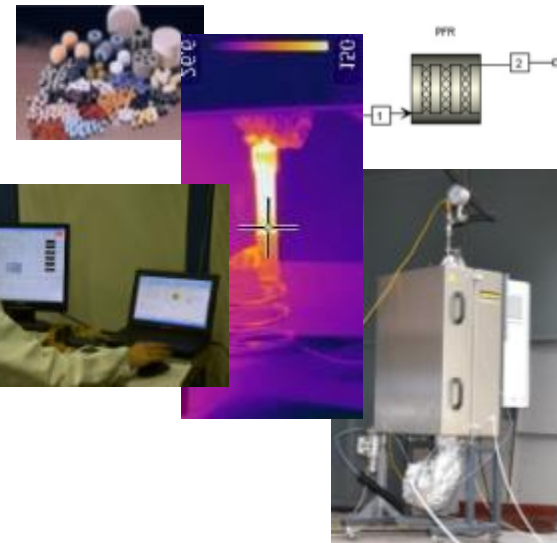


SNG: Experimental Tests on Laboratory Scale

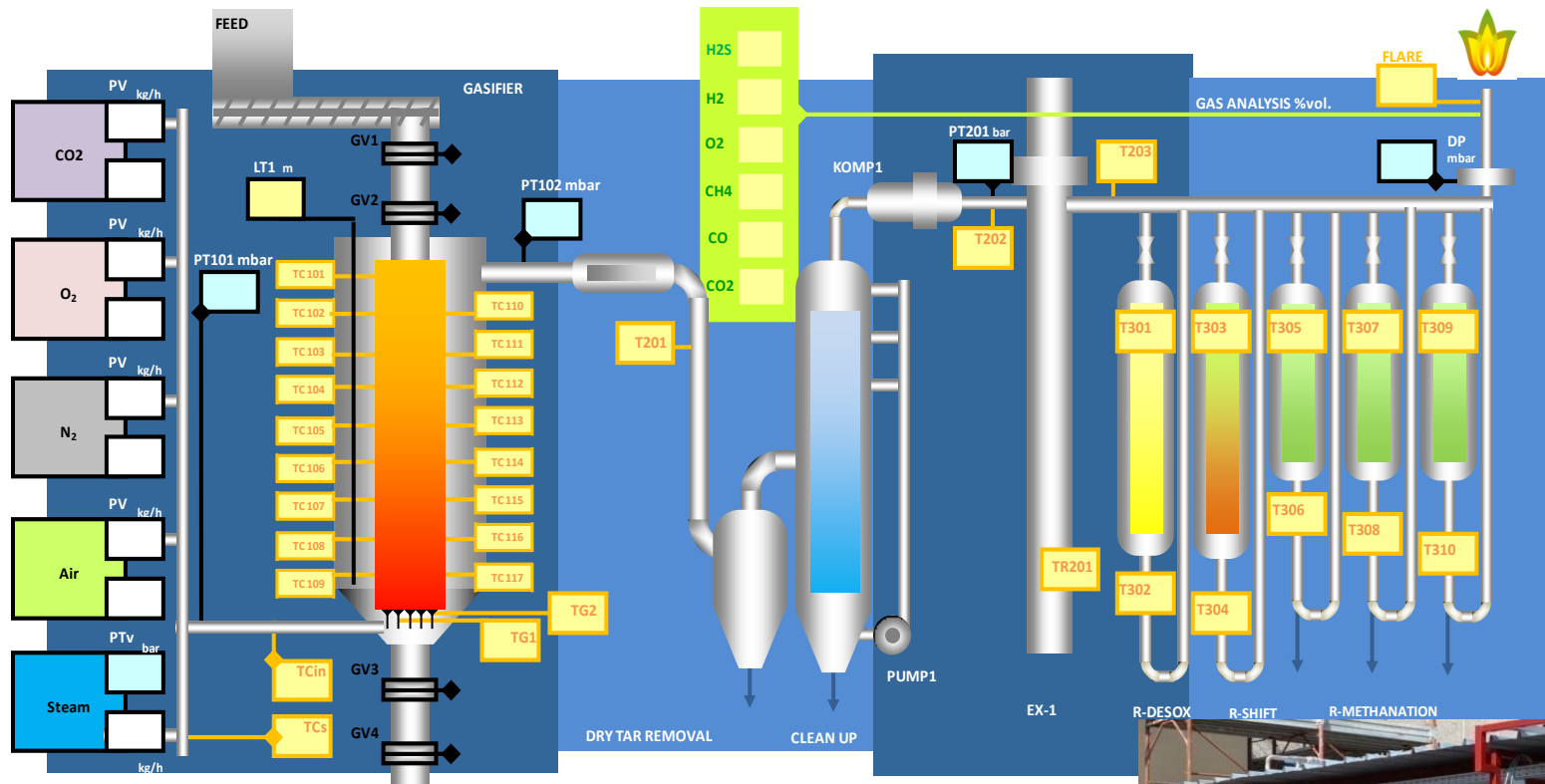
Experimental tests of commercial catalysts on laboratory scale

Catalysts	Ru/Al ₂ O ₃ - Ni/Al ₂ O ₃
Pressure	1- 5 bar
Gas mixtures	N ₂ /CO/H ₂ /CO ₂ /CH ₄
Temperature	300-350 ° C

Operative conditions in order to optimize the CH₄ yield



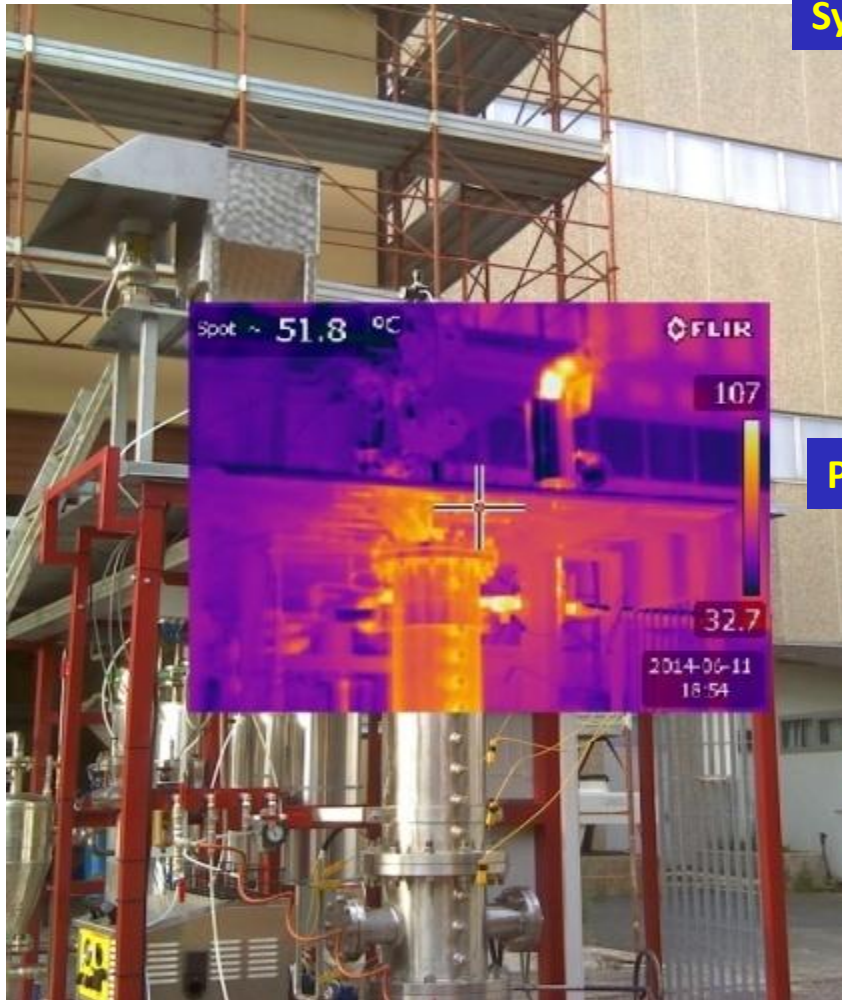
SNG: Experimental Tests on Pilot Scale



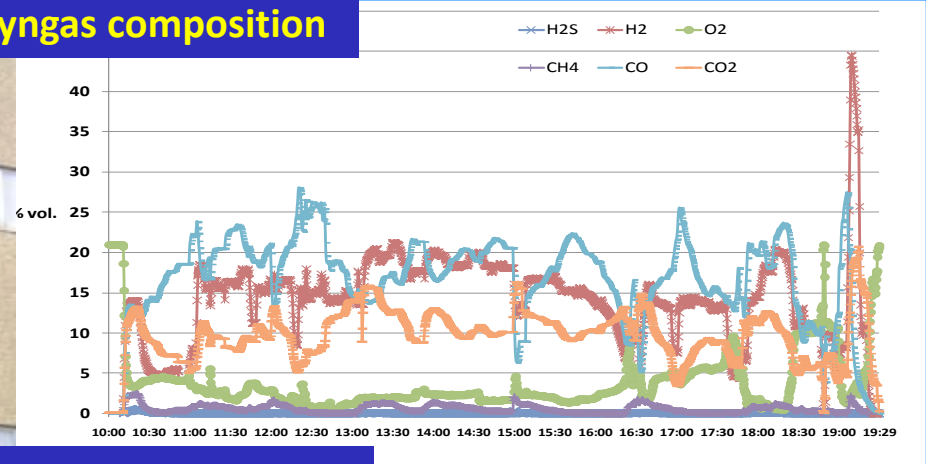
GESSYCA is an experimental facility dedicated to the study and testing of **gasification** process, of **Synthetic Natural Gas** production from coal and its implementation in **“Power to Gas”** sector.



SNG: Experimental tests on pilot scale



Syngas composition

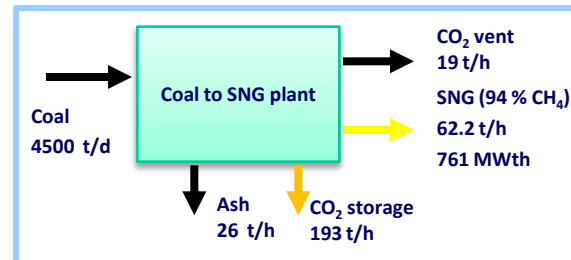
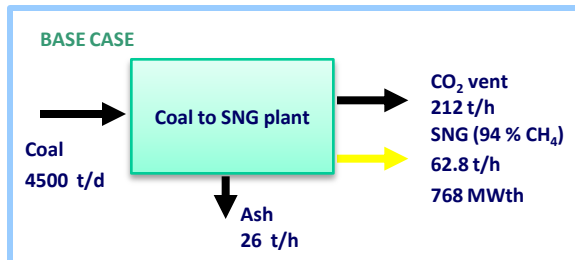
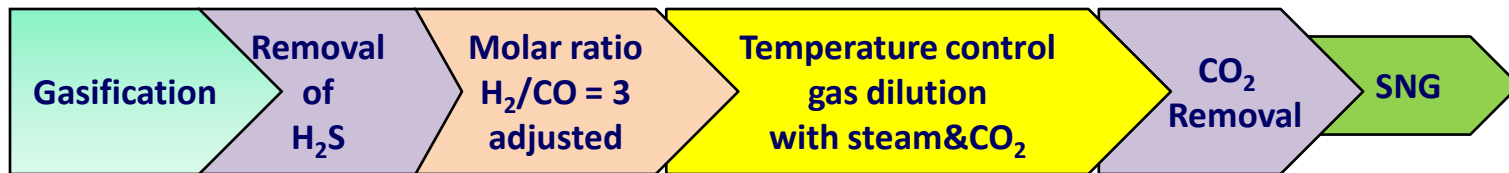
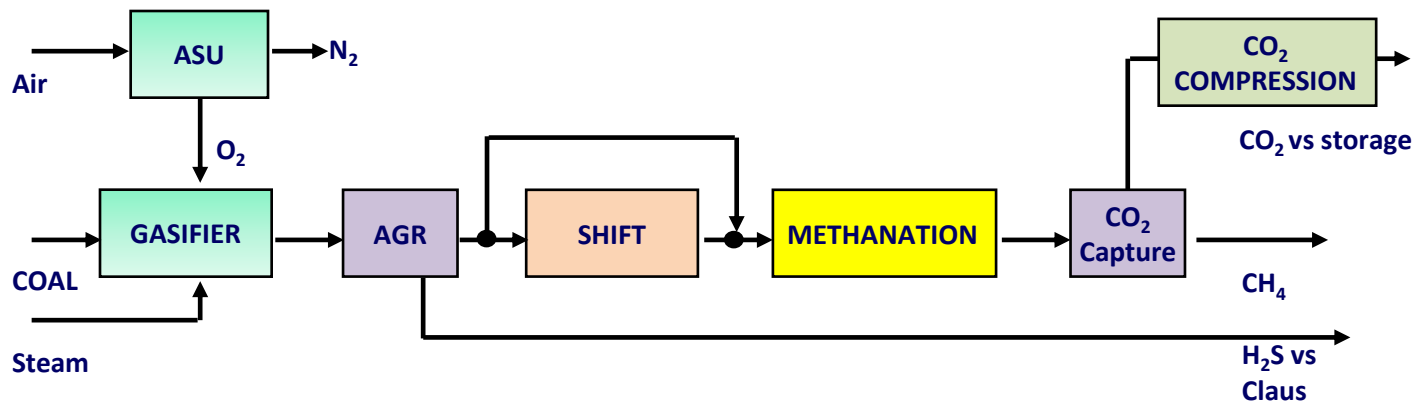


Plant data sheet

Gasifier type	Updraft/Downdraft	
Feed	10-15	kg/h
Syngas	25	kg/h
LHV _{syngas}	3-10	MJ/kg
Gasifier cold gas efficiency	>75	%
Ash removal	Automatic	
Fuel feeding	Automatic	
Methane	3-5	Nm ³ /h
Average efficiency process SNG	40-50	%
CH ₄ yield	0.4-0.5	Nm ³ _{CH4} /kg _{feed}
Plant size	20-40	kWth _{SNG} 26

SNG: System Modeling

Modeling and economic evaluation of carbon capture and storage technologies integrated into SNG plants



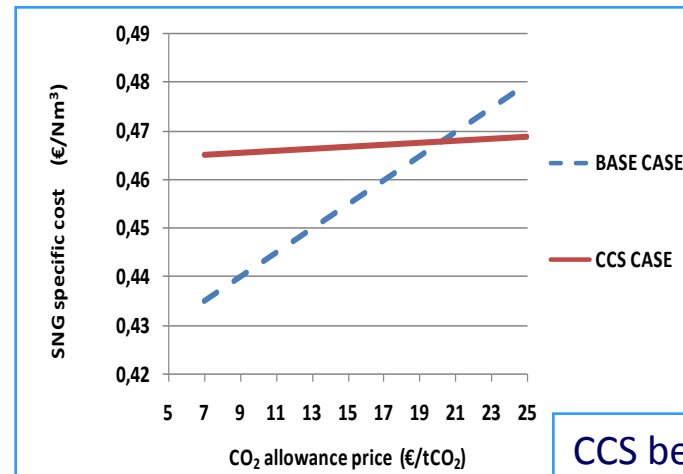
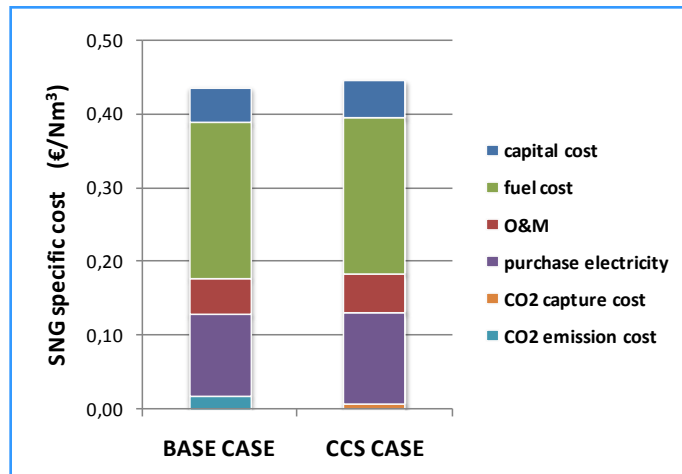
CO₂ removal efficiency = 91 %

SNG: Economic Analysis

Assess the economic impact of the introduction of CCS

Introducing CCS generates a ***slightly increasing of SNG cost production***, since the only added cost is for the CO₂ compression and storage.

The CSS option is more or less competitive depending on the applied price of CO₂ allowance



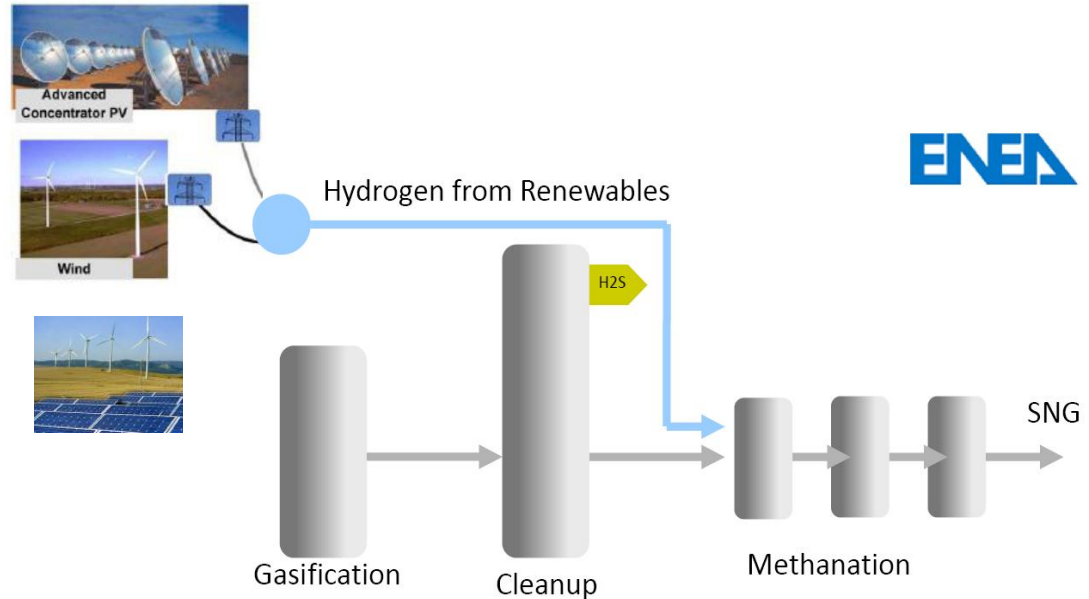
CCS becomes less costly than paying all emitted CO₂

SNG: Energy Storage P2G

Renewables are steadily becoming a greater part of the global energy mix, in particular in the power sector

Fossil fuel power plants will continue to play an important role (including the CCS option) due to the aleatory nature of some types of renewable source

power to gas (P2G)
allows to store the surplus of electrical energy balancing offer and demand over the electrical grid



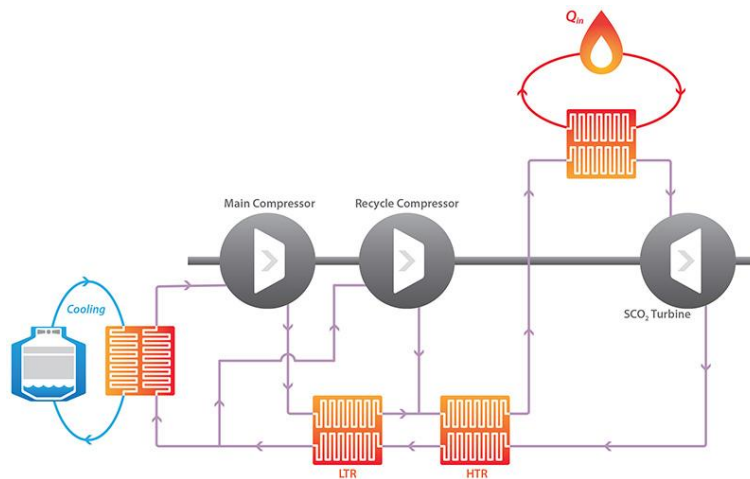
The excess of electrical energy can be used to produce H₂ (by electrolysis) that reacts with CO and CO₂

Alternative way of use of CO₂ (**CCU carbon capture and utilisation**)

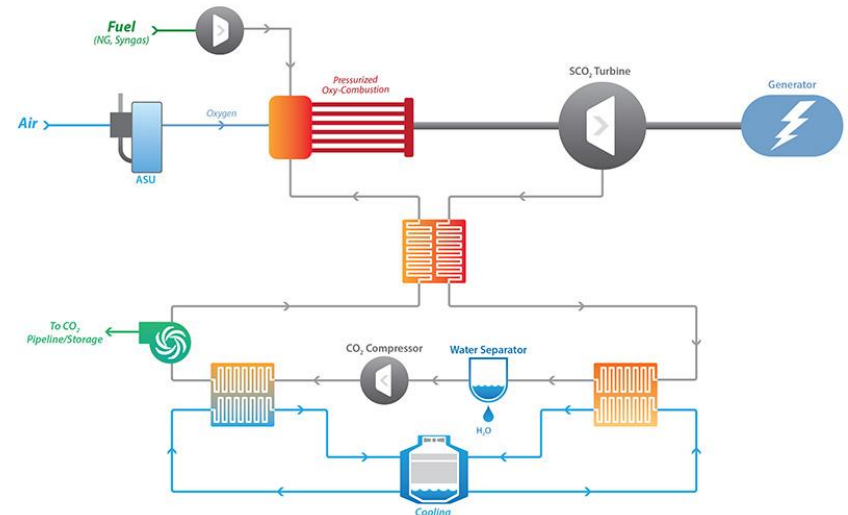
Supercritical-CO₂ Gas Turbine Cycles

The **S-CO₂ Power Cycles** operate in a manner similar to other turbine cycles, but it uses CO₂ as the working fluid in the turbomachinery. The cycle is operated above the critical point of CO₂ so that it does not change phases (from liquid to gas), but rather undergoes drastic density changes over small ranges of temperature and pressure. This allows a large amount of energy to be extracted at high temperature from equipment that is relatively small in size. S-CO₂ turbines will have a nominal gas path **diameter an order of magnitude smaller** than utility scale combustion turbines or steam turbines.

indirectly heated



directly fired oxyfuelled



Supercritical-CO₂ Gas Turbine Cycles with Oxy-combustion may be a long-term solution that simultaneously meets the requirements for: load-flexibility, fuel-flexibility, CCS, thermodynamic efficiency, P2G, enhanced gas recovery and cost effectiveness.

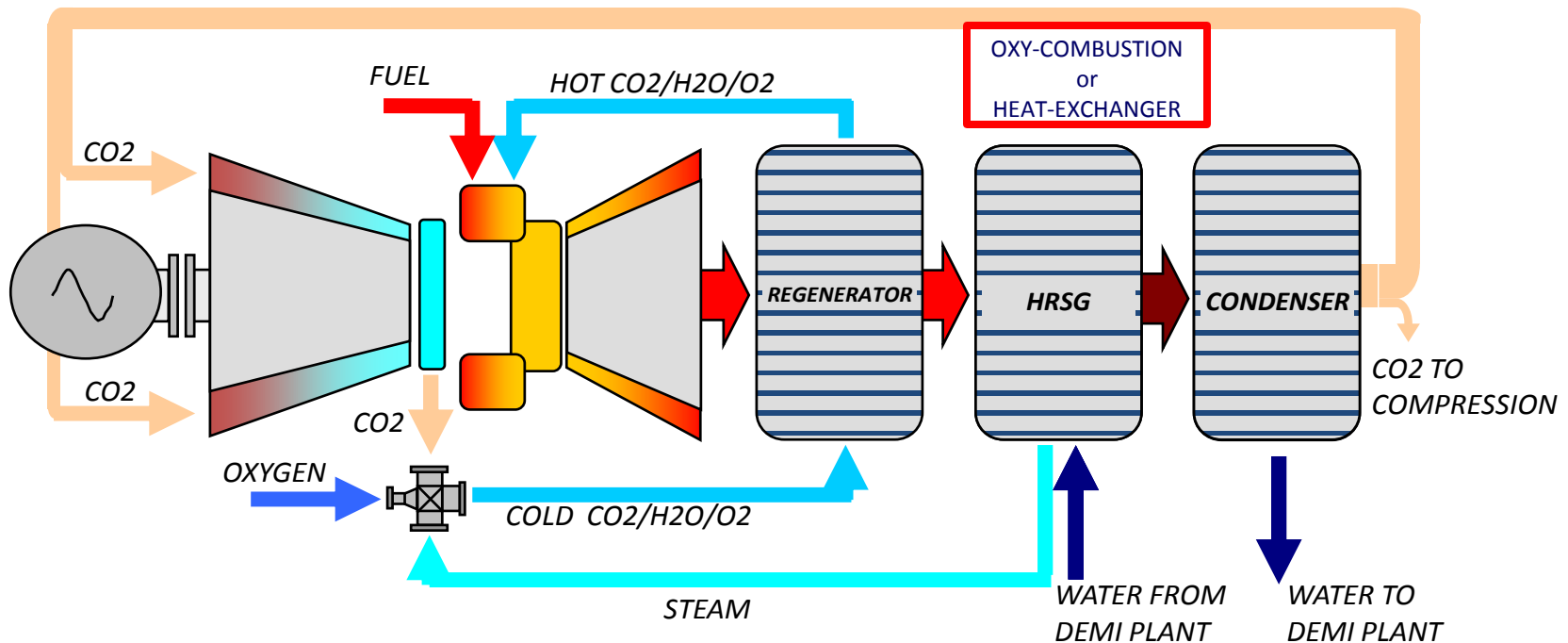
- High density of **S-CO₂**: smaller and not-combined plants favour **load-flexibility**.
- S-CO₂ properties: simple cycle **efficiency** above 50%.
- High cycle pressure: **“pipeline ready”** CO₂ (no compression system).
- CH₄ oxy-combustion: CO₂ easily separated from H₂O; **CCS cost reduction**.
- Integration with external heat sources (**Waste Heat Recovery**).
- Integration with **renewable sources** of energy:
 - Using H₂ (CCS) or H₂/O₂ (Power2Gas).
 - Concentrating solar power, geothermal (also waste heat, nuclear).



Supercritical-CO₂ Gas Turbine Cycles: a Scheme

Currently it is studying the feasibility of a gas-turbine cycle with oxy-combustion and **supercritical CO₂ as working fluid**, with the aim to evaluate a "CO₂ ready" power plant.

Towards Supercritical-CO₂ GT Cycle
(31° C ; 7,3 MPa)



Cycle configurations can be:

- closed using external heat sources through heat exchangers)
- semi-closed using internal oxy-combustion as heat source).

Supercritical-CO₂ Gas Turbines Cycles: AGATUR

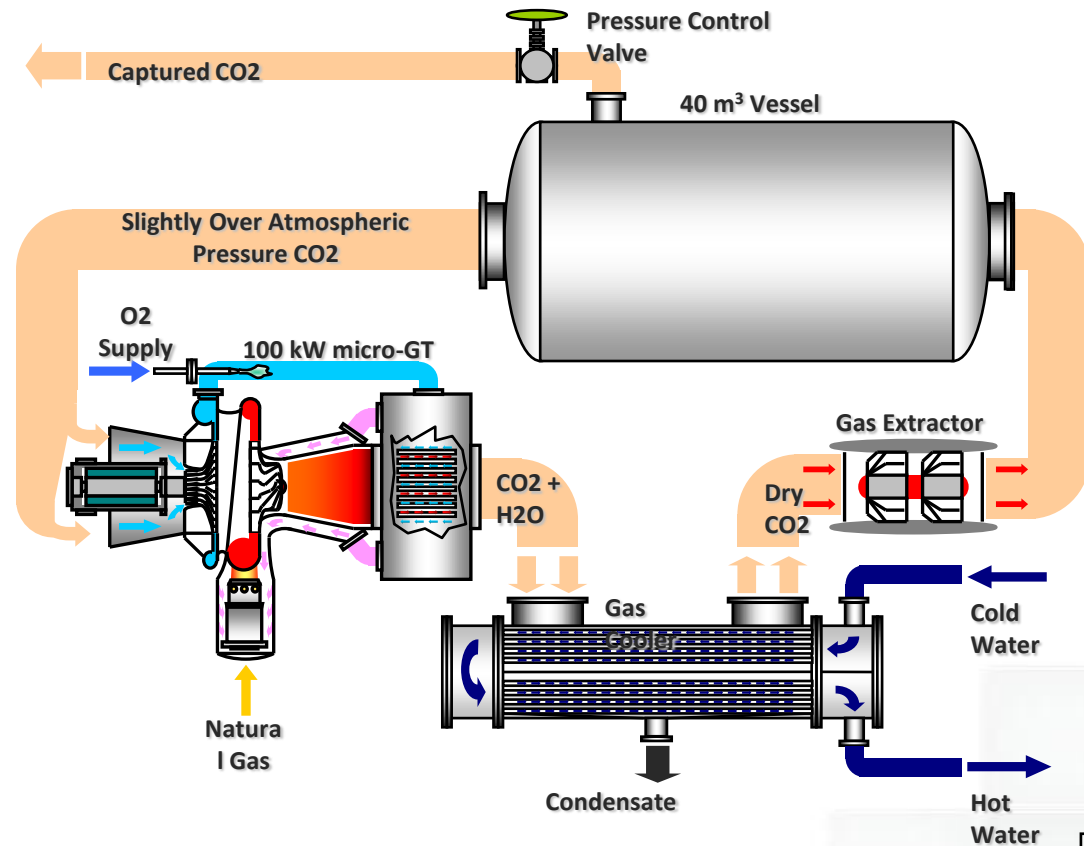
AGATUR is an **experimental plant** to study and testing advanced thermodynamic cycles, gas-turbine based, with **high efficiency** and **low environmental footprint**.

The platform is able to emulate gas turbine cycles with working fluids other than air.



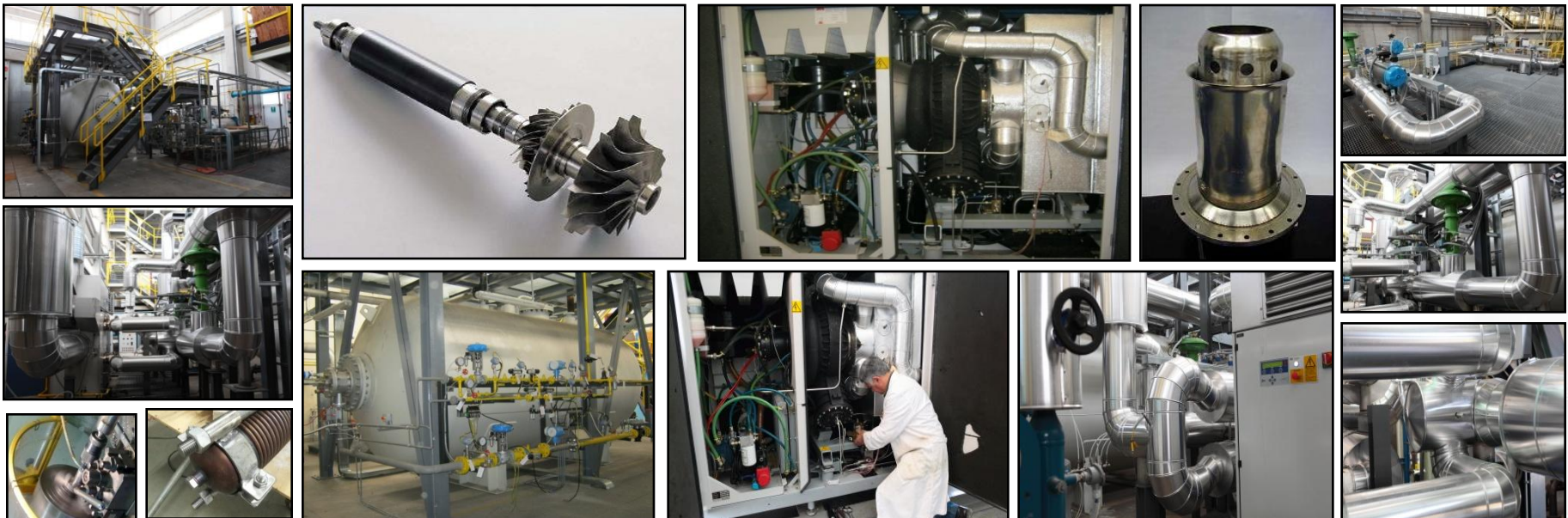
The system configuration allow to match a micro-gas-turbine (μGT) with a large size vessel.

The μGT is a modified Turbec T100 natural gas fired, with 100 kW of electrical power output



AGATUR

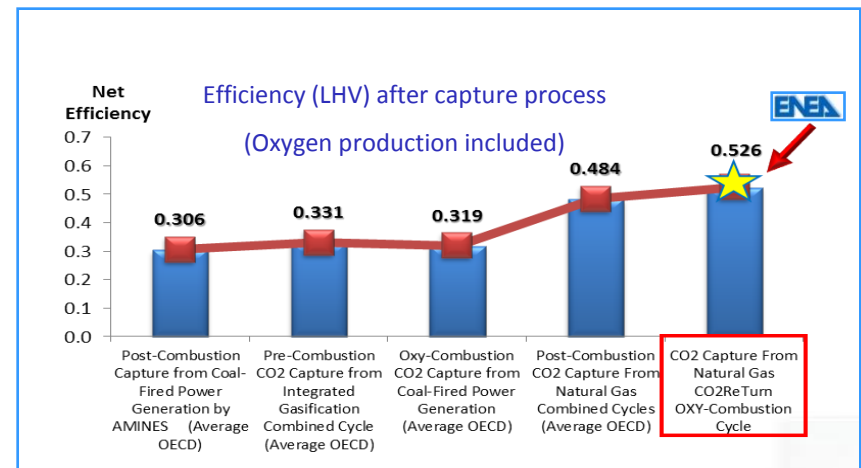
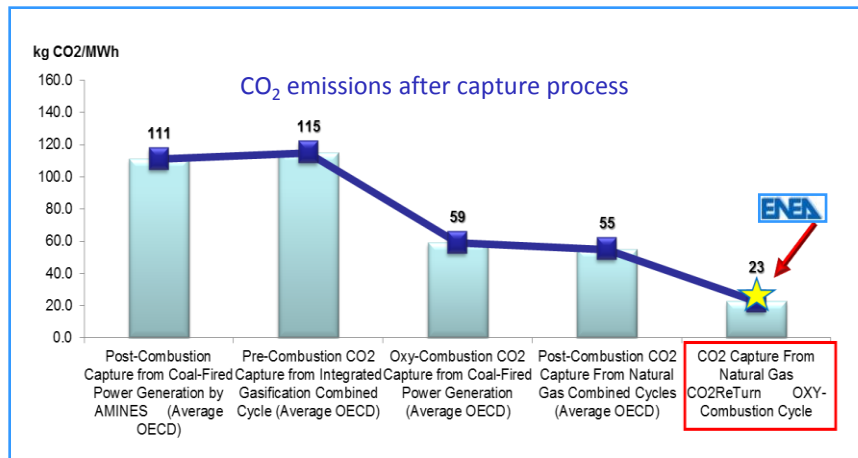
Advanced GAs Turbines Rising



Supercritical-CO₂ Gas Turbine Cycles : CO2ReTurn



CO2ReTurn is the ENEA semi-closed configuration EU project proposal using oxy-combustion of natural gas as internal high temperature heat source.



Source: G. Messina, E. Giacomazzi Report RdS/PAR2013/298

Calculated Specific CO₂ Emissions and LHV Net Efficiencies show promising performances....



Thank you for kind attention!

claudia.bassano@enea.it
www.enea.it



Carbon Capture & Storage
Summer School



Allegato 9
RdS/PAR2014/271

Feedback di valutazione. International Sulcis Summer
School on CCS Technologies 2015

A.Corleto, A.Quintiliani, A.Trolese - ENEA.

International Sulcis Summer School on CCS Technologies 2015

Feedback di valutazione Rapporto tecnico

UTICT-PRA

E-learning

Referenti

Andrea Quintiliani

Amedeo Trolese

Ricercatori

Andrea Corleto

28/07/2015

Sommario

PREFAZIONE.....	3
FEEDBACK: SUMMER SCHOOL’S OVERALL EVALUATION.....	3
I - PERCEZIONE GLOBALE DELL’ESPERIENZA.....	4
II – E-LEARNING	7
III – ORGANIZZAZIONE E SERVIZI	9
IV – LE DOMANDE APERTE – OPINIONI, CRITICHE, SUGGERIMENTI	9
V – CONCLUSIONI	10
ALLEGATO	11
Questionario on line di valutazione finale.....	11
Risultati estesi relativi alle domande aperte 12/13/15/16	12
Indice delle figure	14

PREFAZIONE

Per monitorare il livello di soddisfazione degli studenti verso l'**edizione 2015** dell'*International Sulcis Summer School on CCS Technologies* sono state predisposte due diverse tipologie di feedback: il primo (*Summer School's overall evaluation*) utile ai fini della rilevazione del loro grado di soddisfacimento relativamente alla globalità dell'esperienza formativa vissuta e, il secondo (*Teacher effectiveness*), relativo alle presentazioni dei singoli docenti che si sono alternati in aula nelle 5 giornate previste dal programma.

Entrambi i questionari sono stati implementati sulla piattaforma e-learning (<http://elearning.enea.it>)

FEEDBACK: SUMMER SCHOOL'S OVERALL EVALUATION

Il feedback di valutazione dell'esperienza complessiva (cfr. [allegato](#)) è stato strutturato con riferimento a tre aree di attenzione:

- ✓ **Percezione globale dell'esperienza**
- ✓ **E-learning**
- ✓ **Organizzazione e servizi**

Per ogni domanda¹ è stata fornita una scala di valutazione del gradimento che va da 1 (Strongly disagree) a 5 (Strongly agree).

Sono state inserite, inoltre, delle domande a risposta aperta per la raccolta di informazioni di tipo qualitativo (opinioni, suggerimenti, critiche).

I questionari compilati, in modo anonimo, sono stati **undici (11)** su quindici partecipanti alle lezioni in aula.

Quella che segue è una elaborazione statistica dei dati raccolti, raggruppati nelle tre aree di attenzione citate, con l'aggiunta delle indicazioni (suggerimenti, aspetti positivi e negativi) fornite dai corsisti nell'ultima parte del feedback.

¹ Salvo quelle indicate con (*) che hanno diversa scala

I - PERCEZIONE GLOBALE DELL'ESPERIENZA

La percezione dell'esperienza formativa vissuta dagli studenti risulta attestarsi su un valore alto: il dato è relativo alle *aspettative realizzate* (63.64% - Figura 1); all'*accrescimento dell'interesse verso la materia trattata* (45.45% Agree + 27.27% Strongly agree - Figura 2); all'*organizzazione del corso* (media 4.18 su scala da 1 a 5 - Figura 3); al *bilanciamento tra attività pratiche e lezioni frontali* (54.55% - Figura 4); alla *valutazione globale del corso* (oltre il 90% dei voti compreso tra "Good" ed "Excellent" su una scala di valutazione da "Poor" a "Excellent" – Figura 5); all'*utilità delle tematiche trattate per il futuro professionale degli studenti* (Figura 6); all'*adeguatezza dei contenuti del corso rispetto al livello di preparazione degli studenti* (su una scala da "too basic" a "too advanced" il 72.73% ha risposto "about right" – Figura 7).

Nel dettaglio l'elaborazione grafica relativa alle sette domande dell'area in oggetto:

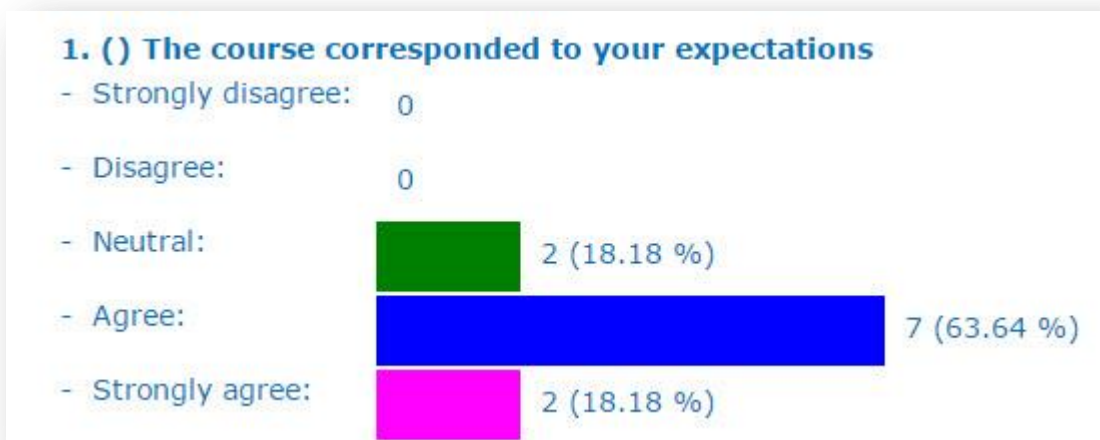


Figura 1

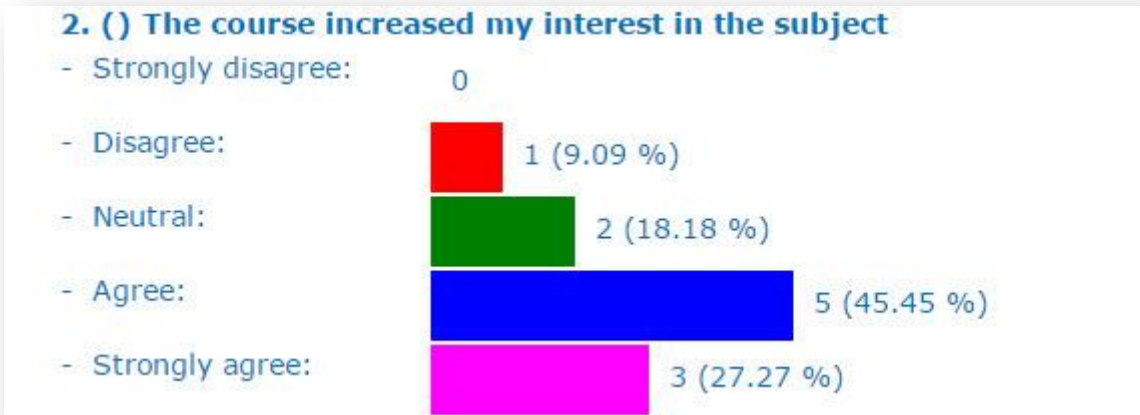


Figura 2

(*)



Figura 3

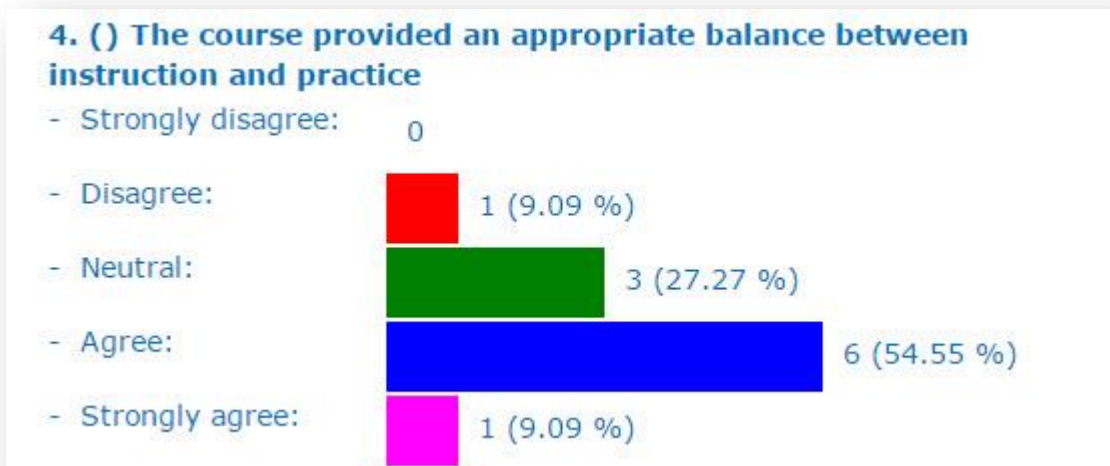


Figura 4

(*)

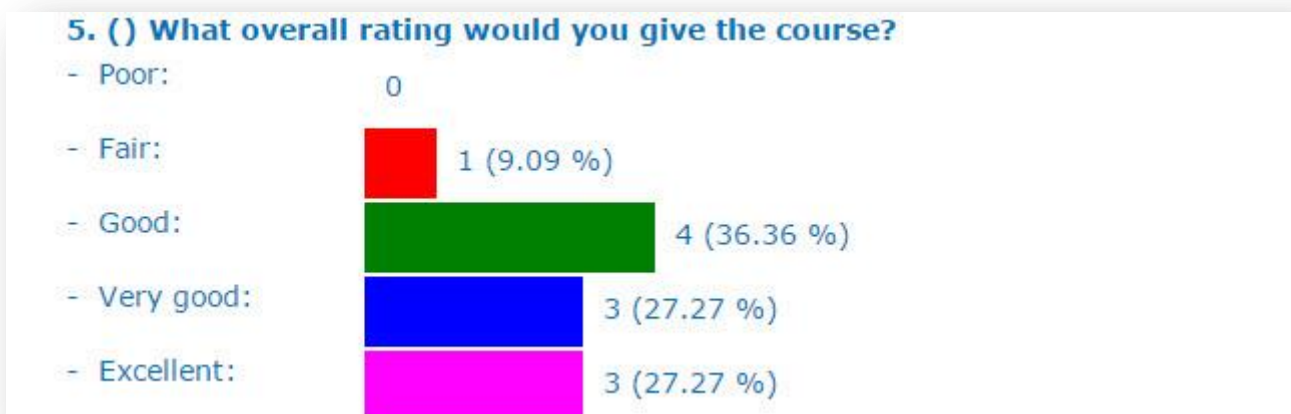


Figura 5

(*)

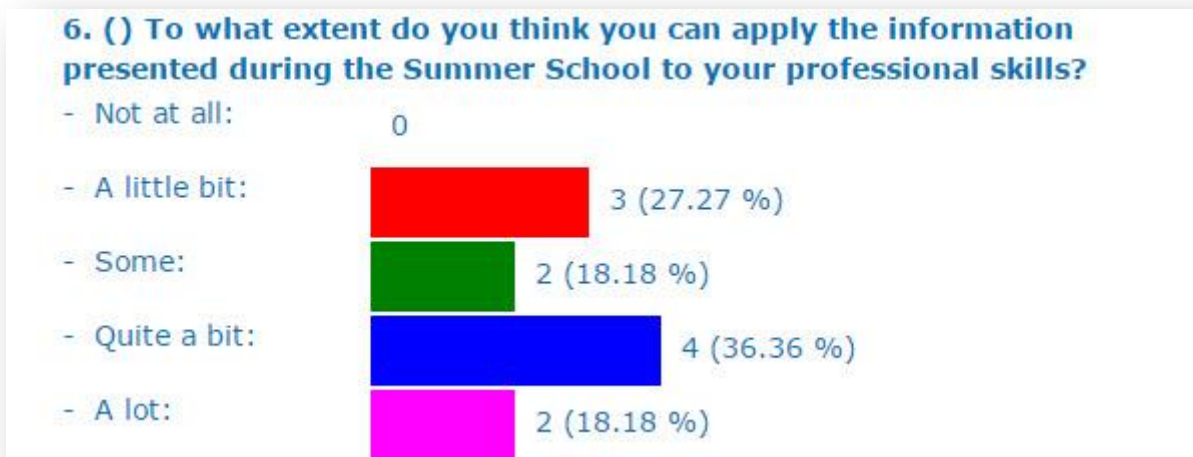


Figura 6

(*)



Figura 7

II – E-LEARNING

La seconda area di analisi del feedback concerne l'aspetto relativo *all'utilizzo della piattaforma e-learning e all'integrazione del corso online con le lezioni in aula* (domande 8/9/10 – Figura 8) .

I tre item proposti hanno voluto investigare:

- ✓ la semplicità di utilizzo della piattaforma e-learning
- ✓ la qualità del corso online
- ✓ il valore aggiunto che una simile proposta può fornire al tradizionale processo formativo;

Tutti gli item proposti hanno ottenuto una valutazione molto favorevole, con alcuni elementi da sottolineare:

- il 100% degli studenti ha trovato la piattaforma e-learning user-friendly
- il 90% ha dato una valutazione del corso e-learning compresa tra “Good” ed “Excellent”
- l’81% (45.45% Agree + 36.36% Strongly agree) degli studenti trova che il corso e-learning sia un valore aggiunto per l’esperienza di apprendimento;

I dati ottenuti sono confortanti rispetto all’integrazione del corso e-learning con le lezioni frontali, anche in virtù dell’arricchimento dell’offerta formativa online, precedente allo svolgimento delle lezioni in aula, e ai workgroups interattivi inseriti all’interno del programma.

(*)

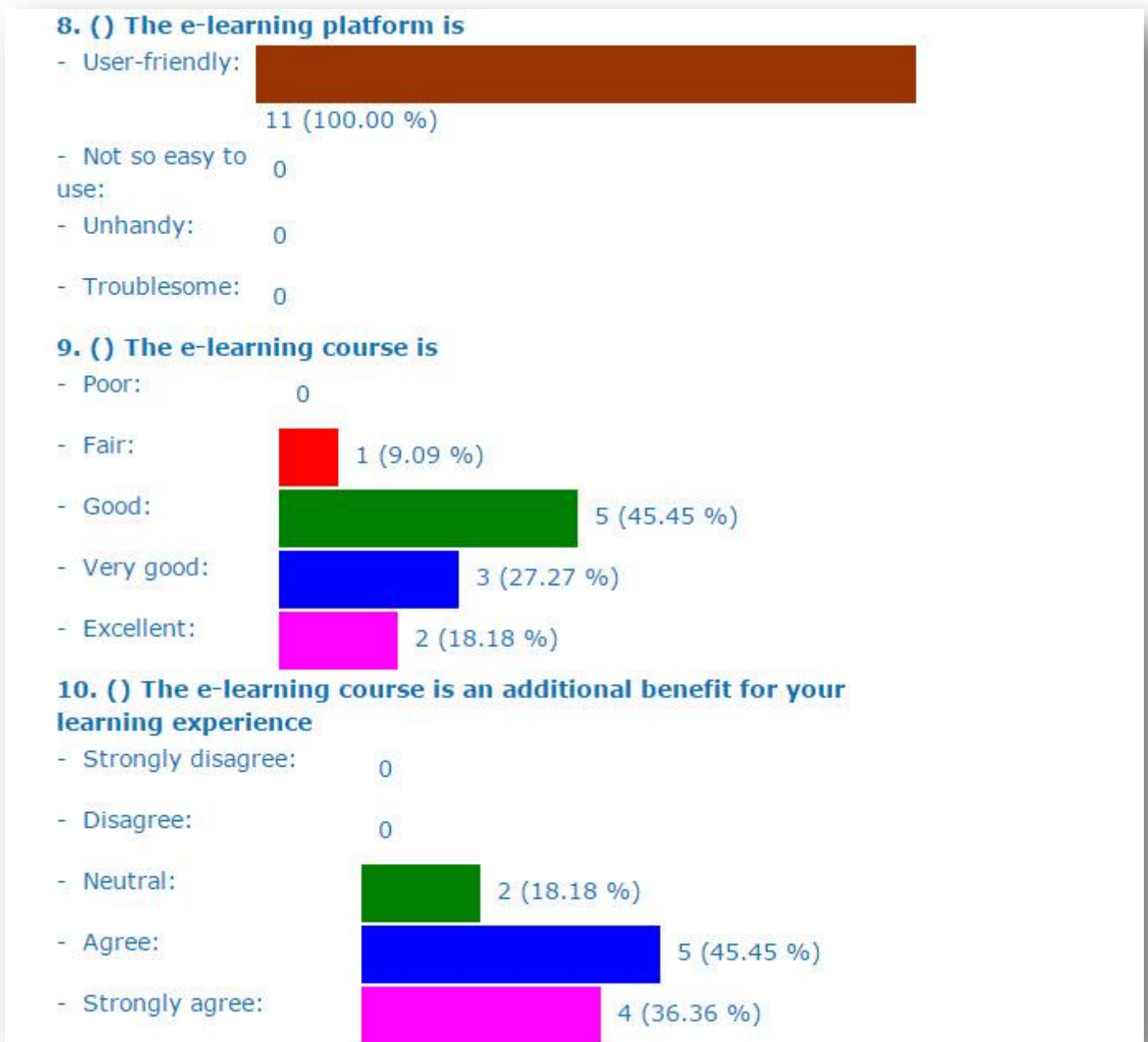


Figura 8

III - ORGANIZZAZIONE E SERVIZI

Un solo item ha inteso analizzare l'aspetto relativo *all'accoglienza e all'organizzazione complessiva della Summer School*; il dato statistico relativo evidenzia una maggioranza di valutazione massima (72.73% - Figura 9), dato questo confermato anche nella domanda a risposta aperta relativa ai punti di forza della scuola (cfr. d12).

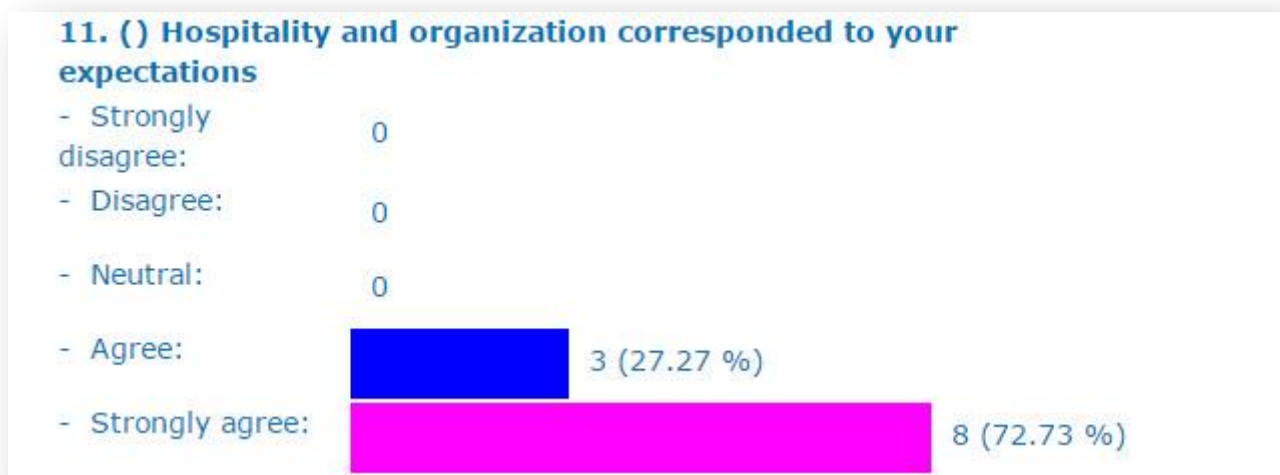


Figura 9

IV LE DOMANDE APERTE – OPINIONI, CRITICHE, SUGGERIMENTI

L'ultima parte del questionario è stata dedicata alla raccolta di opinioni, suggerimenti e giudizi, positivi e negativi, su svariati aspetti legati alle lezioni e all'organizzazione del corso (cfr. allegato). La domanda 12 ha inteso raccogliere opinioni in merito ai punti di forza della *Summer School*; le risposte fornite vertono principalmente sull'apprezzamento della *didattica e dell'organizzazione* (alto livello dei relatori, visita agli impianti/laboratori, argomenti interessanti, ottima "atmosfera").

Con la domanda 13, viceversa, sono stati evidenziati alcuni punti deboli dell'esperienza formativa; le risposte fornite evidenziano difficoltà in merito a quattro punti:

- rendere le **lezioni frontali più interattive** con esercitazioni pratiche
- poco tempo a disposizione per i **workgroups**

- carenza di **connessione alla rete internet**
- scarsa **qualità dell'audio e dell'illuminazione** in aula.

Il 100% di coloro che hanno compilato i questionari di valutazione finale consiglierebbero ad un loro collega di partecipare alle prossime edizioni della Summer School (domanda 14 – Figura 10), soprattutto per *l'interesse delle tematiche trattate e per la qualità dell'esperienza formativa effettuata* ([cfr. d15](#)).



Figura 10

Al termine del questionario, infine, alcuni studenti hanno voluto lasciare dei suggerimenti e delle osservazioni (in linea con molte delle risposte già precedentemente analizzate) su quanto, secondo loro, potrebbe migliorare l'esperienza della *Summer School*. In particolare, anche in questa domanda (16), si sottolinea la necessità di:

- estendere il tempo delle visite di impianti e laboratori.
- migliorare la connessione internet
- aumentare il tempo a disposizione per i workgroups
- diminuire le lezioni frontali rendendole più specifiche

V – CONCLUSIONI

L'interesse delle tematiche trattate, l'alta competenza dei relatori, il raccordo con l'aspetto empirico (visite a laboratori e impianti) e l'ottima organizzazione rappresentano senza dubbio gli aspetti della Summer School percepiti con maggiore gradimento da parte degli studenti.

Gli elementi migliorabili riguardano essenzialmente le condizioni organizzative complessive, soprattutto sotto il *profilo tecnico* (migliore qualità dell'audio in aula e connessione alla rete internet), mentre per il *profilo metodologico/didattico* si sono risolte alcune criticità sottolineate dai partecipanti alle edizioni precedenti ([cfr. questionario 2014](#)) come il rispetto dei tempi delle

presentazioni e il maggior coordinamento tra le diverse lezioni, l'utilizzo ragionato della lingua inglese e la maggiore interazione docenti/allievi.

ALLEGATO

Questionario on line di valutazione finale implementato su <http://elearning.enea.it> (16 domande a tipologia mista)

1The course corresponded to your expectations*

- Strongly disagree Disagree Neutral Agree Strongly agree

2The course increased my interest in the subject*

- Strongly disagree Disagree Neutral Agree Strongly agree

3The course was well-organized and ran smoothly* (1 - 5)

4The course provided an appropriate balance between instruction and practice *

- Strongly disagree Disagree Neutral Agree Strongly agree

5What overall rating would you give the course?*

- Poor
 Fair
 Good
 Very good
 Excellent

6To what extent do you think you can apply the information presented during the Summer School to your professional skills?*

- Not at all
 A little bit
 Some
 Quite a bit
 A lot

7For my experience level, the Summer School was*

- Too basic
 About right
 Too advanced

8The e-learning platform is*

- User-friendly
 Not so easy to use
 Unhandy
 Troublesome

9The e-learning course is*

- Poor
 Fair
 Good
 Very good
 Excellent

10The e-learning course is an additional benefit for your learning experience*

- Strongly disagree Disagree Neutral Agree Strongly agree

11 Hospitality and organization corresponded to your expectations*

- Strongly disagree
 Disagree
 Neutral
 Agree
 Strongly agree

12 What are the strong points of the Summer Schol?*

13 And the weaknesses ones?*

14 Would you recommend this Summer School to others?*

- Yes
 No

15 Why?*

16 Please provide any comments or suggestions that might help improve this course in the future*

Risultati estesi relativi alle domande aperte 12/13/15/16

12 What are the strong points of the Summer School?

- I think that the strong points of the school have been the overall organization and the high level of the speakers.
- Visit to laboratories, pilot plant and mining museum
- Explanation of some argument
- Guide to further knowledge
- Confrontation between specialists in different fields of knowledge involved in CCS
- Relatori con una preparazione eccellente; programma curato nei minimi particolari e bilanciato perfettamente tra teoria e pratica; possibilità di confronto con ragazzi che provengono da background differenti.
- Good level of the speakers. Good hospitality. Correct behaviour.
- Molto interessante, ben organizzata, interattiva (tramite la piattaforma messa a disposizione) e dinamica, per il fatto che oltre alle lezioni in aula sono state inserite differenti altre attività, come visite

al museo, agli impianti etc.

- Is that allow at the young people to see a very company e a very plant
- Excellent organization and punctuality with time. Overall very good atmosphere.
- Very dense lessons, high rhythm, starry guests from almost all over the world, very advanced topics.

13 And the weaknesses ones?

- Many presentations e were or to basic or to scientific for the level of the students present in the Summer School. The professors should not make publicity of their work and studies. The presentation should be revised in advance. The organizers should strive to combine the presentations with some basic laboratory work.
- No internet connection that cause heavy problems during practical work
- Non ci sono state tante debolezze in realtà.
- la connessione internet è stato il più grande limite.
- maybe the limited time of the school
- Not a real one but, maybe, the workshops was a bit hard because of the few time available. In my opinion, its writing lacks the proper accuracy it deserved.
- Can be better if during the lessons there are pratck activities
- None
- Wasting time during the group meetings for the wiki
- The sound and the light of the conference hall are not good.

15 Why? (collegata alla domanda 14 "Would you recommend this Summer School to others?")

- Because it is definitely a very effective course, I learned a lot and knew many people with the highest knowledge about the topic. I could even know the human side of these Professors, great person behind the desk and even outside classes.
- because it was an educational experience
- For the visit to the facilities and for the scientific value of some of the lectures
- Is a good experience
- I will inform my international colleagues working in this field, so they can share their experience and information and create some possible networks.
- I think that the school can be important to improve the skills about the topic.
- It's a good experience. The possibily to know an important research centre and a different approach to the CO2 problem .
- It's interesting and useful!
- E' un ottima esperienza formativa.
- È stata un'esperienza davvero costruttiva, sia dal punto di vista umano che da quello professionale : ho avuto la possibilità di stare a contatto con studenti, dottorandi e lavoratori che provenivano da background differenti e che avevano differenti prospettive di vita inoltre ho potuto conoscere il lato empirico della tecnologia CCS, quindi tutti i lavoratori che ci stanno dietro, visitare i laboratori, parlare con chi si occupa di questo settore da anni ormai. Inoltre l'organizzazione è stata davvero impeccabile.

16 Please provide any comments or suggestions that might help improve this course in the future

- more time for the groups activities
- Can't figure it out. I was brainstormed with so many information that a can't suggest a useful improvement.
- For me you've done a great job. (maybe you can improve the bandwidth of your wifi connection, many of

the students got connection problem with the e-learning platform).

- Less frontal lesson but more specific
- Le visite in impianto e al museo dovrebbero essere fatte in orari meno di punta.
- Working internet connection
- The school has been very interesting and it met my expectations.
- As we saw during the week the weakest point regarding to CCS were high cost and public acceptance. Maybe it will be a good idea to organize some field work in the city, so students can inform the community and exchange the necessary information in order to increase the level of know-how about CCS
- It needs some help for english translations of the speakers.
- Extending the visit to the laboratory and pilot plant, possibly including something more interactive (e.g. characterization of a solid fuel sample, etc.).
- L'unico suggerimento che potrei dare è quello di mostrare in maniera empirica come funzionano i laboratori dato che la nostra visita è stata solo teorica.

Indice delle figure

Fig.1	<i>(d1) The course corresponded to your expectations</i>
Fig.2	<i>(d2) The course increased my interest in the subject</i>
Fig.3	<i>(d3) The course was well-organized and ran smoothly</i>
Fig.4	<i>(d4) The course provided an appropriate balance between instruction and practice</i>
Fig.5	<i>(d5) What overall rating would you give the course?</i>
Fig.6	<i>(d6) To what extent do you think you can apply the information presented during the Summer School to your professional skills?</i>
Fig.7	<i>(d7) For my experience level, the Summer School was</i>
Fig.8	<i>(d8) The e-learning platform is</i> <i>(d9) The e-learning course is</i> <i>(d10) The e-learning course is an additional benefit for your learning experience</i>
Fig.9	<i>(d11) Hospitality and organization corresponded to your expectations</i>
Fig.10	<i>(d14) Would you recommend this Summer School to others?</i>