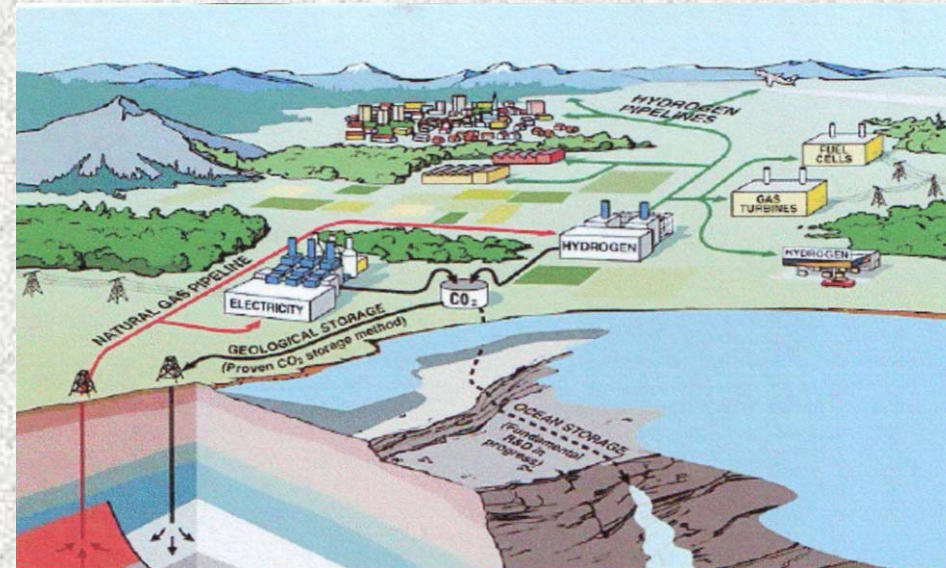


2° Workshop gruppo carbon capture and sequestration

Roma, 9 Giugno 2009



G. Girardi, A. Calabrò, P. Deiana

Le potenzialità delle tecnologie CCS ed i costi dell'energia prodotta



Proiezioni IEA per il periodo 2010 - 2030

- Incremento annuo consumi energetici mondiali 1,8%
- al 2030 frazione di energia mondiale da fossili = 90% (34% olio; 29% carb; 26% NG)
- Incremento annuo di emissioni di CO2 2,1% (+60% dal 2000 al 2030)

IPCC assessment - 2007

- Aumento globale medio della T 0.74°C dal 1906 al 2005
- Aumento atteso al 2100 da 2.4 a 6.4°C
- innalzamento del livello marino da 18 a 59 cm

Occorrono interventi radicali e tempestivi

STERN

UE : i tre 20% - direttive sullo storage della CO2

G8 - IEA e CSLF

La risposta non è unica ma trova soluzione in più ambiti:

I TRE CAVALLI DELLA TROIKA

- Efficienza e Risparmio energetico**
- Fonti rinnovabili – Energia distribuita**
- Impianti Zero Emission (CCS)**



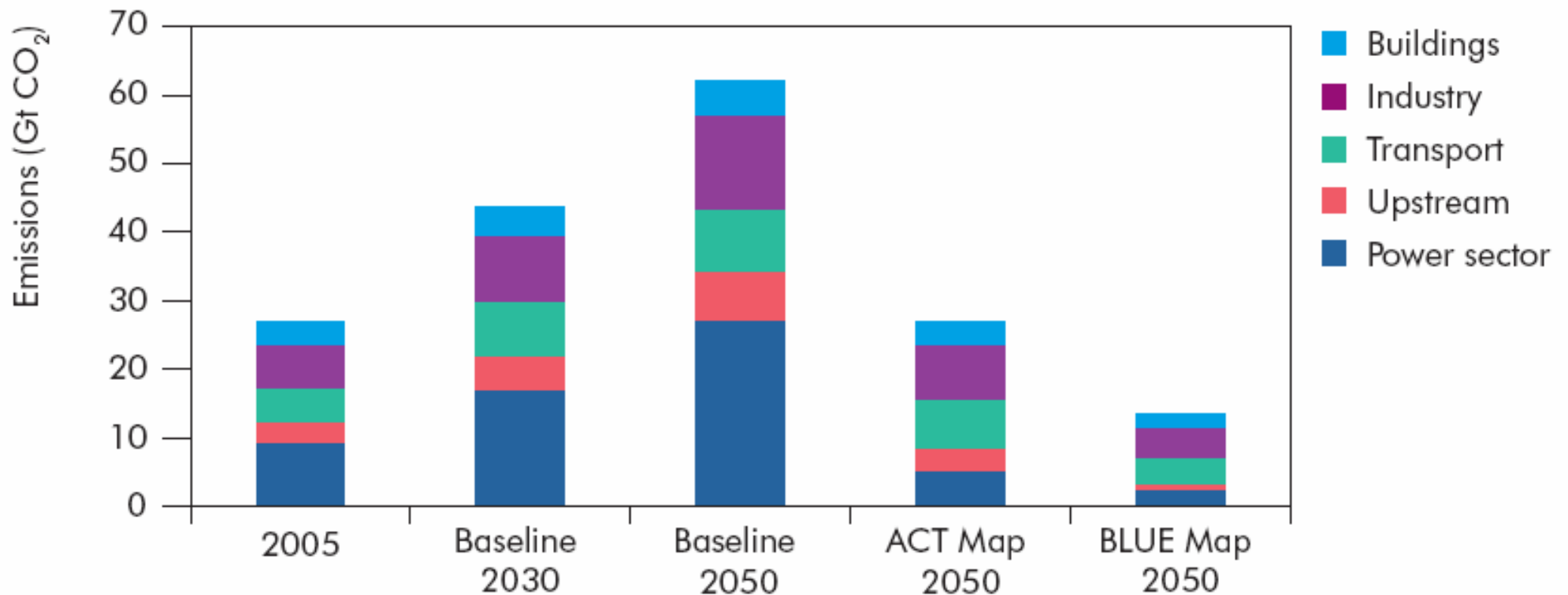
H2



Transizione → Sviluppo di tecnologie per l'impiego pulito dei comb. fossili

IEA - Energy Technology Perspectives 2008

Figure 2.1 ▶ Global CO₂ emissions in the Baseline, ACT Map and BLUE Map scenarios

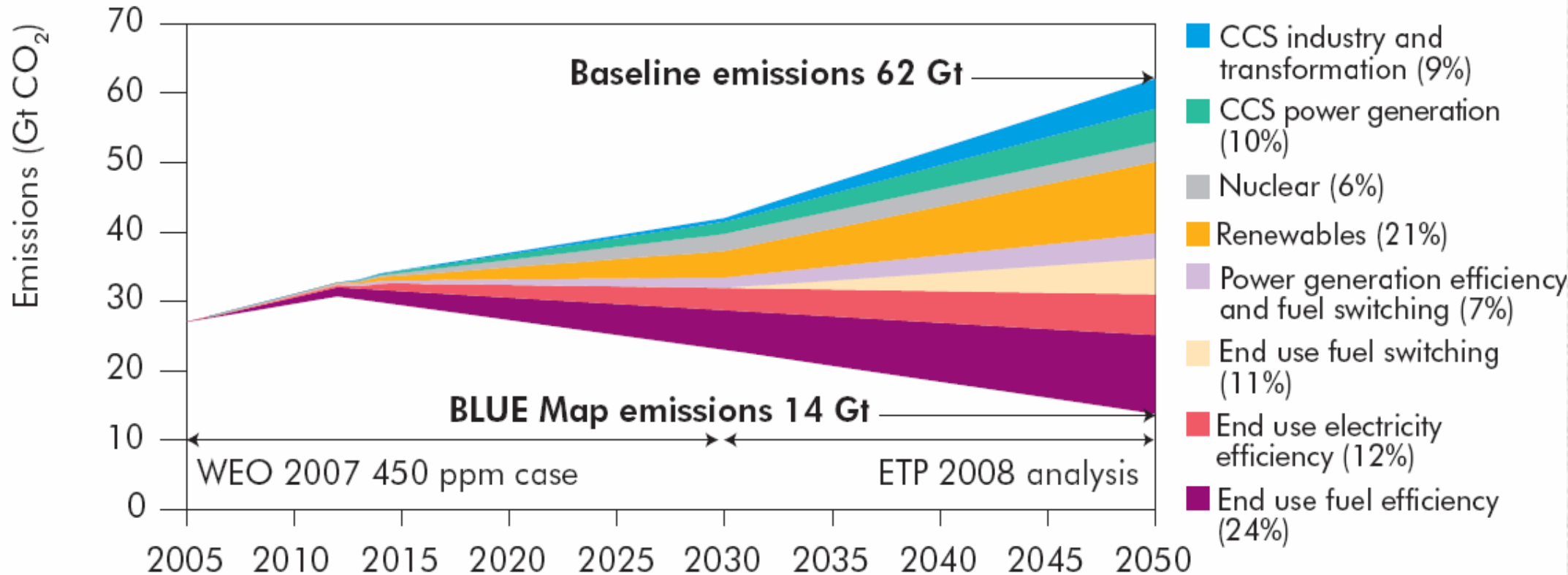


ACT scenario: technologies that already exist or are in advanced state of development

BLU scenario: reducing CO₂ emissions by 50% (from current levels) by 2050

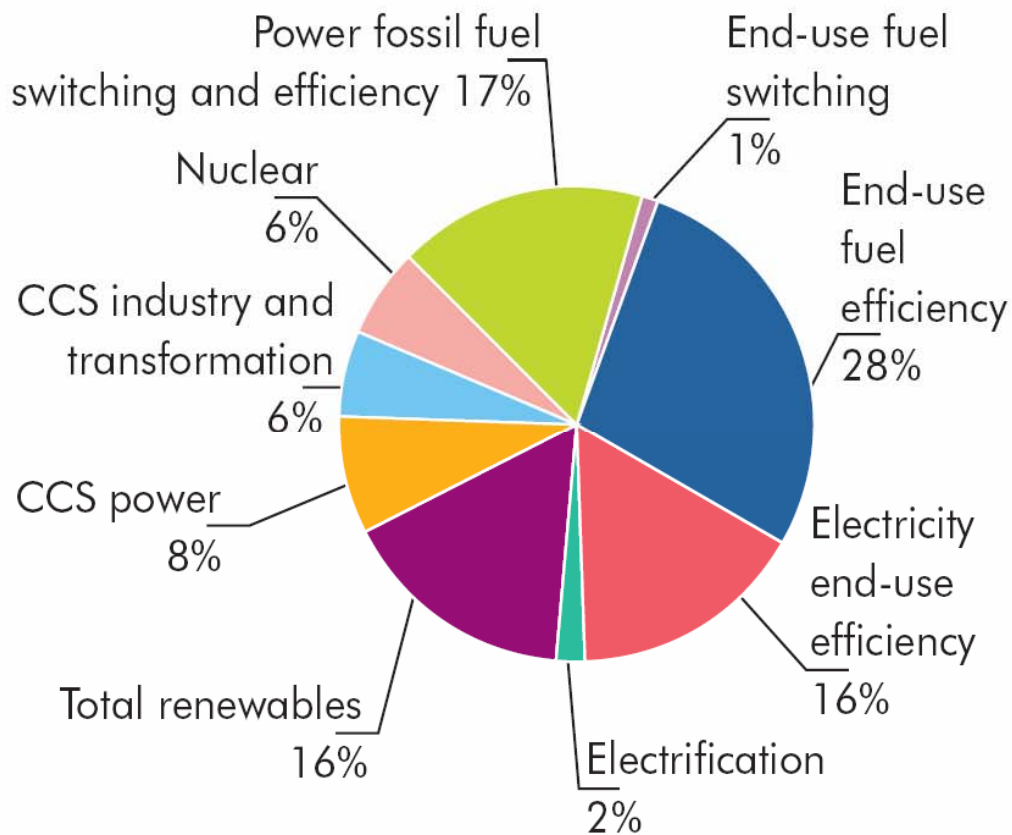
IEA - Energy Technology Perspectives 2008

Figure 2.2 ▶ Contribution of emission reduction options, 2005-2050

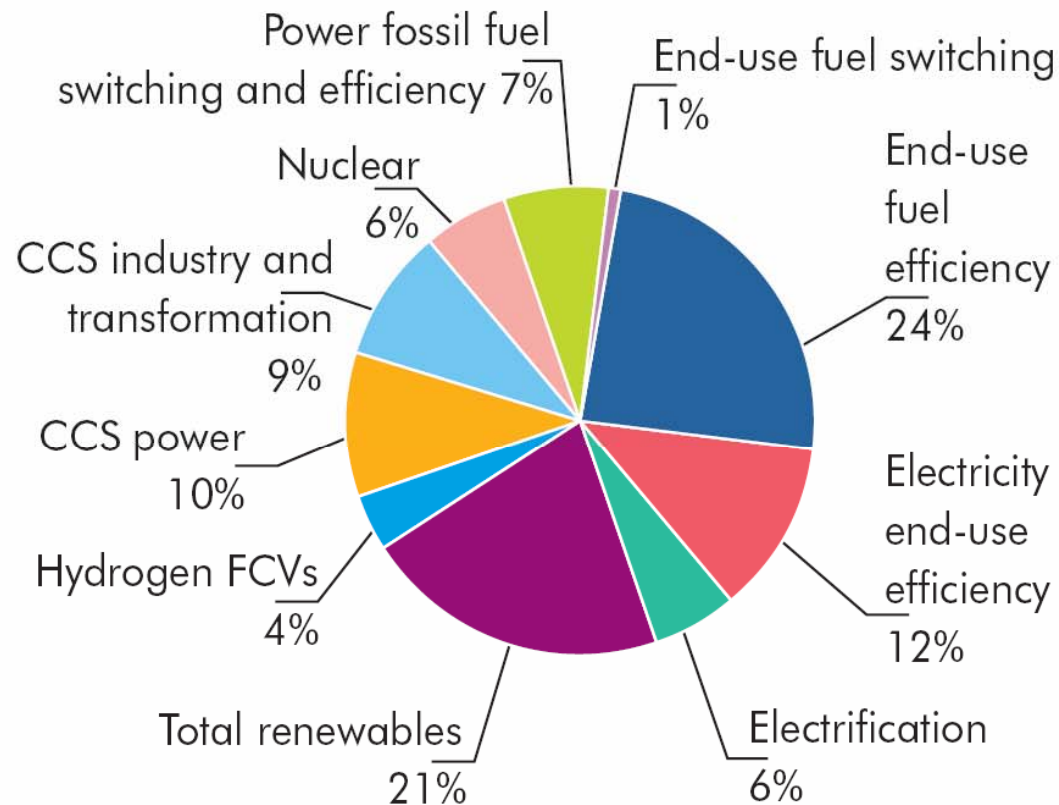


IEA - Energy Technology Perspectives 2008

ACT Map 35 Gt CO₂ reduction



BLUE Map 48 Gt CO₂ reduction

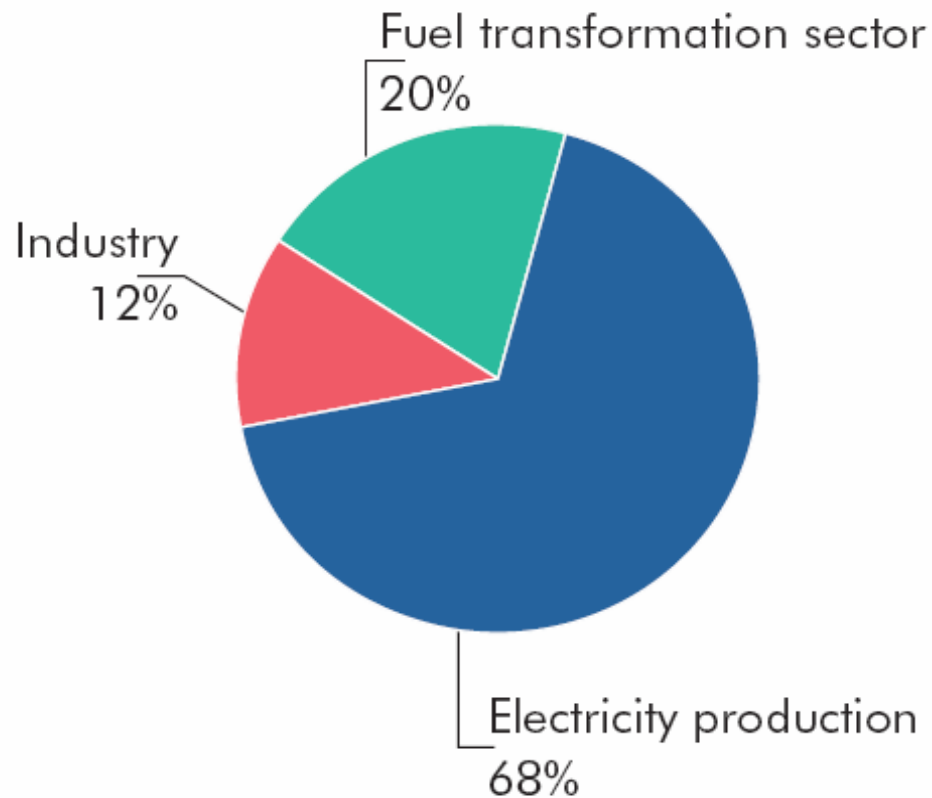


Note: CCS share accounts for the loss in energy efficiency.

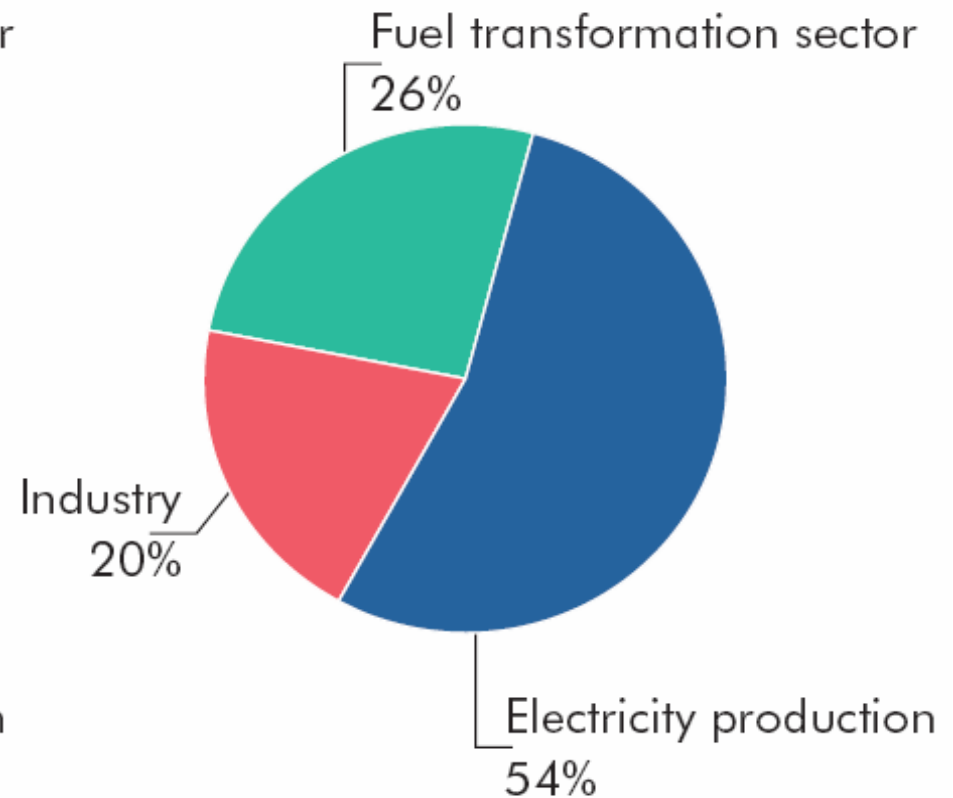
IEA - Energy Technology Perspectives 2008

CCS can play a key role outside the power sector

ACT Map 5.1 Gt CO₂ captured



BLUE Map 10.4 Gt CO₂ captured



CSLF (Carbon Sequestration Leadership Forum):

Iniziativa internazionale lanciata nel 2003 dagli USA

- **Political Group**
- **Technical group**

IPHE

EU 1) ZEP (Zero Emission Fossil Fuels Power Plants):

Coinvolti diversi stakeholder

2) EERA (European Energy Research Alliance)

IEA

 **COMITATO ZERO EMISSION: presso il MAP**

SOCI (promotori)

ENEA

OGS

Sotacarbo

Cesi Ricerca

Carbosulcis

INGV

Sigea

Industrial project Group Srl

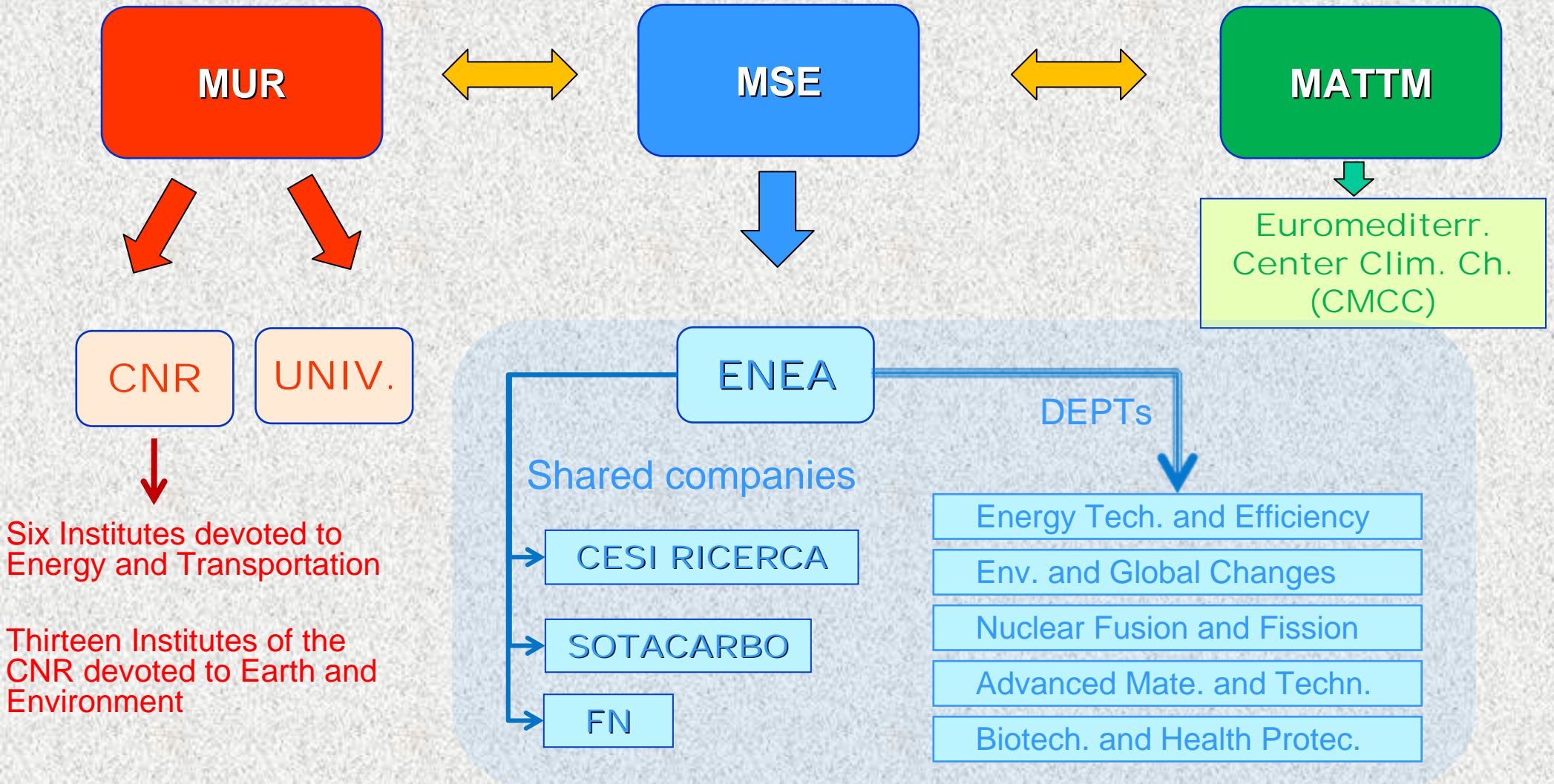
Università di Roma La Sapienza

Per informazioni e/o adesioni

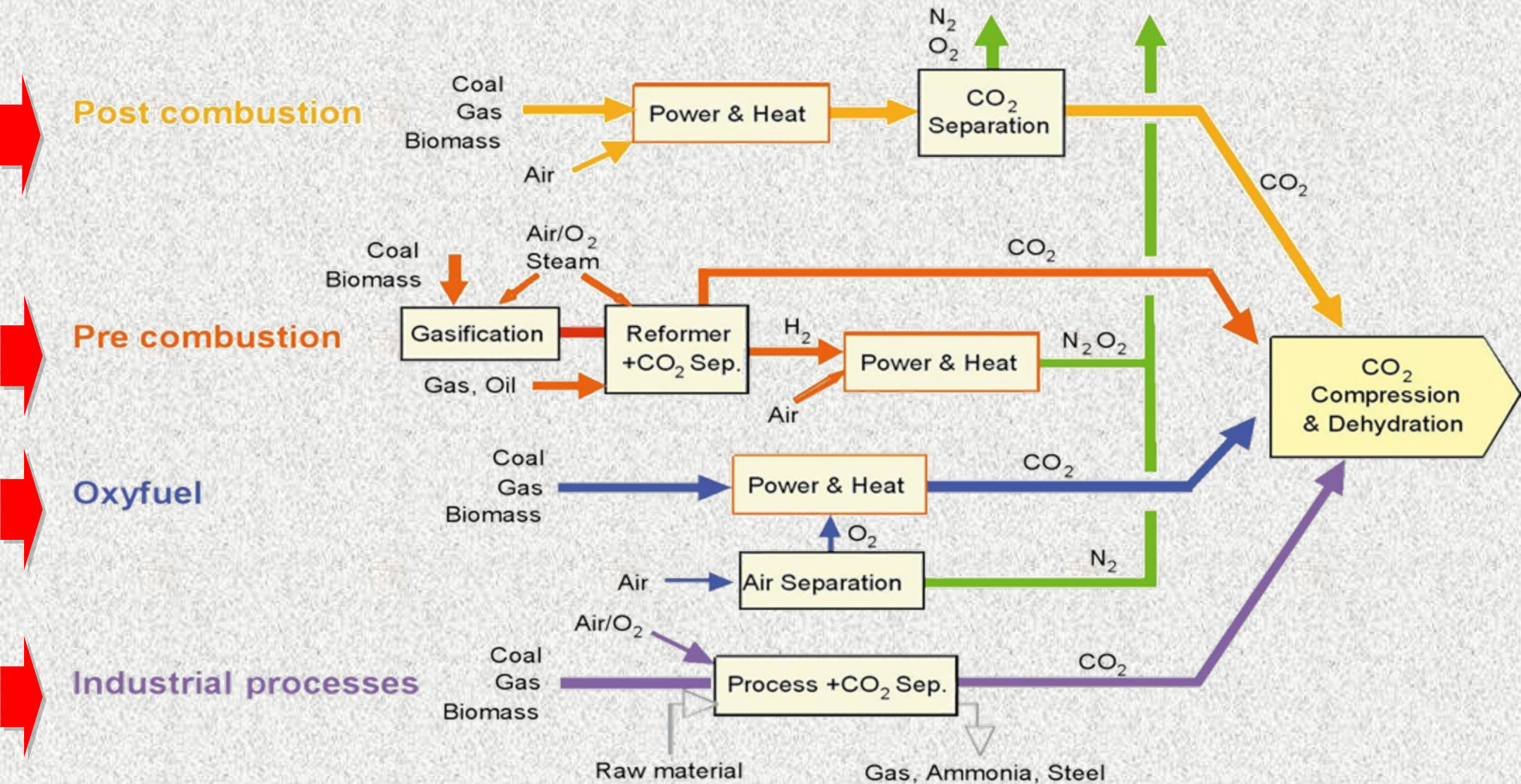
✓ Inviare un e-mail al
Segretariato:

spersoglia@ogs.trieste.it

ITALY: INSTITUTIONAL FRAMEWORK MAIN PUBLIC PLAYERS IN ENERGY RD&D



Panorama delle tecnologie CCS



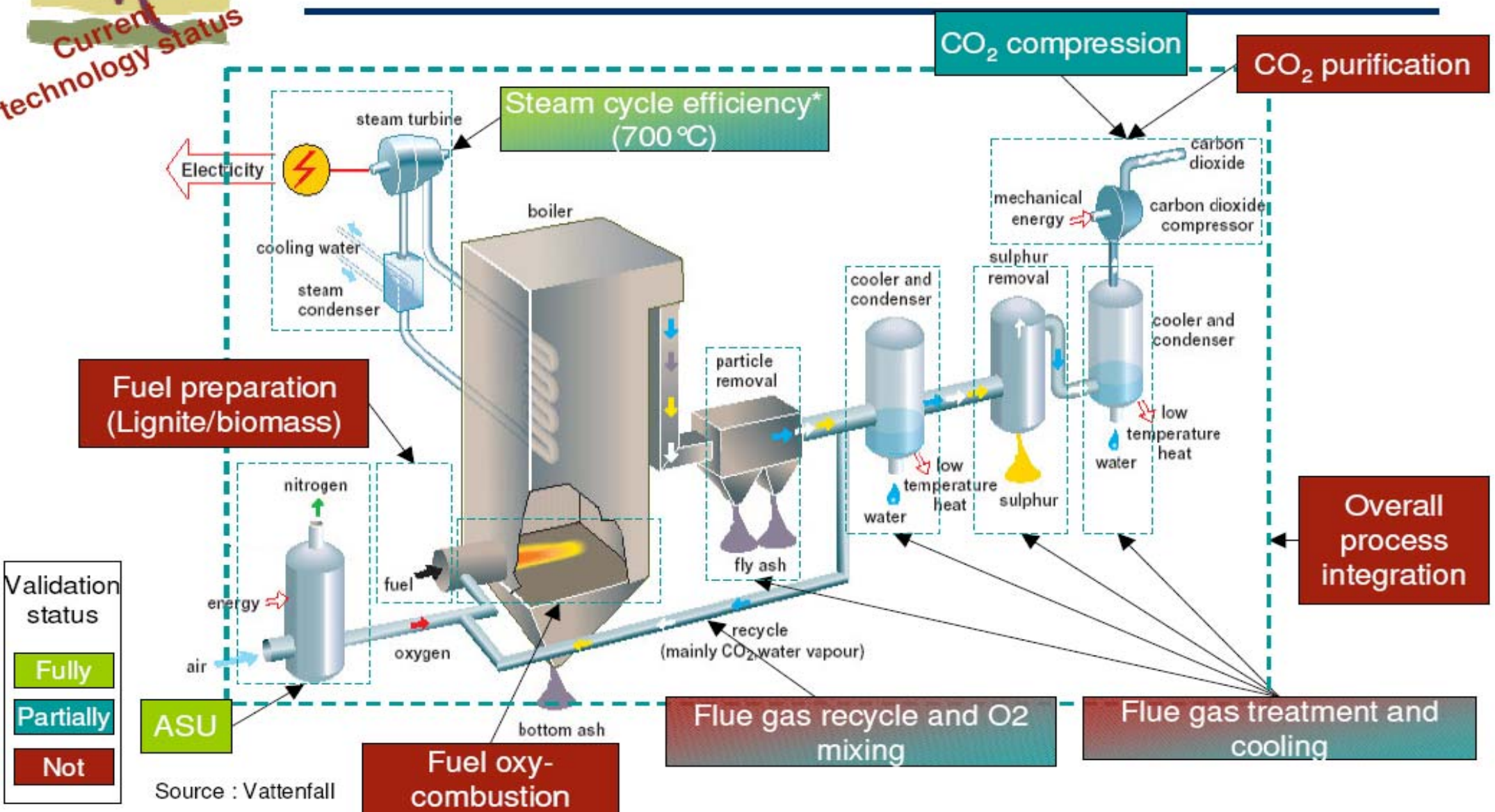
- **Processi con cattura della CO2 prima della combustione**
 - ❖ applicabili ad impianti NGCC e IGCC
 - ❖ possibilità di coproduzione di idrogeno
 - ❖ efficienza di rimozione 90%

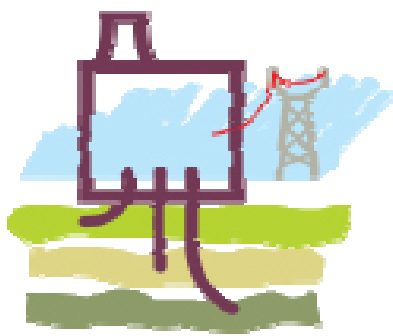
- **Processi con cattura della CO2 dopo la combustione**
 - ❖ applicabili a tutti gli impianti, anche quelli esistenti
 - ❖ perdite energetiche elevate
 - ❖ efficienze di rimozione 90%

- **Processi “Oxyfuel”**
 - ❖ applicabili a tutti, specialmente a quelli a combustione esterna esistenti
 - ❖ perdite energetiche dipendenti dall’ASU
 - ❖ elevata rimozione della CO2 (100%)



Oxyfuel technology blocks (boiler-based) – Current validation status





Oxyfuel technology blocks – Expected performance improvement

	Current validation	Expected by 2012
ASU	Fully	Fully
Fuel preparation (Lignite/Biomass)	Not	Partially
Fuel oxy-combustion	Not	Partially
Flue gas recycle and O ₂ mixing	Partially	Partially
Steam cycle efficiency (700 °C)	Partially	Partially
Flue gas treatment and cooling	Partially	Partially
Overall process integration	Not	Not
CO ₂ purification	Not	Not
CO ₂ compression	Partially	Partially

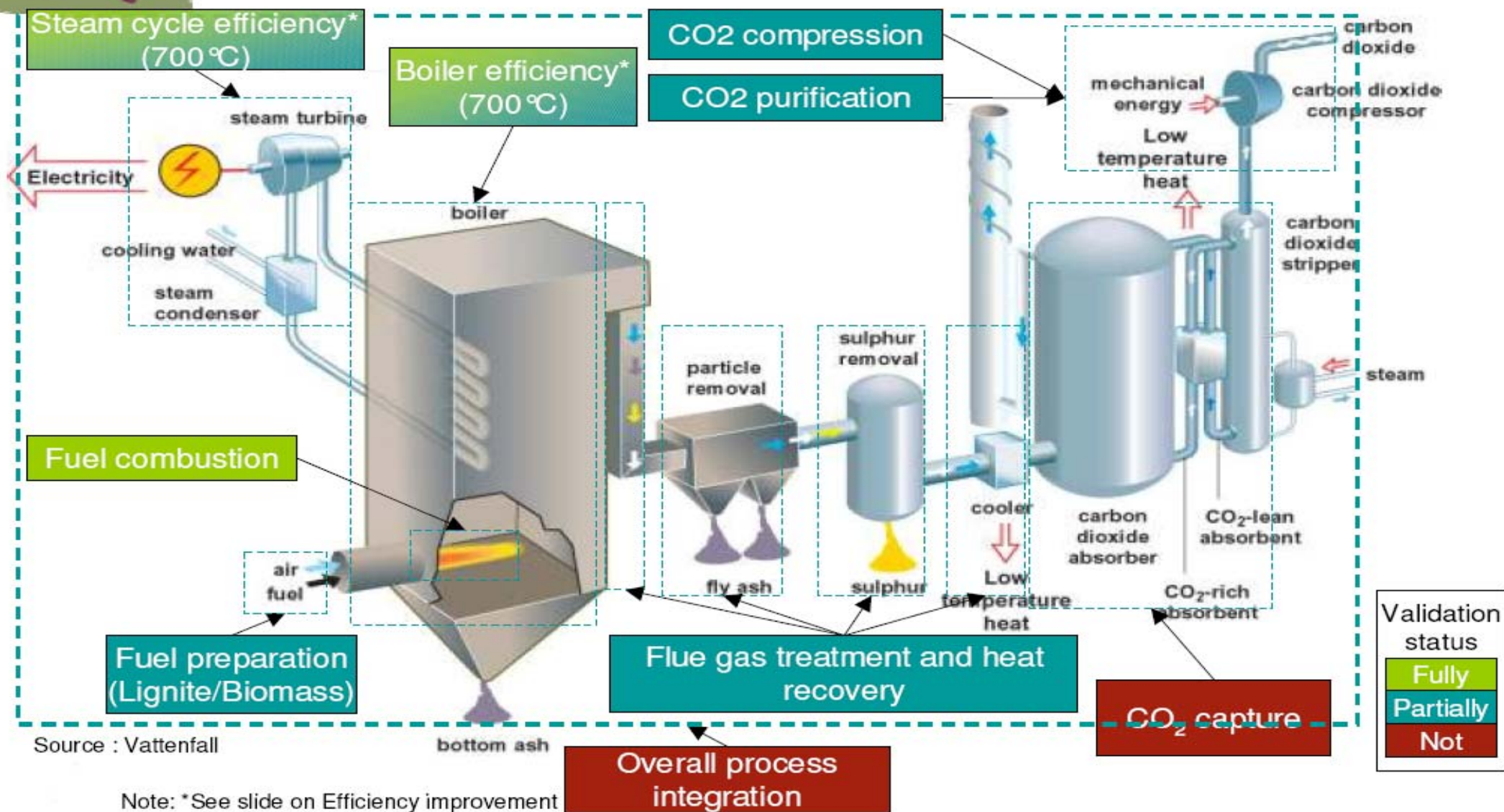


Major steps on fuel preparation, oxy combustion and flue gas recycle and treatment

Advances to be done mainly on high rank coal and gas

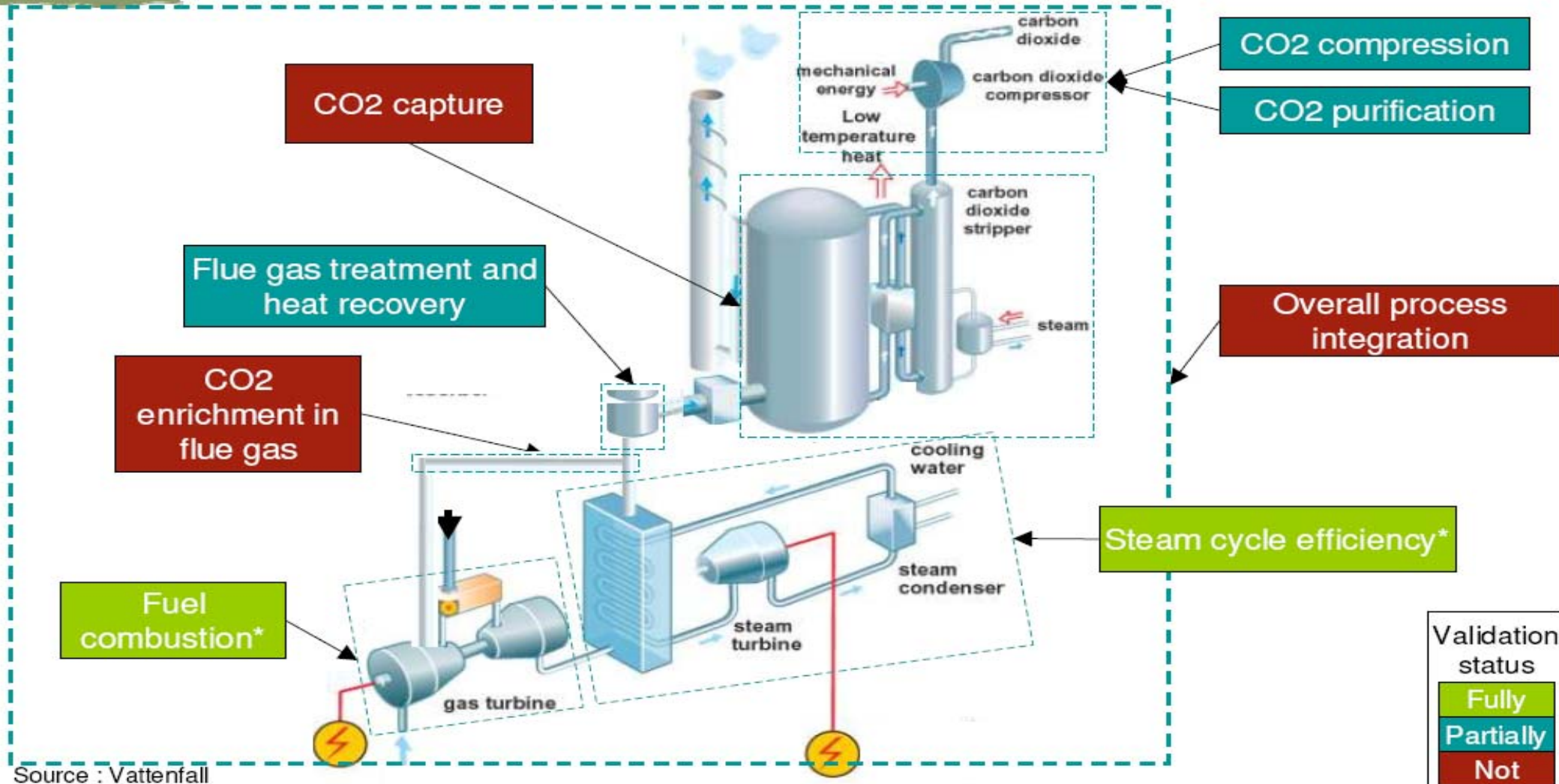
Validation status
Fully
Partially
Not

Post-combustion (boiler-based) – Current validation status





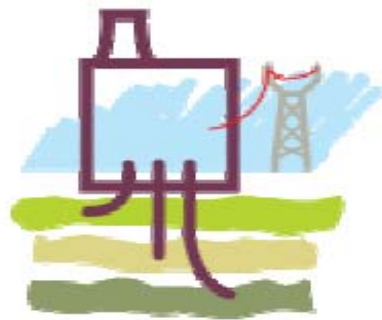
Post-combustion (GT-based) – Current validation status



Source : Vattenfall

Note: *See slide on Efficiency improvement

Validation status
Fully
Partially
Not



Post-combustion technology blocks – Expected performance improvement

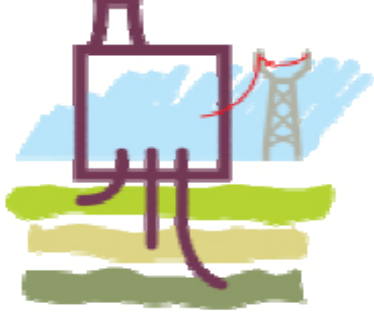
		Current validation	Expected by 2012	
Power production & CO ₂ capture	Fuel preparation	Partially	Partially	
	Com-bustion	Gas turbine	Fully	Fully
		Coal PC	Fully	Fully
		Lignite PC	Fully	Fully
		CFB	Fully	Fully
	CO ₂ enrichment in flue gas	Not	Not	
	Boiler efficiency	Partially	Partially	
	Steam cycle efficiency	Partially	Partially	
	Flue gas treatment and heat recovery	Partially	Partially	
	CO ₂ capture	Not	Partially	
	Overall process	Not	Not	
	CO ₂ purification	Partially	Partially	
CO ₂ compression	Partially	Partially		

Work on power island technology blocks mainly on low rank fuels and steam cycle performance enhancement

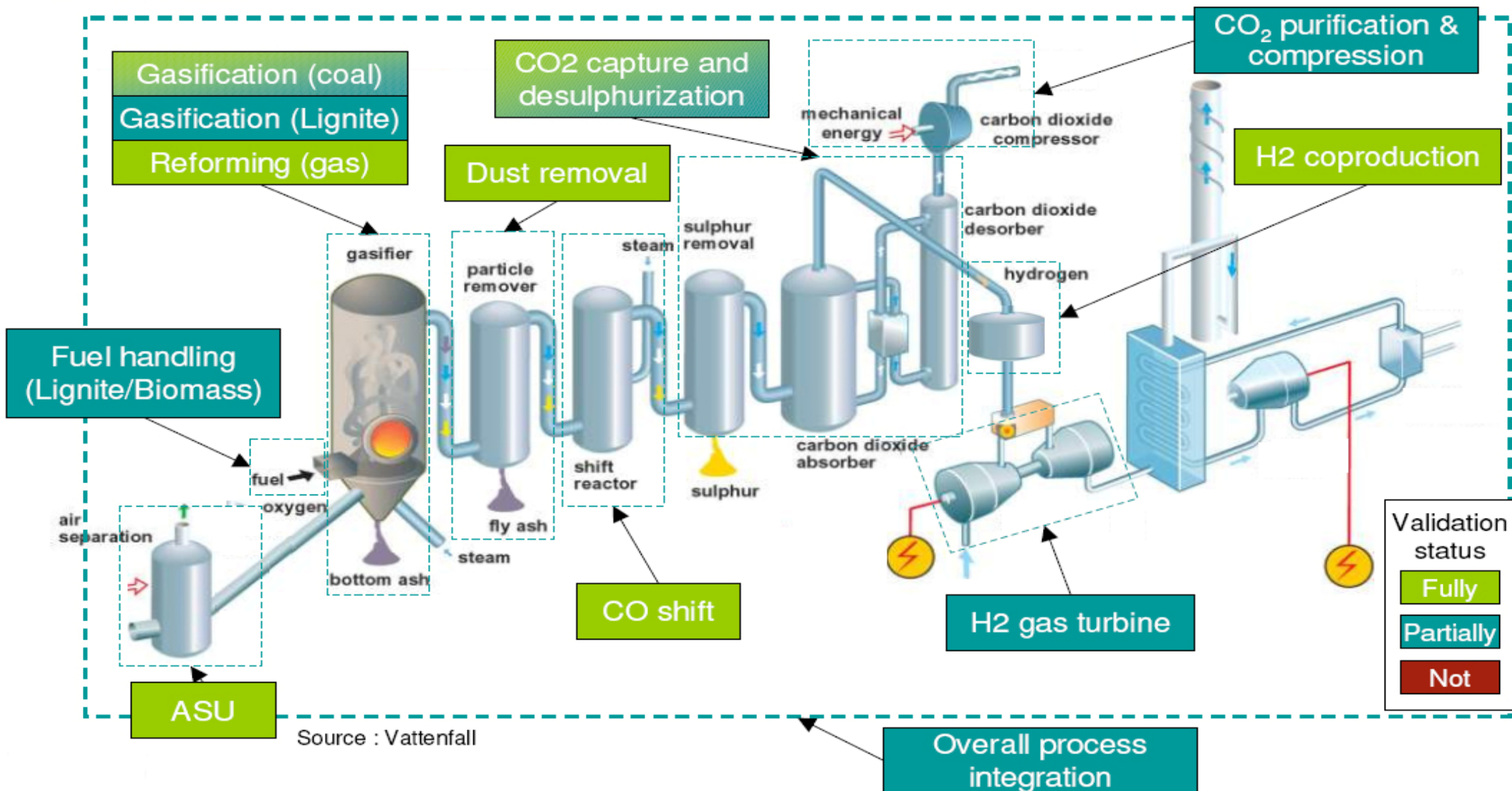
Main focus to be put on validation of capture and process integration blocks

Validation status

Fully
Partially
Not



Pre-combustion technology blocks – Current validation status



Validation status
Fully
Partially
Not



Pre-combustion technology blocks – Expected performance improvement

	Current validation	Expected by 2012
ASU	Fully	Fully
Fuel handling	Partially	Partially
Reforming (gas)	Fully	Fully
Gasification (coal)	Partially	Partially
Gasification (Lignite)	Partially	Partially
Dust removal	Fully	Fully
CO shift	Fully	Fully
CO ₂ capture and desulphurization	Partially	Partially
H ₂ coproduction	Fully	Fully
H ₂ gas turbine	Partially	Partially
Overall process integration	Partially	Partially
CO ₂ purification	Partially	Partially
CO ₂ compression	Partially	Partially



Validation more advanced than on other technologies

– Lignite/Biomass fuels only partially validated for the different technology blocks

Limited validation expected by 2012

Focus to be put on process integration

Validation status

Fully

Partially

Not

IMPIANTI ZERO EMISSION: CONTRIBUTO ENEA

OBIETTIVI NEI PROSSIMI ANNI:

- ➔ abbassare il **costo della CO2 evitata** a valori < 20 €/tCO₂;
- ➔ ridurre i costi di **investimento** degli impianti CCS;
- ➔ ridurre i **costi di esercizio** degli impianti CCS;
- ➔ ottenere elevata **disponibilità** in termini di ore/anno di esercizio;
- ➔ Contribuire ad una **crescita culturale complessiva** per favorire l'accettazione sociale e scelte più ragionate da parte dei decisori politici

COMUNICAZIONE E FORMAZIONE CULTURALE

Per concretizzare il ruolo dell'ENEA di “ente terzo” per accrescere la fiducia di cittadini ed amministratori locali, con attività di diffusione – corretta ed integrale – delle informazioni e di accrescimento della cultura impiantistica

LINEA DI AZIONE:

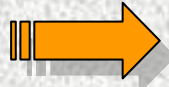
- ➔ affiancare alle competenze tecnologiche sulle CCS quelle di tecniche di comunicazione e di e-learning
- ➔ Corsi (Università)
- ➔ INIZIATIVE: club CO2, accordo IRES, proposta FP7

ENEA: RIFERIMENTI PROGRAMMATICI E FONTI DI FINANZIAMENTO

- ❖ Progetti con MUR (FISR H₂ + 297)
- ❖ Accordo di Programma con MSE
- ❖ Progetti MSE: Industria 2015 - Bandi
- ❖ Accordo ENEA/ENEL/ITEA
- ❖ Accordo ENEA/Ansaldo Energia
- ❖ Progetti europei (FP7)
- ❖ Partecipazione a iniziative internazionali
 - CSLF, ZEP, EERA, FRCA
- ❖ Associazioni nazionali e internazionali

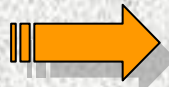
Progetti nazionali (pubblici) sulle CCS technologies: cattura

TEPSI



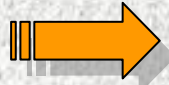
Studio e sperimentazione su ciclo innovativo ZECOMIX: idrogassificazione, cattura ad alta temperatura e combustione avanzata dell'idrogeno con tecnologie mild
Partners: ENEA, Ansaldo Ricerche, CIRPS

COHYGEN



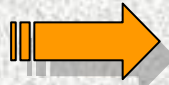
Realizzazione di una piattaforma sperimentale per la gassificazione del carbone, finalizzata alla produzione di idrogeno e alla cattura della CO₂, con sperimentazione di tecnologie innovative di desolforazione e CO-shift
Partners: Sotacarbo, ARI, ENEA, Università di Cagliari

CARBO_μGEN



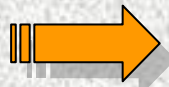
Produzione di Idrogeno da carbone per micro-generazione elettrica e micro-reti di distribuzione dell'idrogeno e del syngas
Partners: SOTACARBO, ENEA, CSM, Università di Cagliari, Ansaldo Ricerche, Ansaldo Fuel Cells

PRATO



Ottimizzazione su scala pre-industriale dei sistemi di separazione di e di confinamento geologico della CO₂ ad alto rendimento e basso costo.
Partners: SOTACARBO, ENEA, Techint, Università di Cagliari, POLIMI

FINE CO₂



Protocollo d'intesa: ITEA -SOTACARBO-ENEA-ANSALDO ENERGIA per l'utilizzo di un ossicombustore flameless utilizzato con carbone del Sulcis (ad alto contenuto di zolfo) e con sequestro della CO₂ con tecnologia ECBM

PRE-COMBUSTION: GASSIFICAZIONE CARBONE E H₂

IMPIANTO ZECOMIX PRESSO ENEA

IDRO - GASSIFICAZIONE

Coal Gasifier
50 kg/h

Decarbonization
Reactors

SEPARAZIONE CO₂ – H₂

TURBINE SYNGAS – H₂

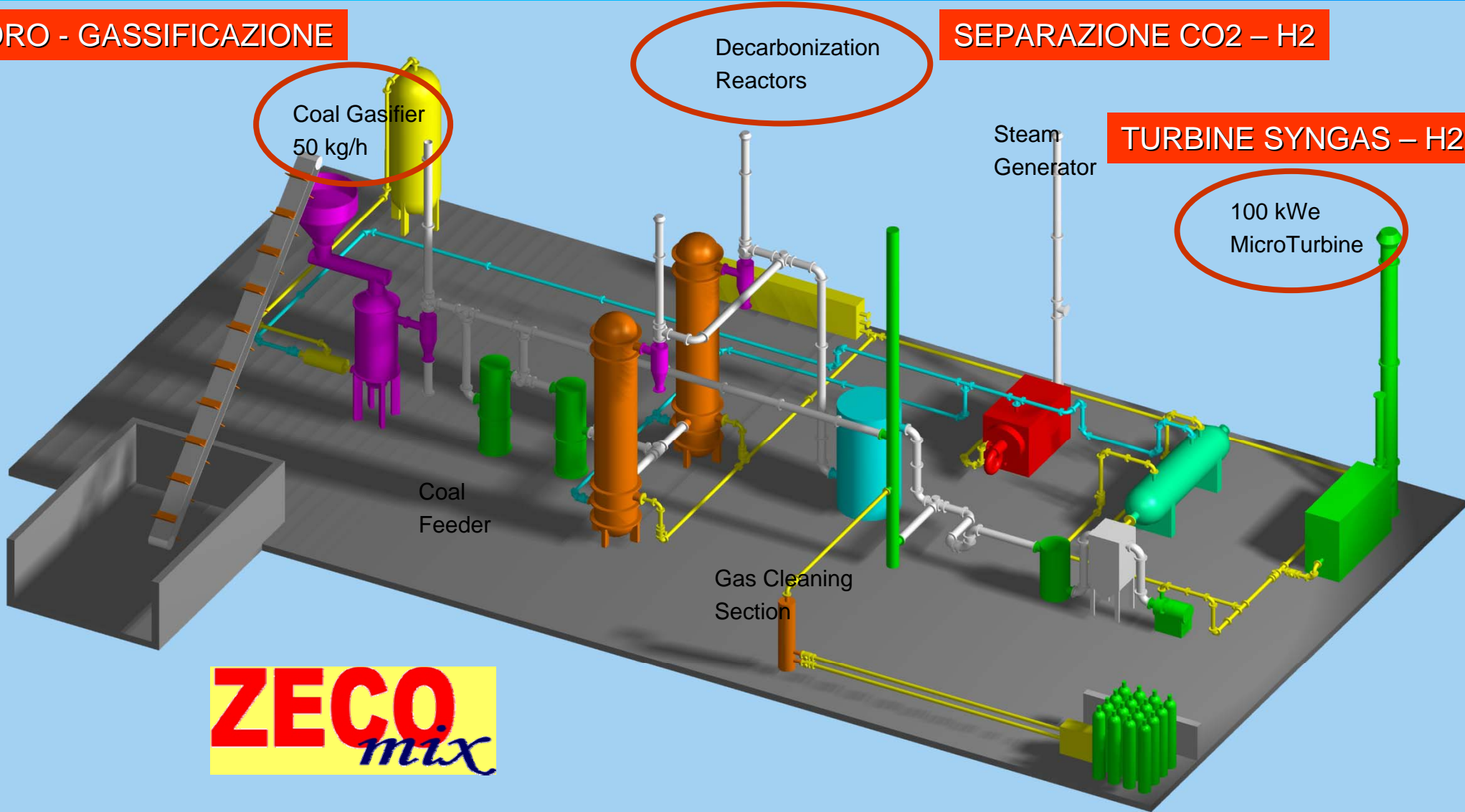
100 kWe
MicroTurbine

Coal
Feeder

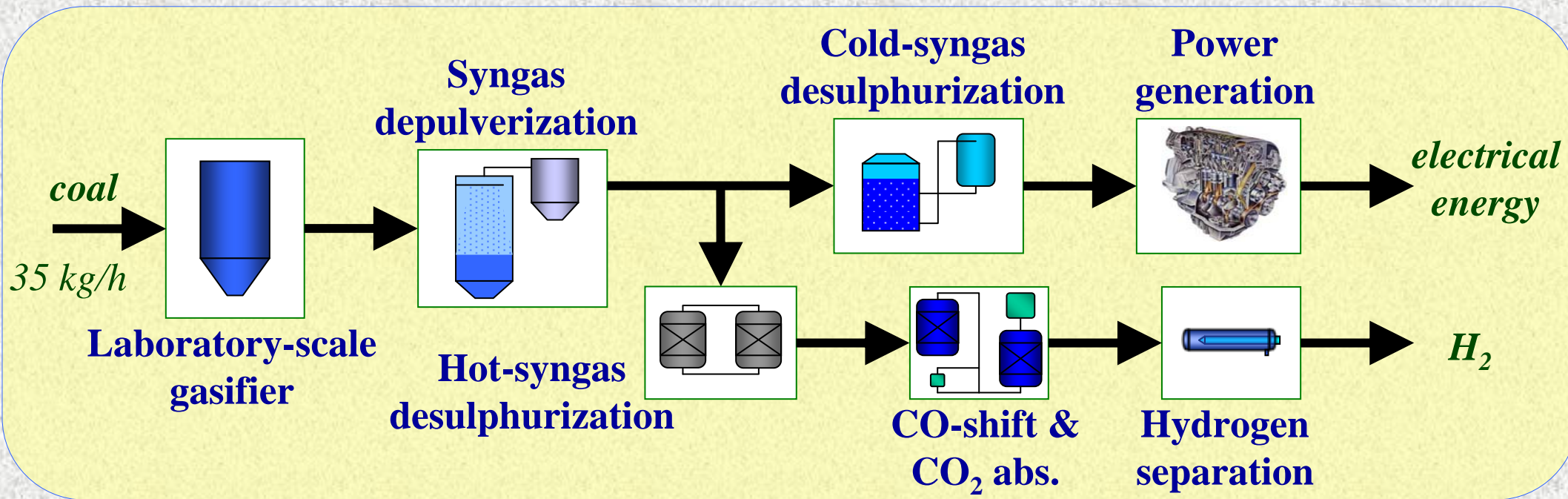
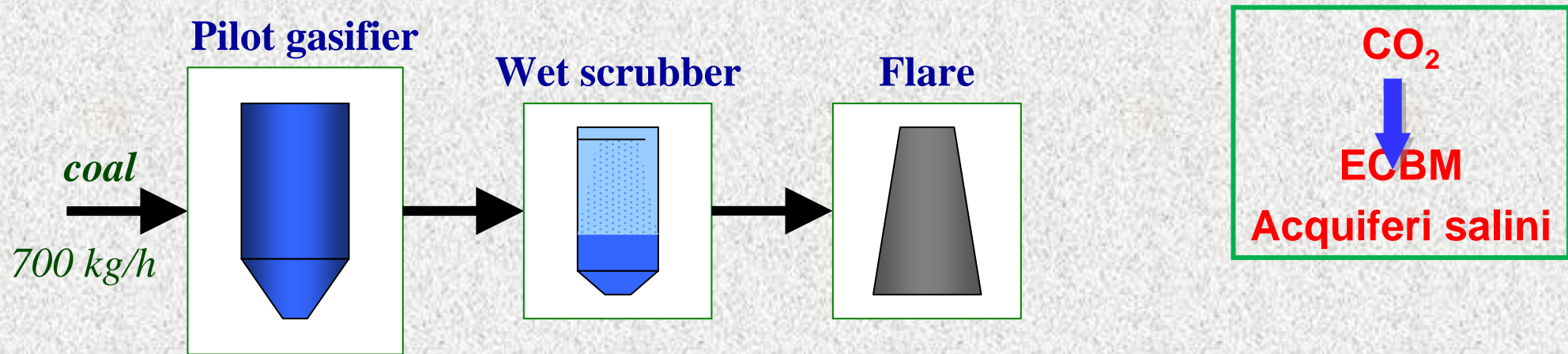
Gas Cleaning
Section

Steam
Generator

ZECO
mix



SOTACARBO: Progetto COHYGEN



Impianti termoelettrici di riferimento

Impianti a ciclo combinato (NGCC)

- Tecnologia più che matura
- Rendimenti elevati (oltre il 55%)
- Ottimo impatto ambientale
- Basso costo di impianto
- **Alto costo del combustibile**

Impianti a carbone supercritici e ultrasupercritici

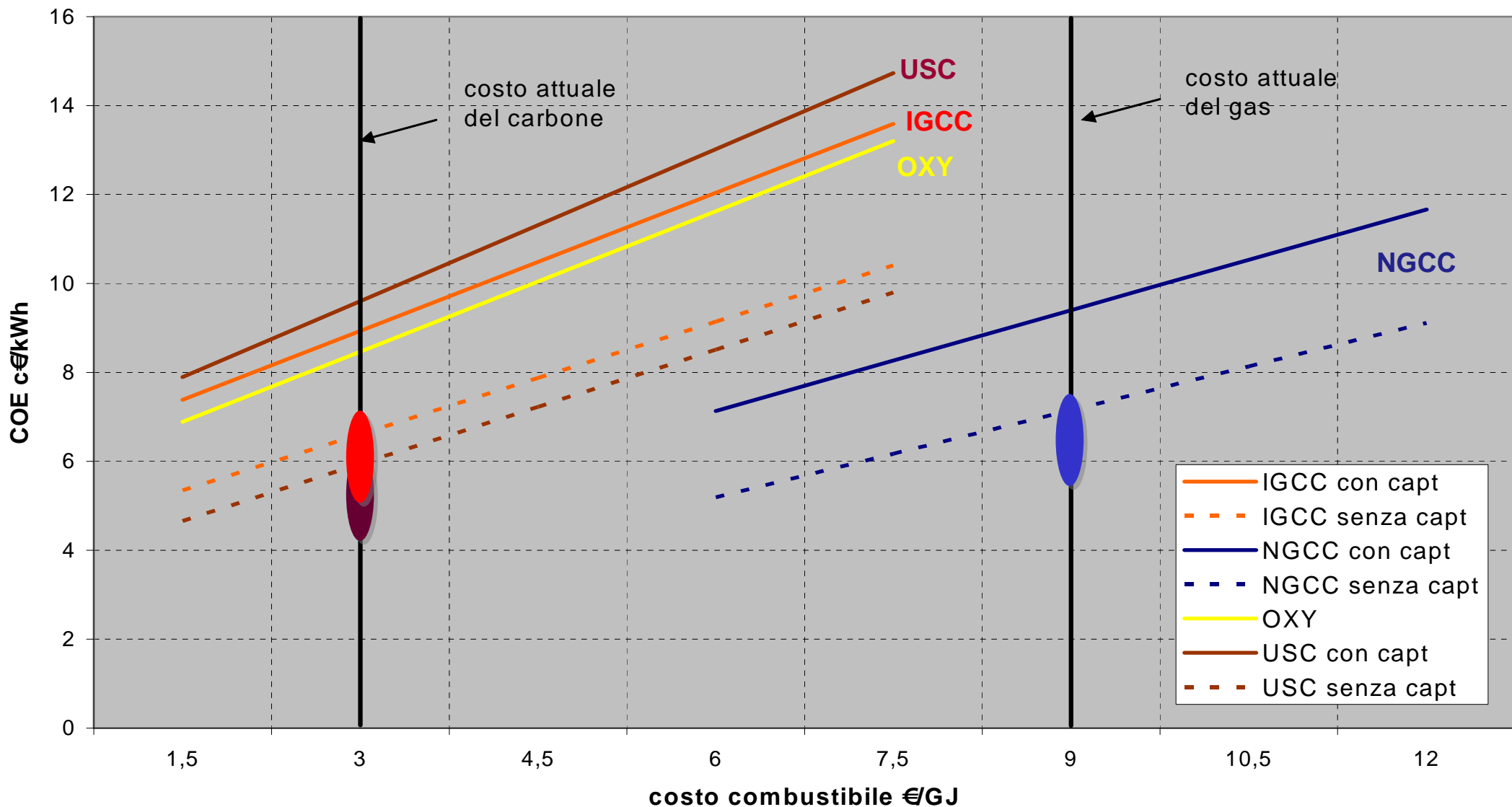
- **Maturità commerciale quasi raggiunta**
- Rendimenti elevati (45%, con gli USC fino al 50% entro il 2020)
- Ridotto impatto ambientale
- Basso costo del combustibile
- **Medio costo di impianto**

Impianti IGCC

- **Buona maturità commerciale**
- Ottimo impatto ambientale
- Buon rendimento ma con ampi margini di miglioramento (44%)
- Ottima integrazione con sistemi di cattura CO₂
- Basso costo del combustibile
- **Alti costi di impianto**

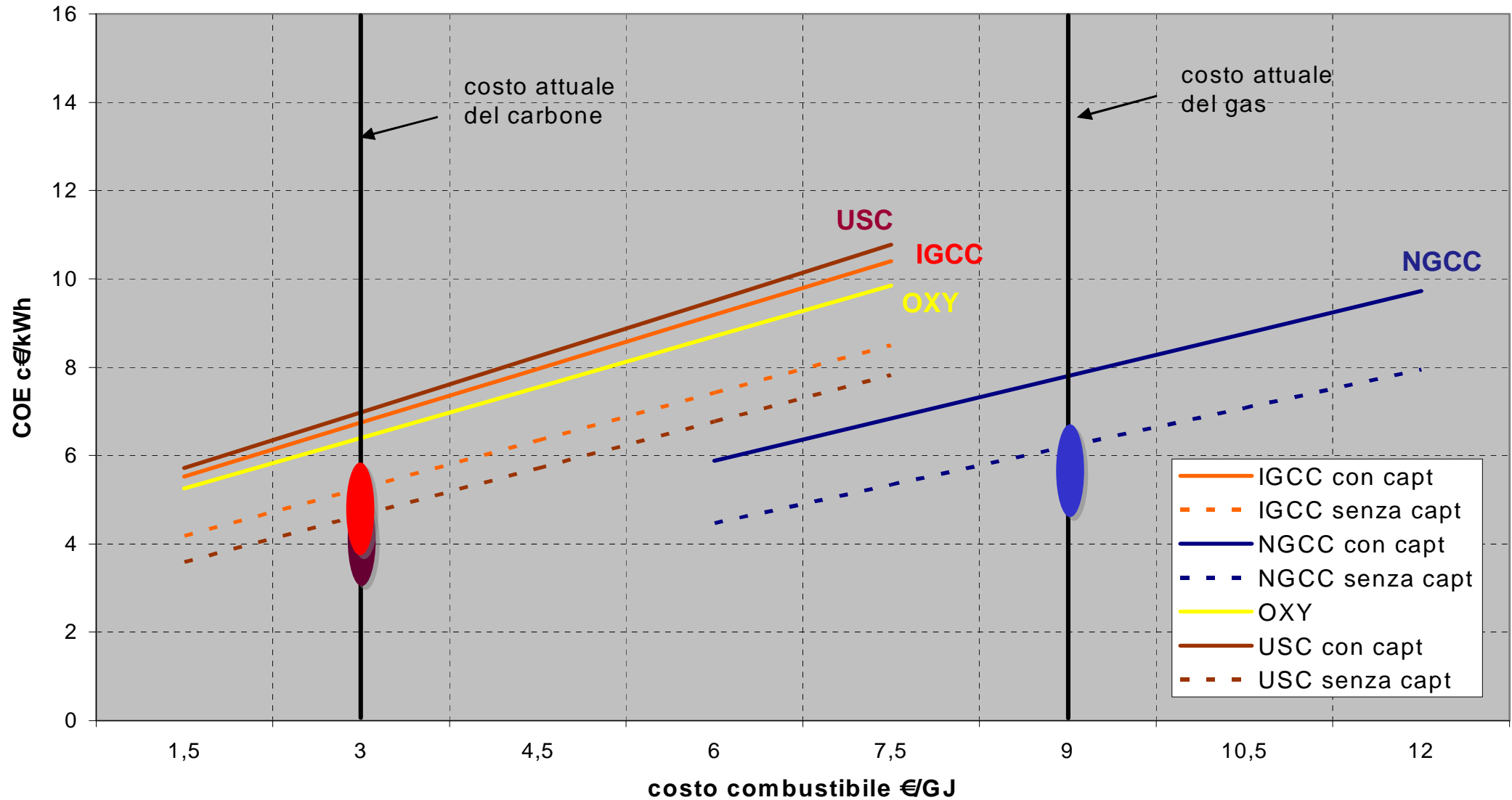
Analisi dei costi al variare del prezzo del combustibile attuale maturità

COE in funzione del costo del combustibile - tecnologia attuale



Analisi dei costi al variare del prezzo del combustibile alta maturità

COE in funzione del costo del combustibile - alta maturità commerciale



- Efficienza e Risparmio energetico**
- Fonti rinnovabili – Energia distribuita**
- Impianti Zero Emission (CCS)**



H2



Transizione → Impiego sostenibile dei combustibili fossili

INFORMAZIONE / FORMAZIONE
COINVOLGIMENTO E PARTECIPAZIONE

APPUNTAMENTO CONGRESSO CCS



<http://www.co2club.it>



CO₂ Capture: Pre/post/oxy combustion

Efficiency and Plant Integration

New and Unconventional Combustion Processes and Technologies

CO₂ Storage: Large Scale Demonstration Projects, and Impact of the Quality of CO₂

Technical and Political Remarks



BACK UP

Dati principali di funzionamento degli impianti energetici con e senza cattura

Tecnologia attuale		IGCC			USC			NGCC			OXYFUELLED		
		base	con cattura	delta	base	con cattura	delta	base	con cattura	delta	base	con cattura	delta
Potenza netta	MWe	500,00	460,17	-8,0%	500,00	408,46	-18,3%	500,00	460,61	-7,9%	500,00	500,00	0,0%
efficienza elettrica	%	42,70%	35,60%	-16,6%	41,80%	31,40%	-24,9%	55,40%	48,20%	-13,0%	41,80%	36,80%	-12,0%
Disponibilità	%	85,00%	77,00%	-9,4%	87,00%	80,00%	-8,0%	90,00%	85,00%	-5,6%	87,00%	80,00%	-8,0%
Portata combustibile	tonn/hr	145,36	160,463	10,4%	148,49	161,483	8,7%	64,98	68,804	5,9%	148,49	168,666	13,6%
Consumo annuo	Mtonn/yr	1.082,35	1082,355	0,0%	1.131,67	1131,675	0,0%	512,32	512,318	0,0%	1.131,67	1182,009	4,4%
Energia annua prod.	GWh	3.723	3.104	-16,6%	3.811	2.863	-24,9%	3.942	3.430	-13,0%	3.811	3.504	-8,0%
Efficienza di separazione	%	0,00%	88,00%	--	0,00%	85,00%	--	0,00%	85,00%	--	0,00%	90,00%	--
CO2 emessa	tonn/yr	2.817.730	338.128	-88,0%	2.946.126	441.919	-85,0%	1.408.874	211.331	-85,0%	2.946.126	307.716	-89,6%
	kg/kWh	0,757	0,109	-85,6%	0,773	0,154	-80,0%	0,357	0,062	-82,8%	0,773	0,088	-88,6%
CO2 evitata	tonn/yr	0	2.479.603	--	0	2.504.207	--	0	1.197.543	--	0	2.638.410	--
	kg/kWh		0,799	--		0,875	--		0,349	--		0,753	--

Tecnologia al 2020		IGCC			USC			NGCC			OXYFUELLED		
		base	con cattura	delta	base	con cattura	delta	base	con cattura	delta	base	con cattura	delta
Potenza netta	MWe	500,00	445,76	-10,8%	500,00	404,84	-19,0%	500,00	471,55	-5,7%	500,00	500,00	0,0%
efficienza elettrica	%	50,00%	42,10%	-15,8%	51,00%	39,00%	-23,5%	62,00%	54,70%	-11,8%	51,00%	43,20%	-15,3%
Disponibilità	%	90,00%	85,00%	-5,6%	90,00%	85,00%	-5,6%	93,00%	87,00%	-6,5%	90,00%	85,00%	-5,6%
Portata combustibile	kg/hr	124,14	131,440	5,9%	121,70	128,863	5,9%	58,06	62,069	6,9%	121,70	143,678	18,1%
Consumo annuo	tonn/yr	978,70	978,703	0,0%	959,51	959,513	0,0%	473,04	473,040	0,0%	959,51	1069,828	11,5%
Energia annua prod.	GWh	3.942	3.319	-15,8%	3.942	3.014	-23,5%	4.073	3.594	-11,8%	3.942	3.723	-5,6%
Efficienza di separazione	%	0,00%	93,00%	--	0,00%	90,00%	--	0,00%	90,00%	--	0,00%	95,00%	--
CO2 emessa	tonn/yr	2.547.891	178.352	-93,0%	2.497.933	249.793	-90,0%	1.300.860	130.086	-90,0%	2.497.933	139.256	-94,4%
	kg/kWh	0,646	0,054	-91,7%	0,634	0,083	-86,9%	0,319	0,036	-88,7%	0,634	0,037	-94,1%
CO2 evitata	tonn/yr	0	2.369.539	--	0	2.248.139	--	0	1.170.774	--	0	2.358.677	--
	kg/kWh		0,714	--		0,746	--		0,326	--		0,634	--

Analisi dei costi delle tecnologie – dati 2007

tecnologia attuale		IGCC		USC		NGCC		OXYFUELLED	
		base	con cattura	base	con cattura	base	con cattura	base	con cattura
Costi capitale									
costo specifico (SCI)	€/kW	1395	1881	1151	1976	536	998	1151	1690
Costo totale (OC)	M€	697.500	865.584	575.500	807.123	268.000	459.686	575.500	845.000
fattore di ammort. (DR)	%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%
Costo specifico al kWh	c/kWh	1,87	2,79	1,51	2,82	0,68	1,34	1,51	2,41
	% su OC	9,0%	6,0%	9,0%	6,0%	6,0%	6,0%	9,0%	6,0%
O&M e altro	M€	62.775	72.860	51.795	65.692	16.080	27.581	51.795	67.965
	c/kWh	1,69	2,35	1,36	2,29	0,41	0,80	1,36	1,94
Costi variabili									
costo combustibile	€/tonn	43,5	43,5	43,5	43,5	300	300	43,5	43,5
	€/GJ	1,5	1,5	1,5	1,5	6	6	1,5	1,5
	c/kWh	1,26	1,52	1,29	1,72	3,90	4,48	1,29	1,47
chemicals/smaltimento scorie	c/kWh	0,03	0,08	0,06	0,09	0,01	0,05	0,06	0,06
Carbon Tax	€/tonCO2	0	0	0	0	0	0	0	0
	c€/kWh	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale Costi variabili	c€/kWh	1,29	1,60	1,35	1,81	3,91	4,53	1,35	1,53
COE	c€/kWh	4,85	6,73	4,22	6,92	5,00	6,68	4,22	5,88
MC solo cattura	€/tonCO2	0,00	28,99	0,00	43,68	0,00	56,77	0,00	24,18
trasporto+ storage	€/tonCO2	0	3	0	3	0	3	0	3
MC totale	€/tonCO2	0,00	31,99	0,00	46,68	0,00	59,77	0,00	27,33

Analisi dei costi delle tecnologie – dati 2008

tecnologia attuale		IGCC		USC		NGCC		OXYFUELLED	
		base	con cattura	base	con cattura	base	con cattura	base	con cattura
Costi capitale									
costo specifico (SCI)	€/kW	1395	1881	1151	1976	536	998	1151	1690
Costo totale (OC)	M€	697.500	865.584	575.500	807.123	268.000	459.686	575.500	845.000
fattore di ammort. (DR)	%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%	10,0%
Costo specifico al kWh	c/kWh	1,87	2,79	1,51	2,82	0,68	1,34	1,51	2,41
	% su OC	9,0%	6,0%	9,0%	6,0%	6,0%	6,0%	9,0%	6,0%
O&M e altro	M€	62.775	72.860	51.795	65.692	16.080	27.581	51.795	67.965
	c/kWh	1,69	2,35	1,36	2,29	0,41	0,80	1,36	1,94
Costi variabili									
costo combustibile	€/tonn	87	87	87	87	450	450	87	87
	€/GJ	3	3	3	3	9	9	3	3
	c/kWh	2,53	3,03	2,58	3,44	5,85	6,72	2,58	2,93
chemicals/smaltimento									
scorie	c/kWh	0,03	0,08	0,06	0,09	0,01	0,05	0,06	0,06
Carbon Tax	€/tonCO2	0	0	0	0	0	0	0	0
	c€/kWh	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale Costi variabili	c€/kWh	2,56	3,11	2,64	3,53	5,86	6,77	2,64	2,99
COE	c€/kWh	6,12	8,25	5,51	8,64	6,95	8,92	5,51	7,35
MC solo cattura	€/tonCO2	0,00	32,89	0,00	50,60	0,00	66,61	0,00	26,74
trasporto+ storage	€/tonCO2	0	3	0	3	0	3	0	3
MC totale	€/tonCO2	0,00	35,89	0,00	53,60	0,00	69,61	0,00	29,89

La Ricerca Pubblica sulle tecnologie CCS

- **ENEA** - new cycle, high efficiency, no emissions
- advanced approach for coal combustion and gasification
- **SOTACARBO** - gasification coal platform
- ECBM for CO2 storage
- **CESI Ricerche** improvement in USC plants
R&D on CO2 capture (high temp. membrane)
- **Universities** support to model critical processes in coal power plant
- **OGS** - CO2 Storage: several studies and activities
- **INGV** - CO2 Storage: several studies and activities
- **CARBOSULCIS** - ECBM and Acquifers CO2 storage:
demonstration on – and under - Sulcis basin

La Ricerca sulla Oxy Combustion

➤ ENEL

- preliminary tests
- Demonstration plant design and testing

➤ ITEA

- process development and preliminary testing

➤ ENEA

- advanced diagnostics and simulation
- cycle analysis

- Universities support to model critical processes in coal power plant

- OGS - CO2 Storage

- INGV - CO2 Storage

➤ ANSALDO, ENGINEERING COMPANIES