



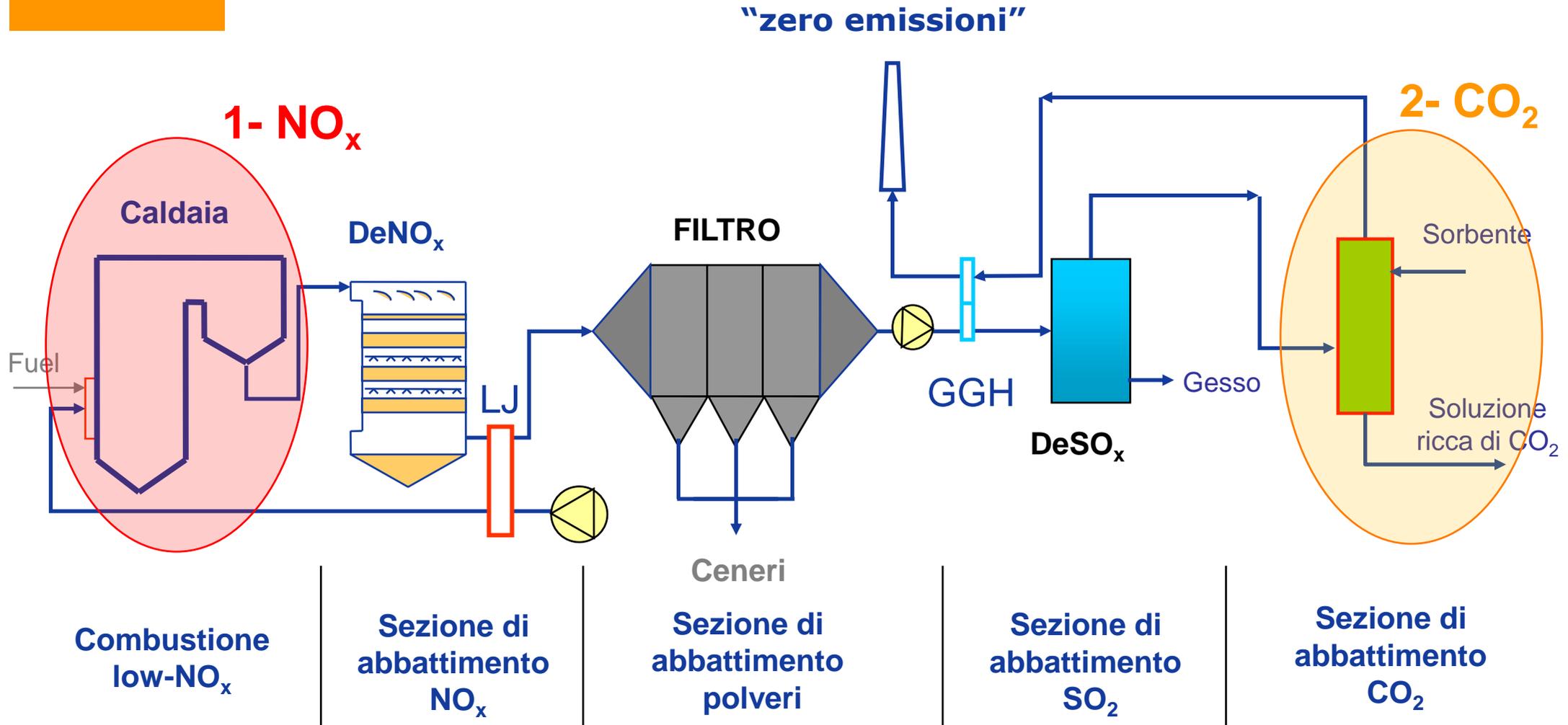
Il contributo della chimica per una generazione a “zero emissioni”: focus su NO_x e CO_2

Sauro Pasini

Enel Ingegneria e Innovazione - Ricerca

Roma, 21 giugno 2011

Schema di un impianto di potenza avanzato

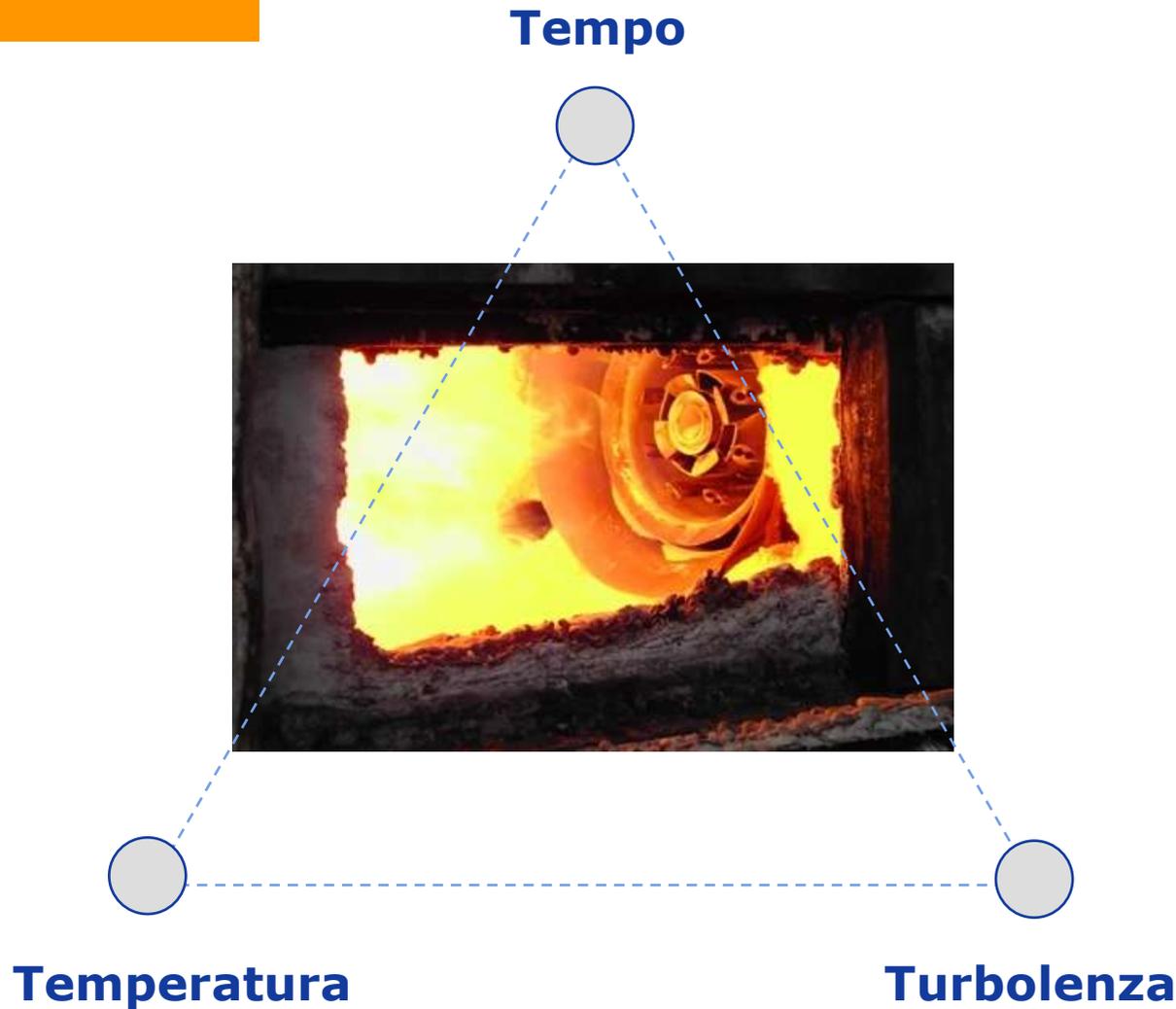


Focus:

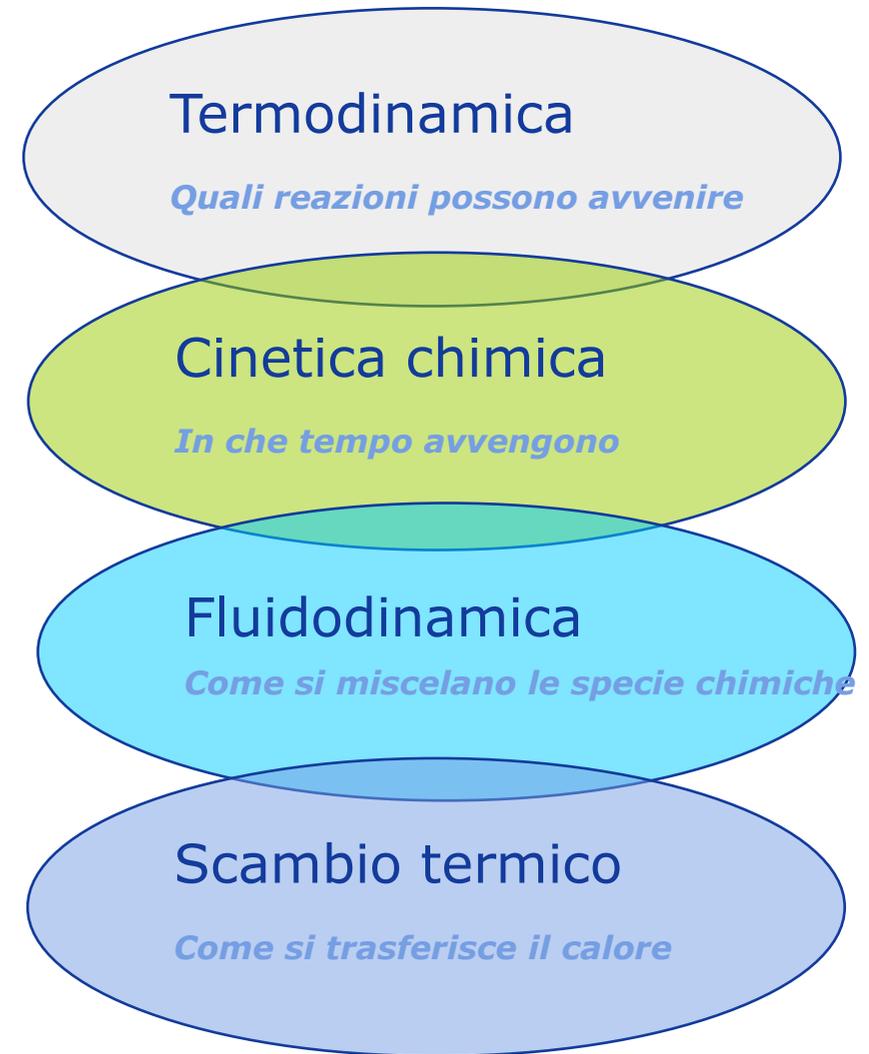
- 1. La riduzione degli ossidi di azoto durante la combustione**
- 2. La cattura della CO₂ nei fumi di combustione**



La combustione: un fenomeno complesso



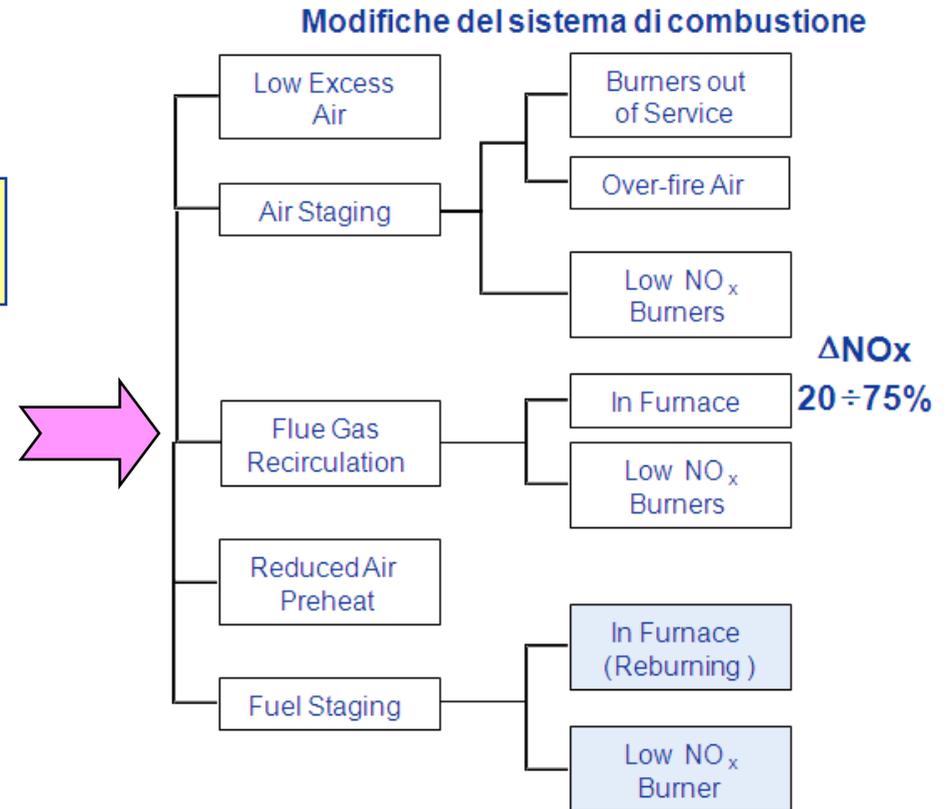
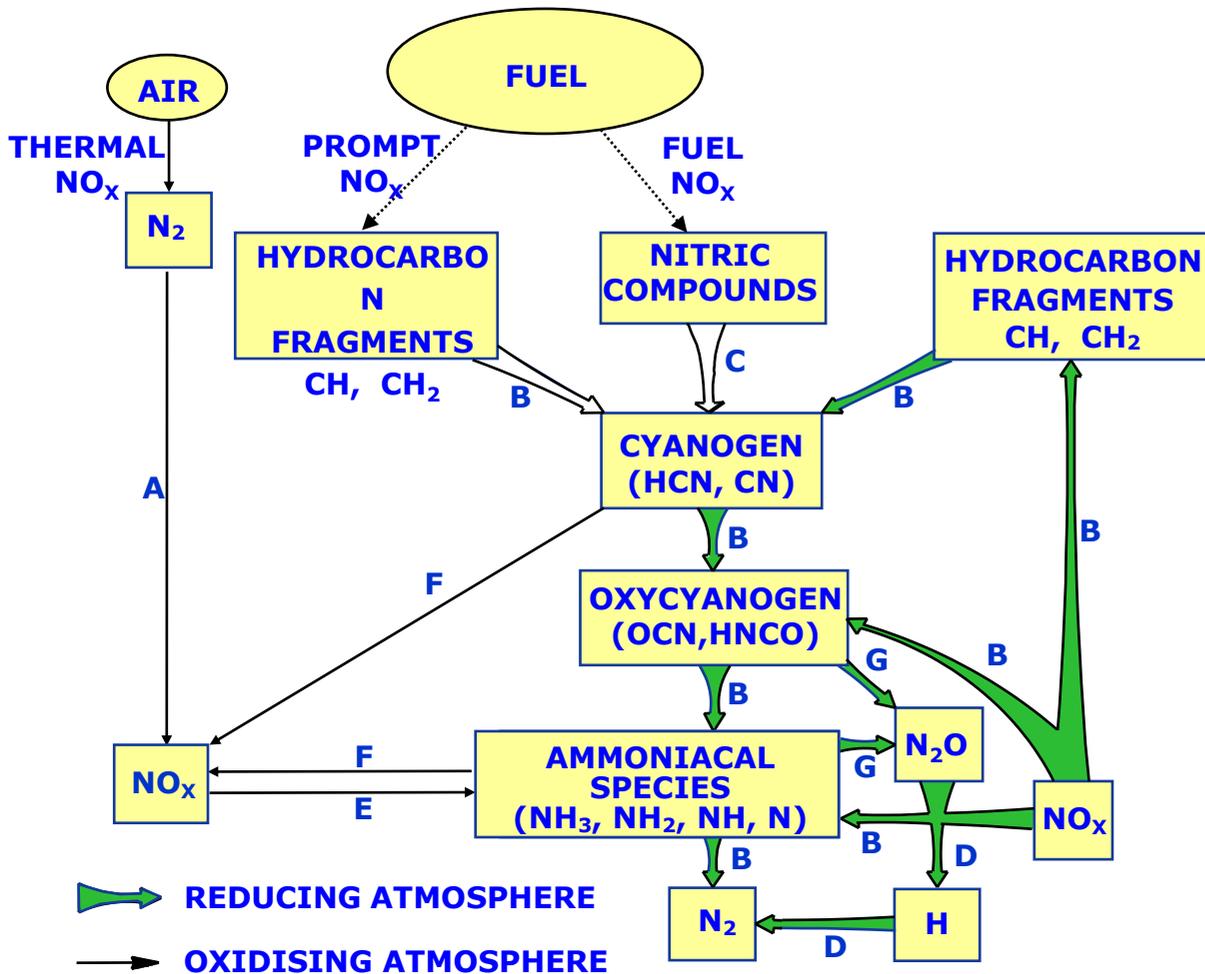
Il triangolo del fuoco



I fenomeni in gioco

Opzioni per abbattere i NO_x nei sistemi di combustione

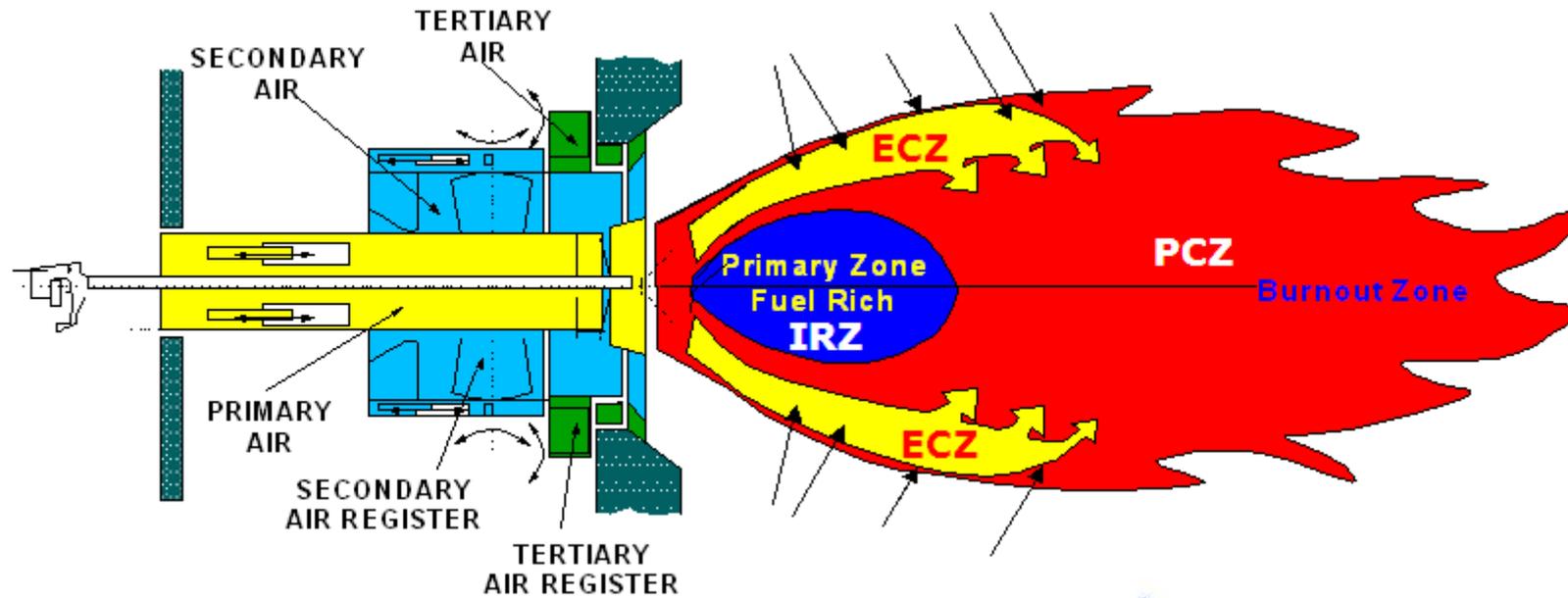
Cinetica formazione/distruzione NO_x



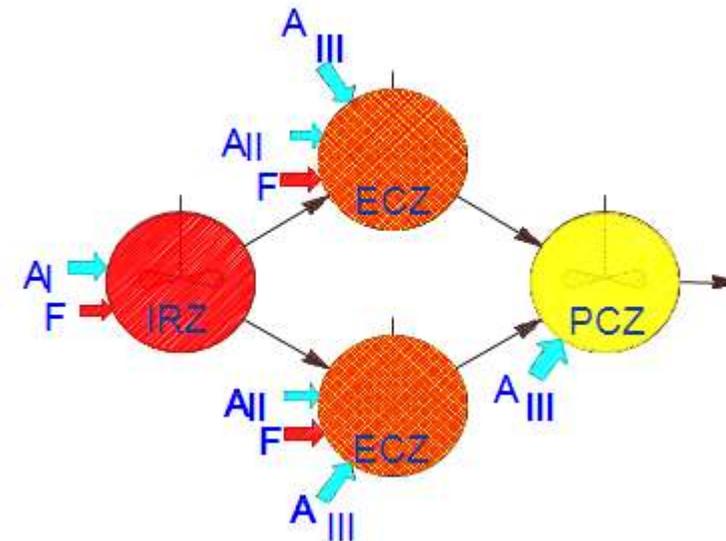
La cinetica dei NO_x è determinata da cammini di reazione reversibili e in competizione, che possono essere influenzati agendo sulle condizioni di combustione



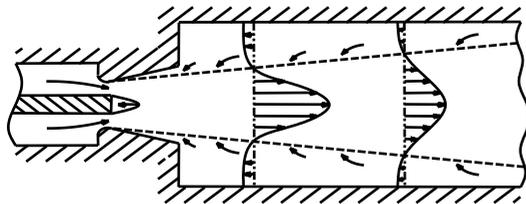
Il controllo dei NO_x nel bruciatore



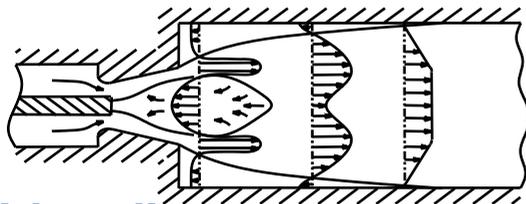
**L'idea:
ossidare senza ossidare!**



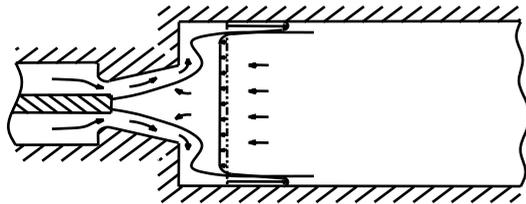
Come agire sulla reattoristica di fiamma



Swirl basso

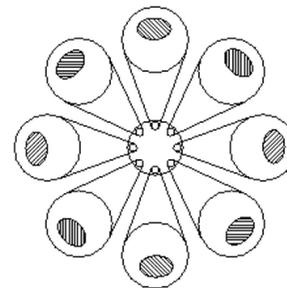
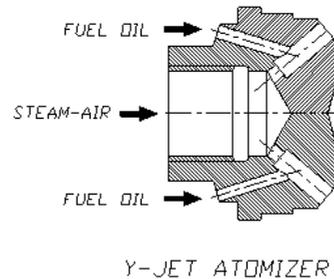


Swirl medio

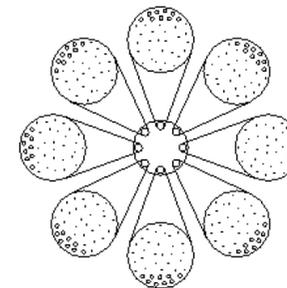


Swirl alto

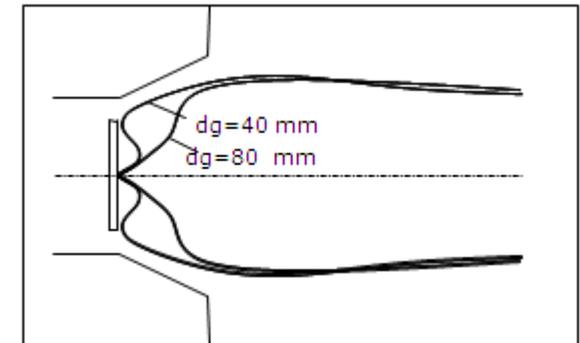
**Aerodinamica di fiamma
(numero di Swirl)**



CONCENTRATION MAP



DROP SIZE MAP

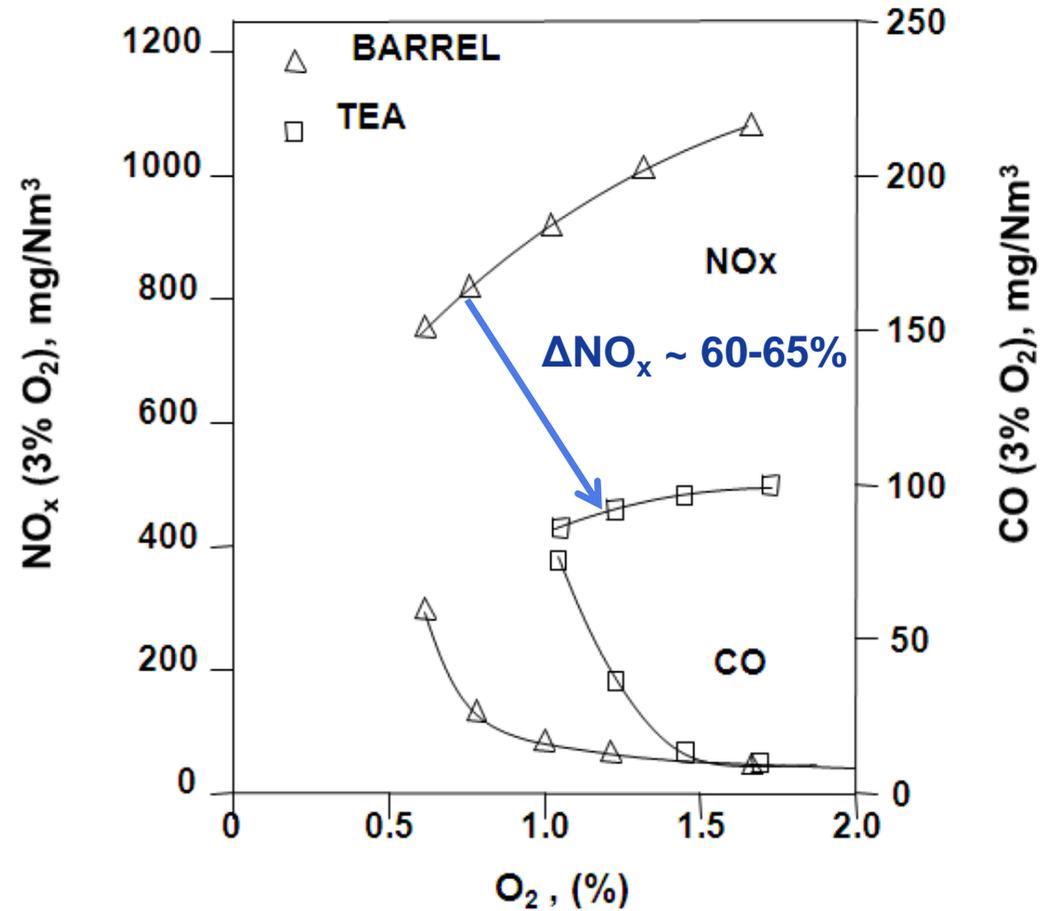
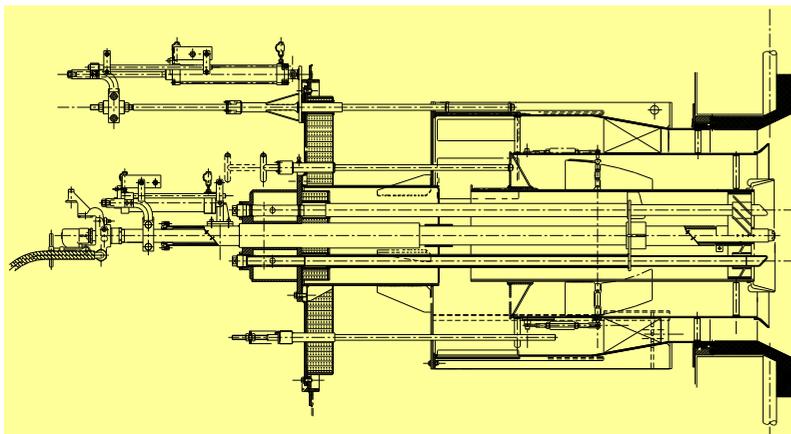
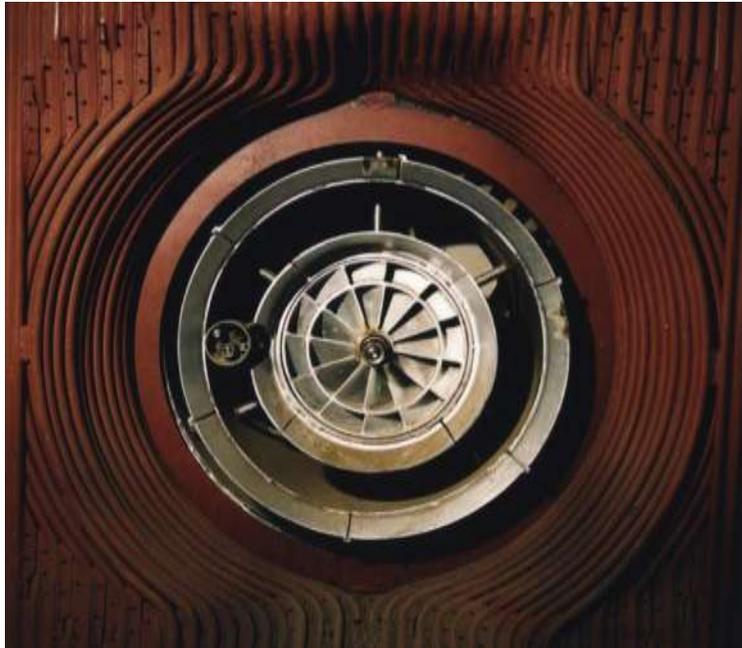


**Caratteristiche Atomizzazione
Dimensioni gocce, velocità, angolo di spray**

Agendo sulle caratteristiche aerodinamiche del bruciatore e del sistema di iniezione del combustibile è possibile realizzare una struttura di fiamma in grado di ridurre la formazione di NO_x

Bruciatori Low-NO_x per caldaie frontali: olio

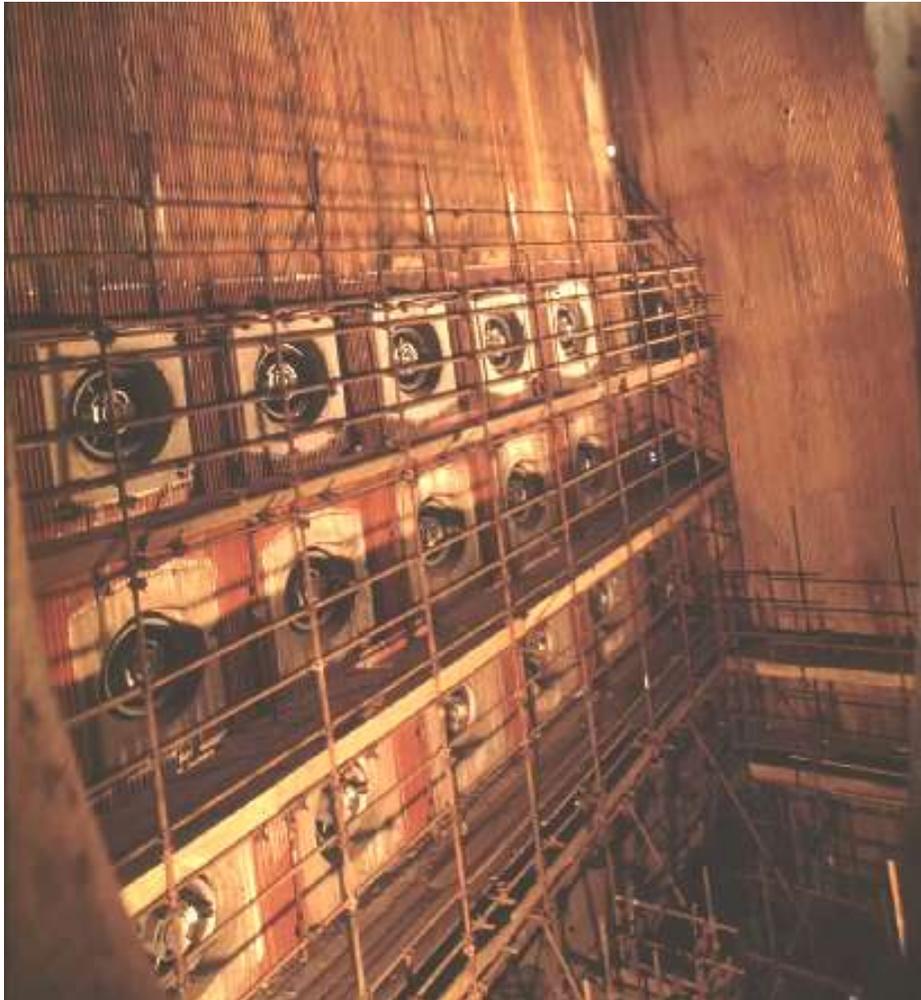
Bruciatore TEA (Triflusso Enel Ansaldo) per olio



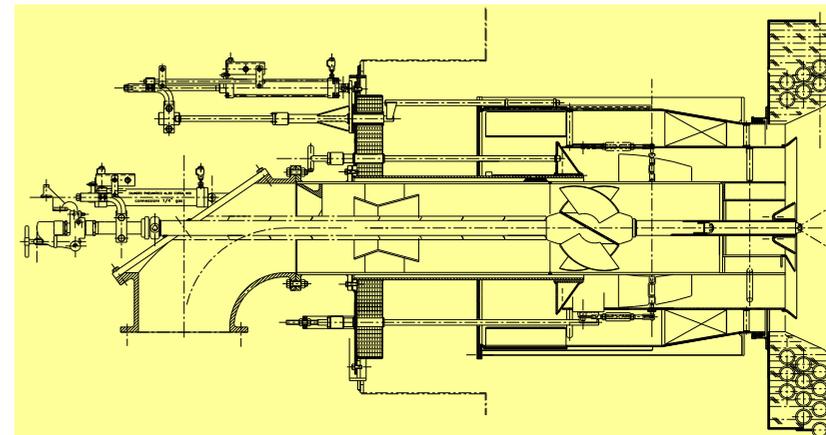
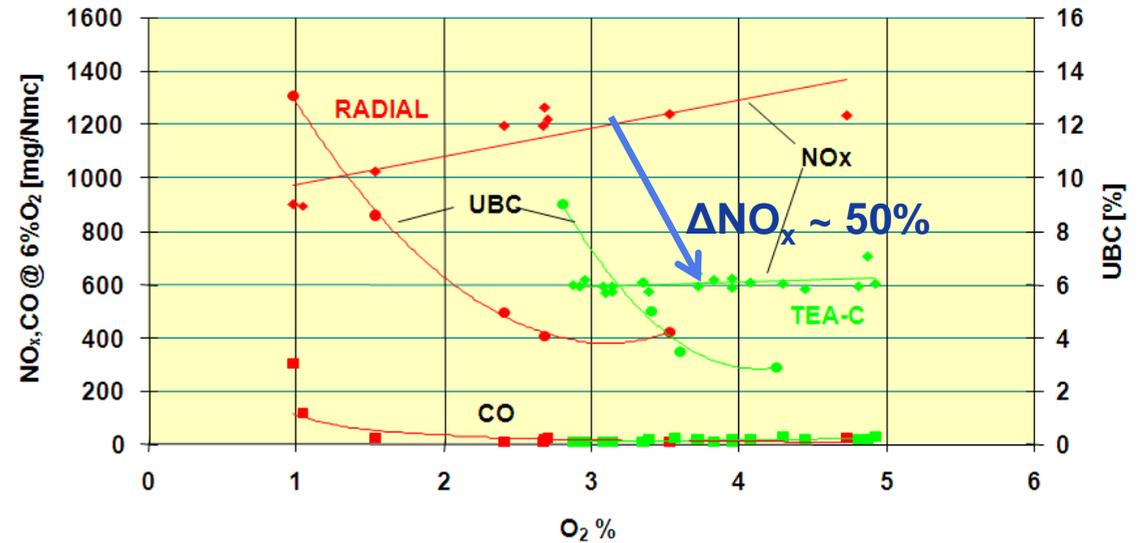
NO_x < 450 mg/Nm³ olio
NO_x < 250 mg/Nm³ gas
Circa 4200 MWe installati

Bruciatori Low-NO_x per caldaie frontali: carbone

Bruciatore TEA-C (Triflusso Enel Ansaldo) per carbone



Centrale del Sulcis, 250 MWe

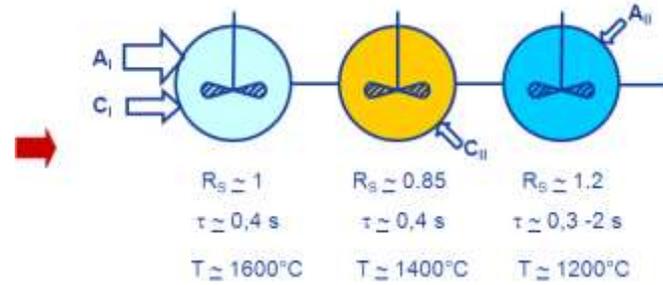


NO_x < 650 mg/Nm³ carbone
Circa 1500 MWe installati

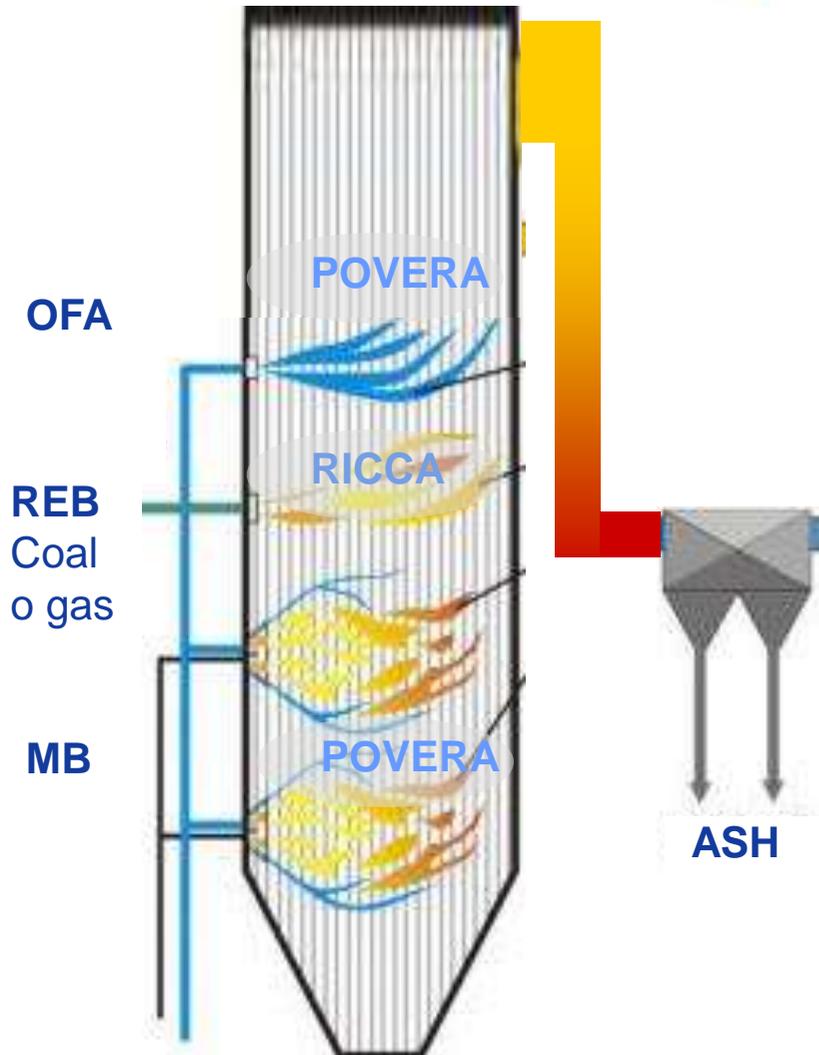


Reburning

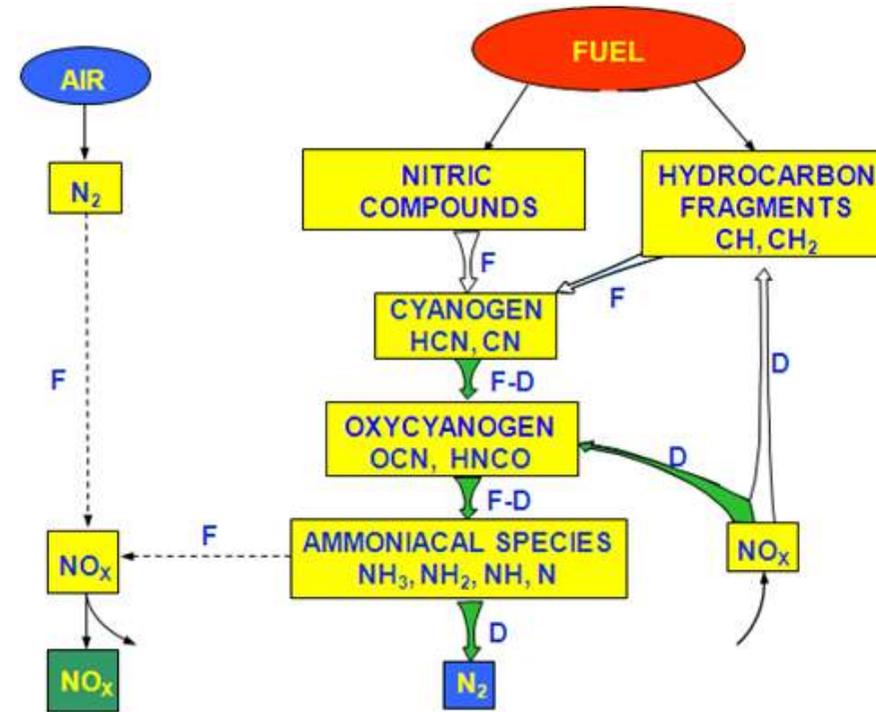
Schema reattoristico



$C_I = 85\%$
 $C_{II} = 15\%$



Schema applicativo

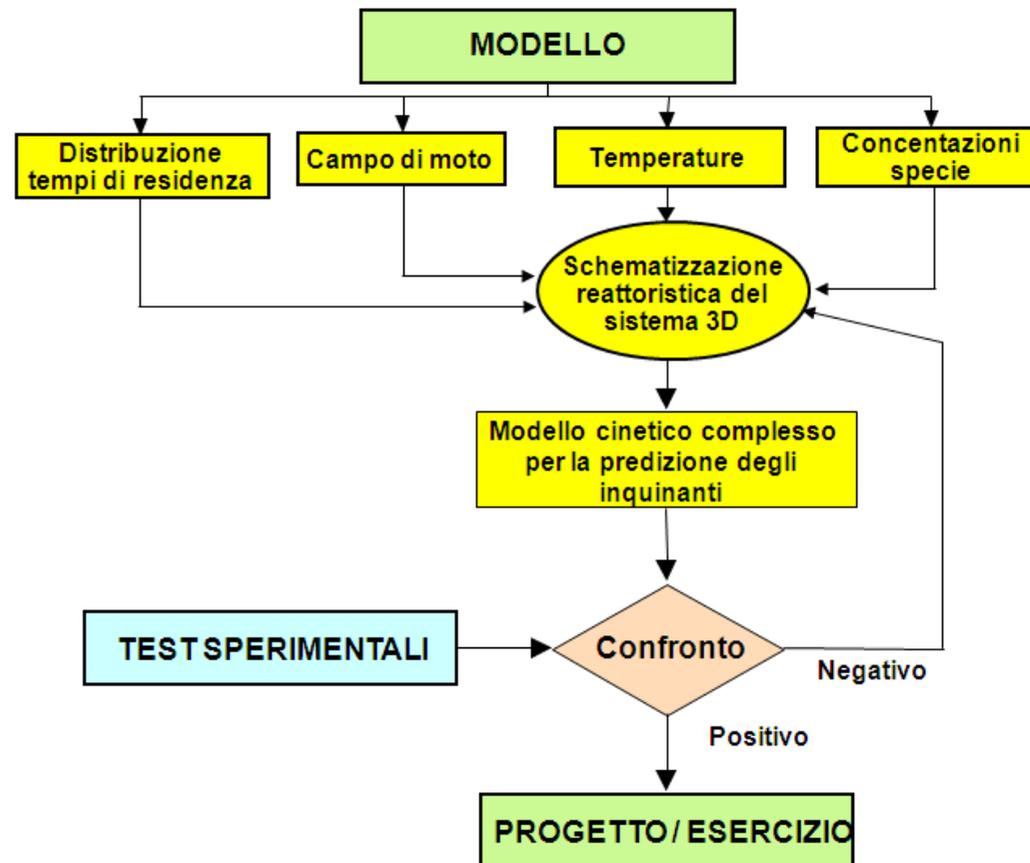
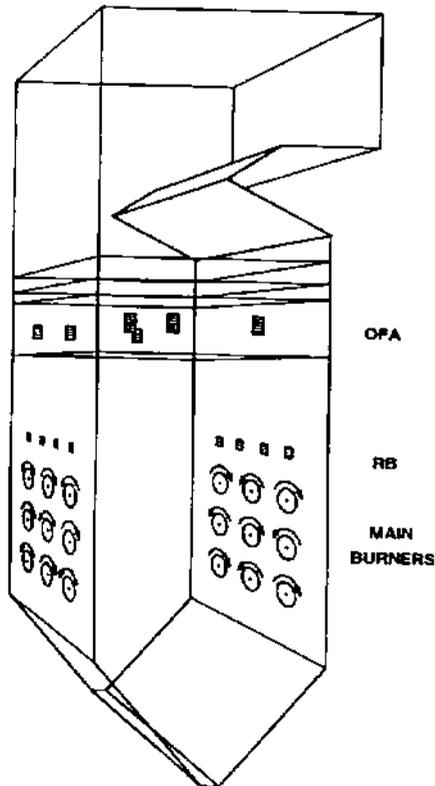


█ ACTIVED PATH
- - - REDUCED PATH
 F FORMATION PATH
 D DESTRUCTION PATH



Come progettare un sistema di reburning

Geometria della caldaia



Il progetto di un sistema di reburning è molto complesso: il miscelamento è un fattore critico soprattutto per caldaie di grosse dimensioni. Esistono poi vincoli stringenti legati alla geometria della caldaia esistente. E' necessaria una modellistica fluidodinamica, termica e reattoristica molto complessa, per definire le condizioni di progetto ottimali.

Meccanismo cinetico complesso

- **Modulo "Hydrocarbon Combustion"**

Politecnico di Milano (*Ranzi, et al 1998*)

190 specie, 2600 reazioni

- **Modulo NO_x**

Politecnico di Milano (*Ranzi, et al 1998*)

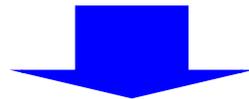
22 specie, 150 reazioni

- **Modulo SO_x**

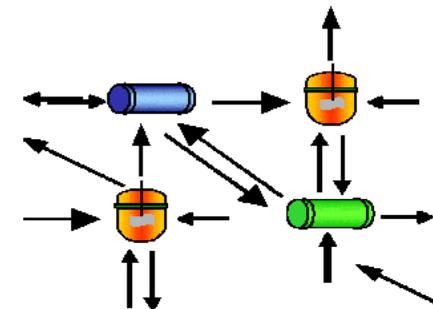
Università di Leeds (2001)

21 specie, 92 reazioni

La chimica del reburning è complessa: centinaia di specie radicali e migliaia di reazioni. Non è ancora possibile accoppiare questa cinetica complessa nei codici fluidodinamici 3D

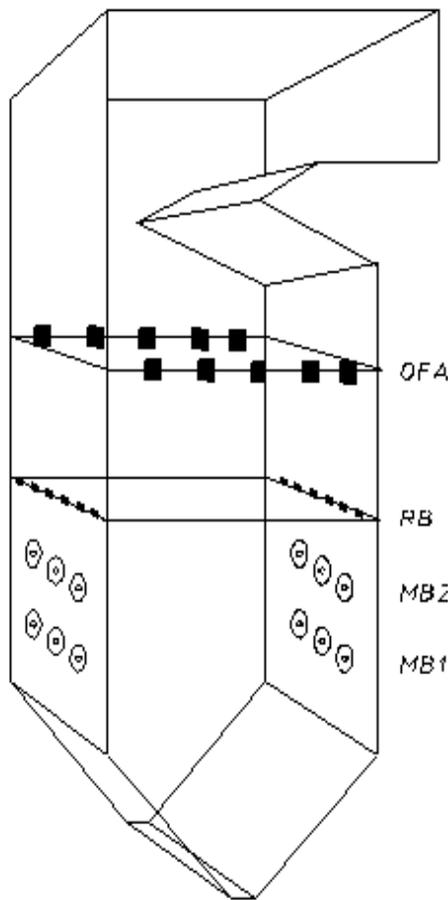


Suddivisione del volume di caldaia in una serie di semplici reattori chimici

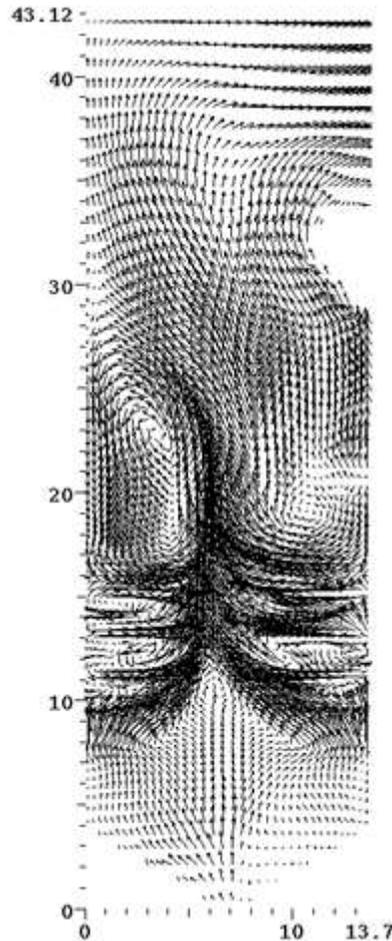


Meccanismo cinetico complesso

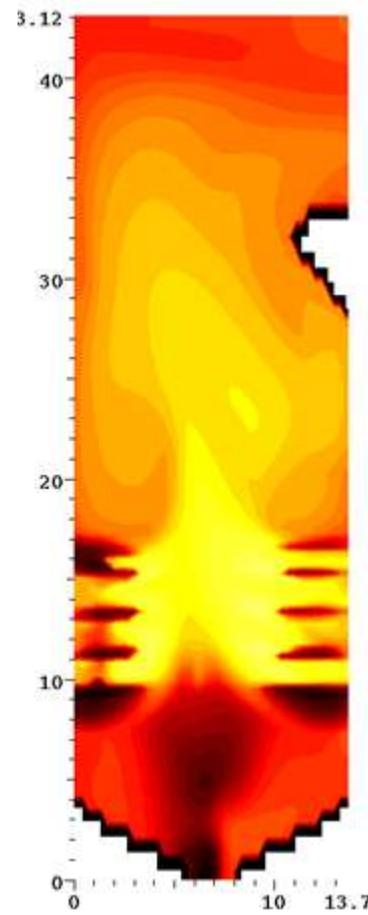
Schematizzazione reattoristica della caldaia



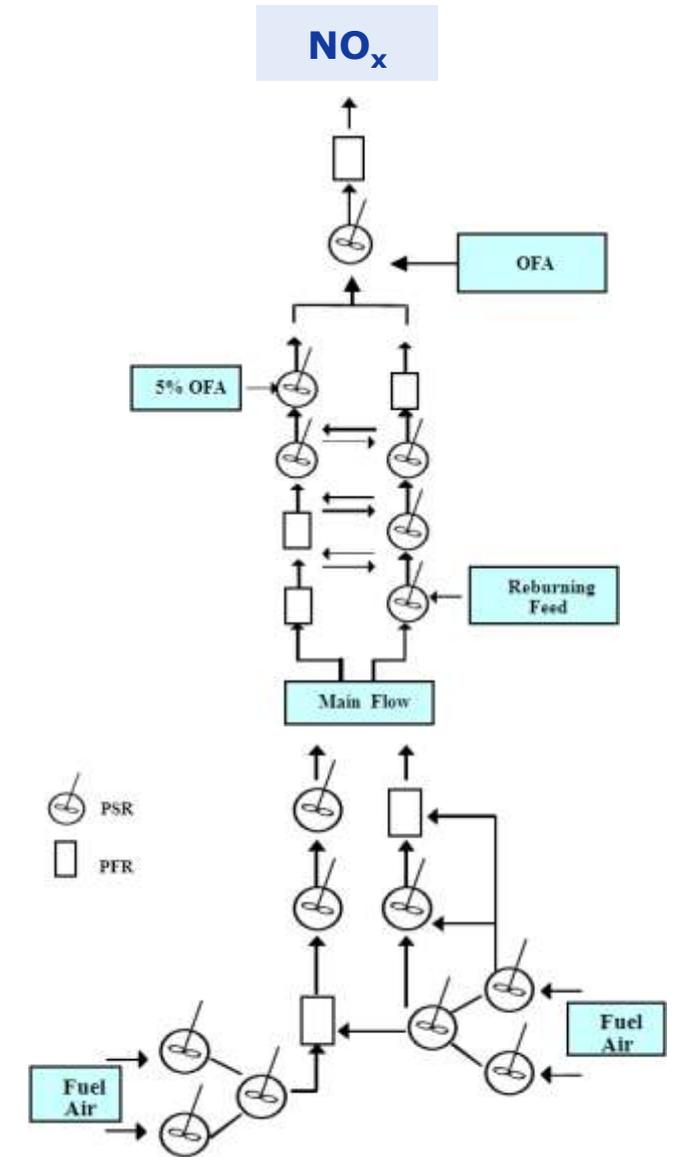
Geometria



Campo di moto

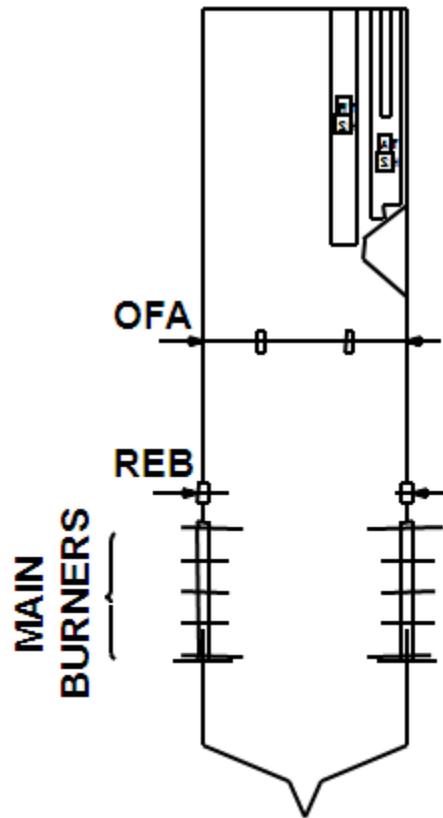


Campo di temperature

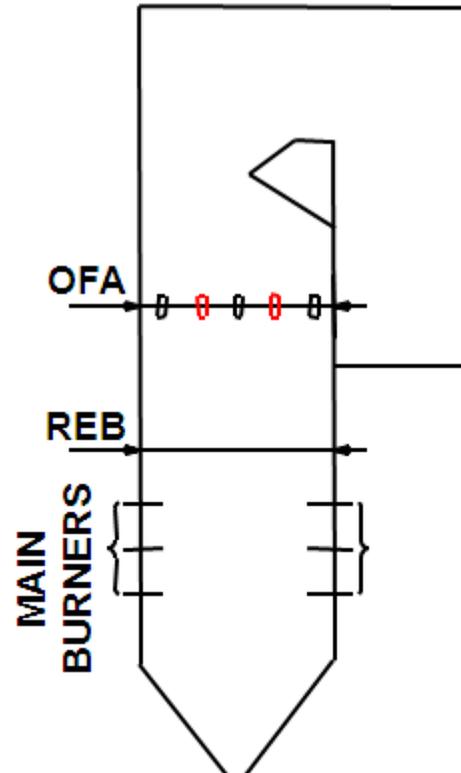


**Rete di reattori
chimici generata per
post-processing**

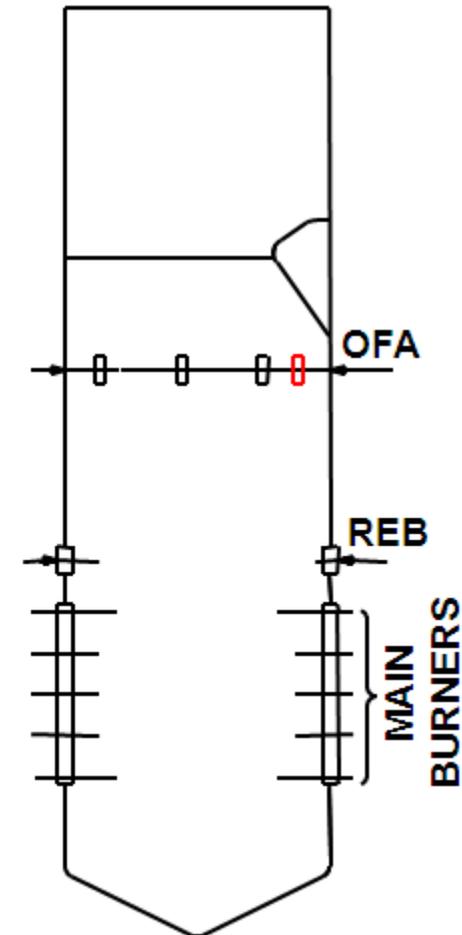
Alcune applicazioni sul parco termoelettrico Enel



TORVALDALIGA, #2
320 MW_e



MONFALCONE, #3
320 MW_e



PORTO TOLLE, #1
660 MW_e

Riduzione NO_x = 65 ÷ 75%
NO_x finali < 200 mg/Nm³ (olio)
7200 MWe installati

Alcune applicazioni sul parco termoelettrico Enel

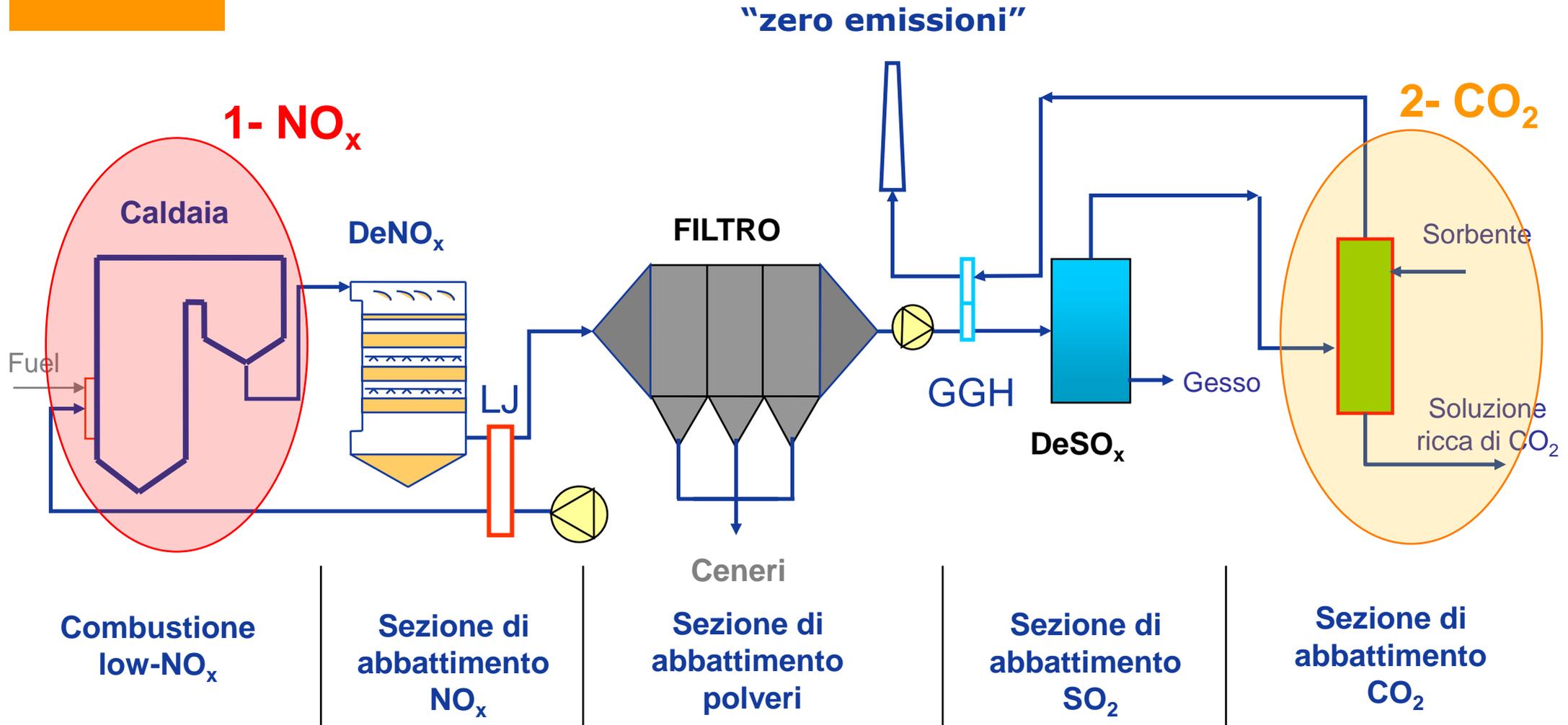
Monfalcone, 320 MWe, olio



Vado Ligure, 320 MWe, carbone



Schema di un impianto di potenza avanzato

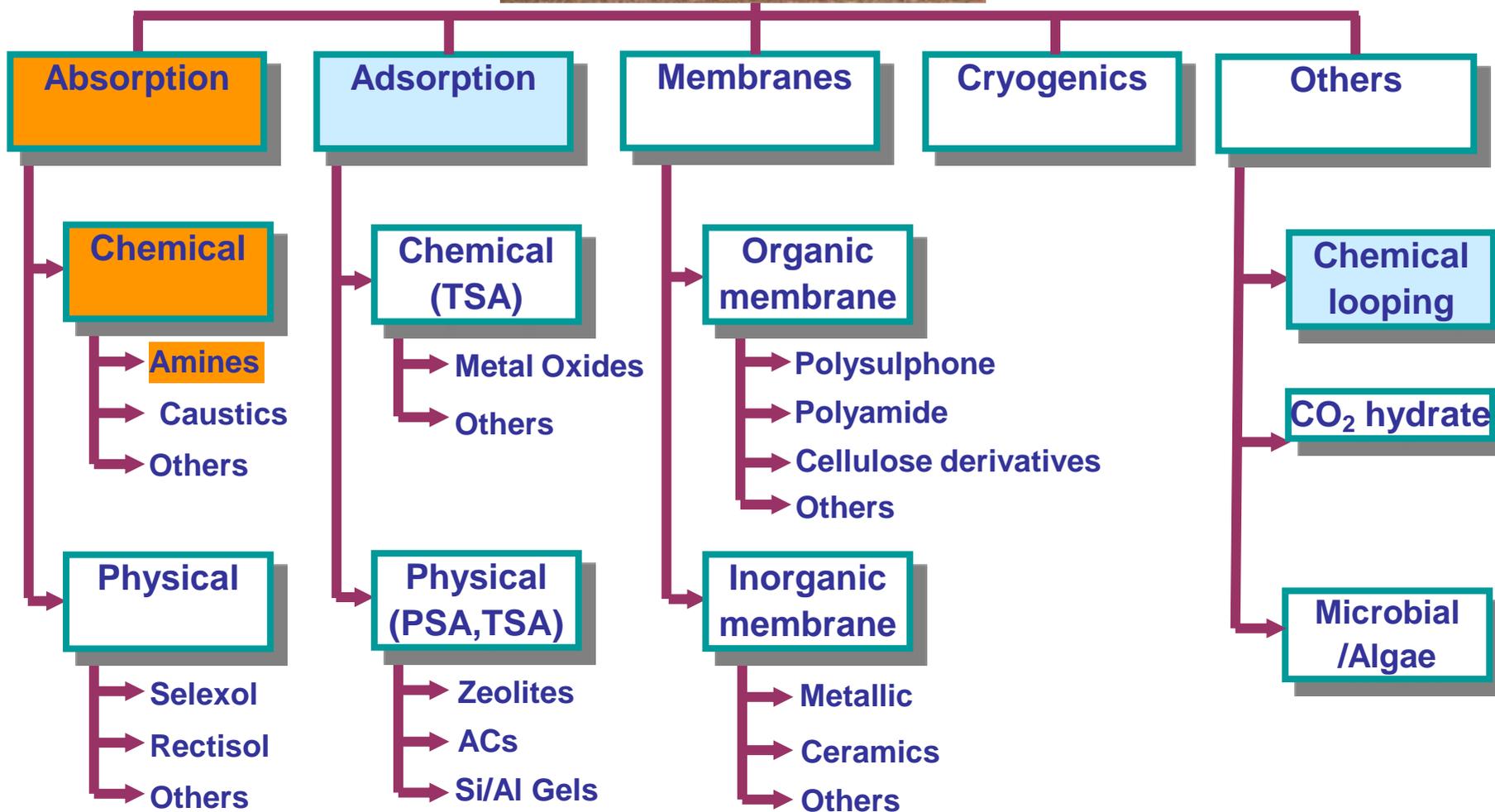


Focus:

- 1. La riduzione degli ossidi di azoto durante la combustione**
- 2. La cattura della CO₂ nei fumi di combustione**

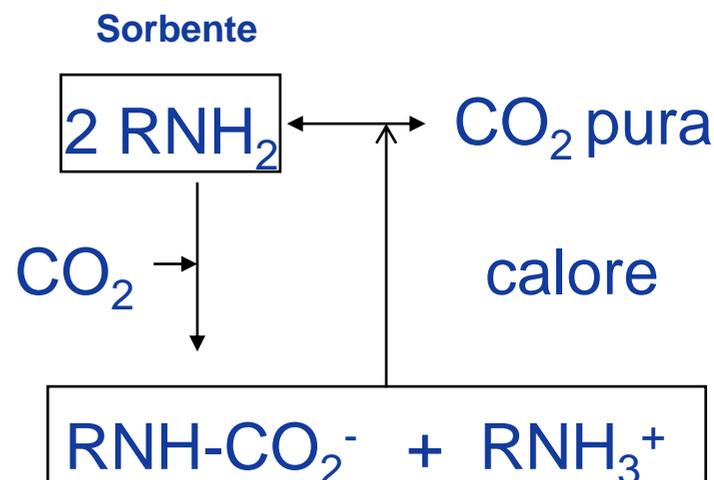
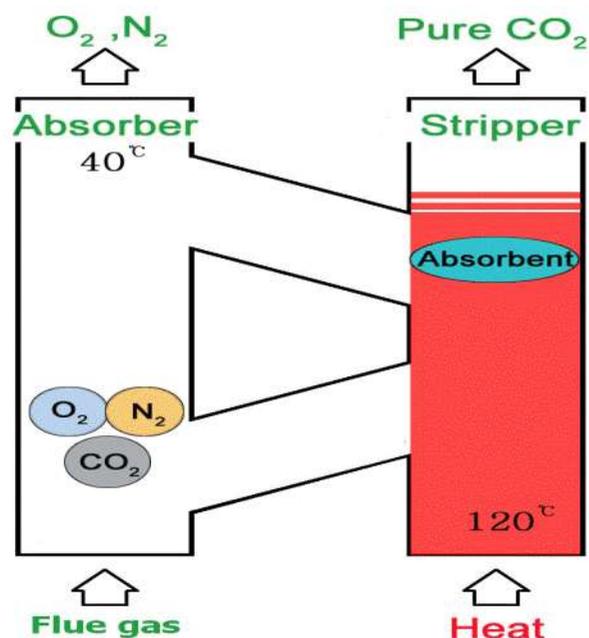


Tecnologie di cattura post-combustione



Lo schema del processo di assorbimento

Un sorbente, organico o inorganico, lega in modo reversibile la CO_2 mediante una reazione chimica e la rilascia in seguito ad un innalzamento termico.



**50 ~ 90 % di tutta
l'energia richiesta**

Il processo è energeticamente molto penalizzante (30%): è in corso in tutto il mondo un'intensa attività di ricerca per sviluppare sorbenti più efficienti.

La sfida da vincere: il sorbente ottimale



La strategia di ricerca

Scala laboratorio

Centro Ricerche- Brindisi



Fumi 2 Nm³/h
CO₂ 0.4 kg/h

- Valutazione del processo
- Messa a punto dei protocolli analitici

Scala pilota

Centrale- Brindisi



Fumi 10'000 Nm³/h
CO₂ 2'500 kg/h

- Valutazione prestazioni
- Analisi emissioni
- Test su processi innovativi

Scala dimostrativa

Centrale- P.to Tolle

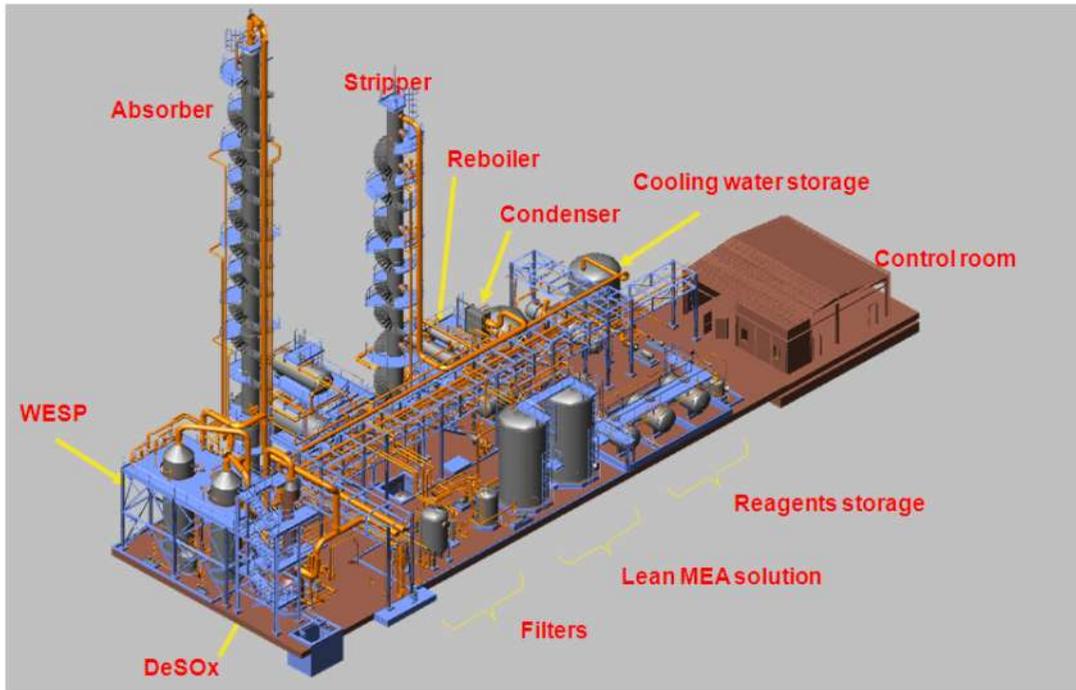


Fumi 810'000 Nm³/h
CO₂ 180'000 kg/h

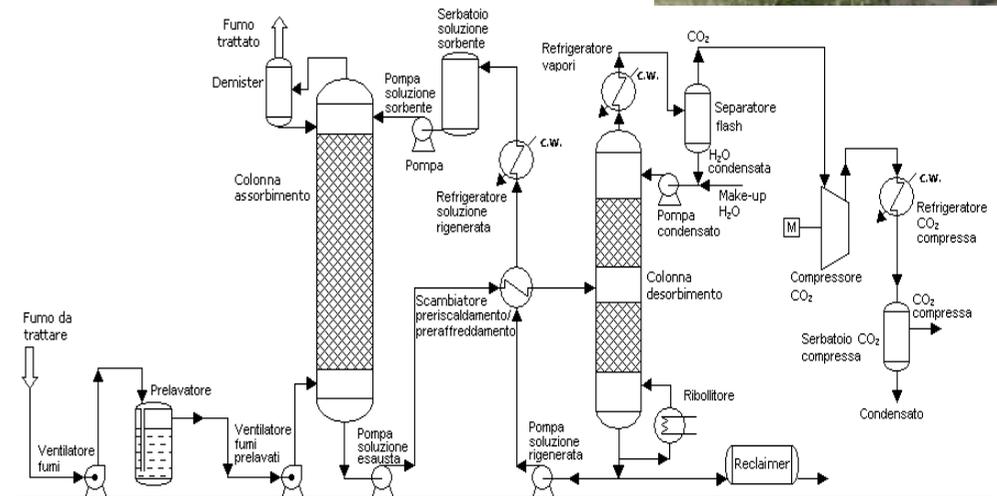
- Scale up tecnologia

Il pilota di scala industriale

Lay-out dell'impianto



Schema della sezione di cattura

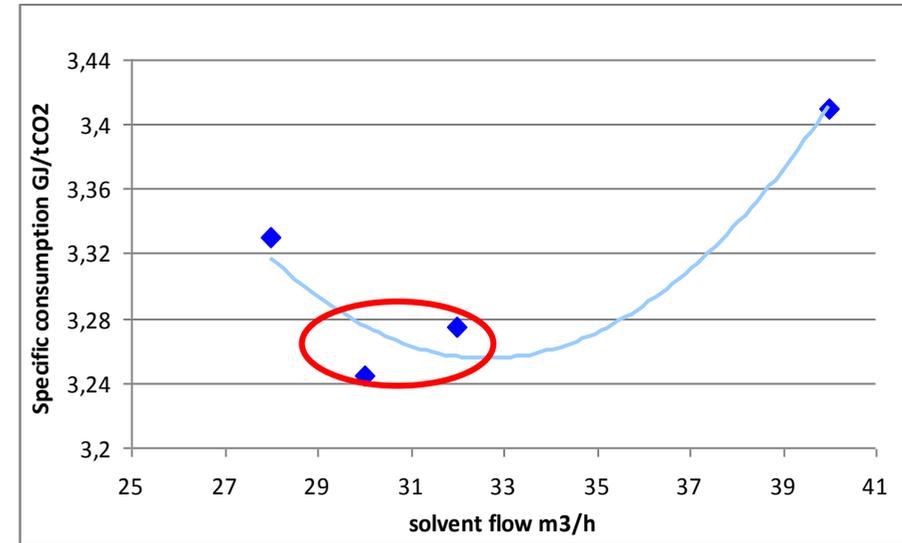


A Brindisi, presso la centrale Federico II è stato realizzato un pilota industriale da 10.000 Nm³/hr, per testare le effettive prestazioni della tecnologia su una scala significativa : efficienza, consumo energetico, sottoprodotti di reazione, emissioni

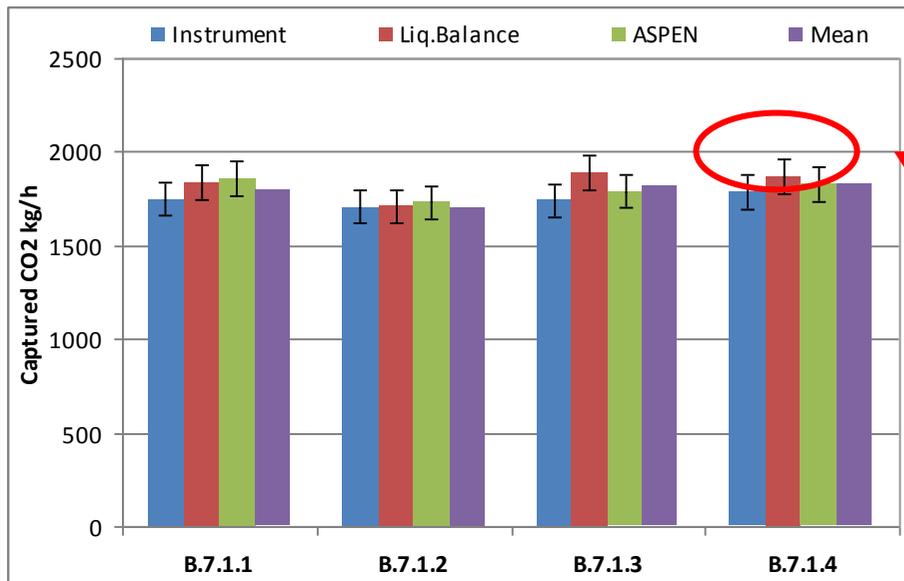
Primi risultati sperimentali (MEA al 30%)

Principali parametri di processo

Day		18/01/2011	18/01/2011	17/01/2011	17/01/2011
Gas flow rate	Nm ³ /h	10056	10054	10030	10159
CO2 content	%voldry	12,08	12,04	12,33	12,18
Solvent flow rate	m ³ /h	40	32	30	28
MEA conc.	mol/l	5,06	5	4,94	4,98
Steam flow rate	kg/h	2799	2560	2700	2799
CO2 Mean value		1795,5	1709,5	1817	1830,5
Specific consumption					
Mean value	GJ/ton CO2	3,41	3,275	3,245	3,33
Efficiency mean value	%	85	85	85	85
Stripper Pressure	bar	1,8	1,8	1,8	1,8



Verifica del bilancio di massa



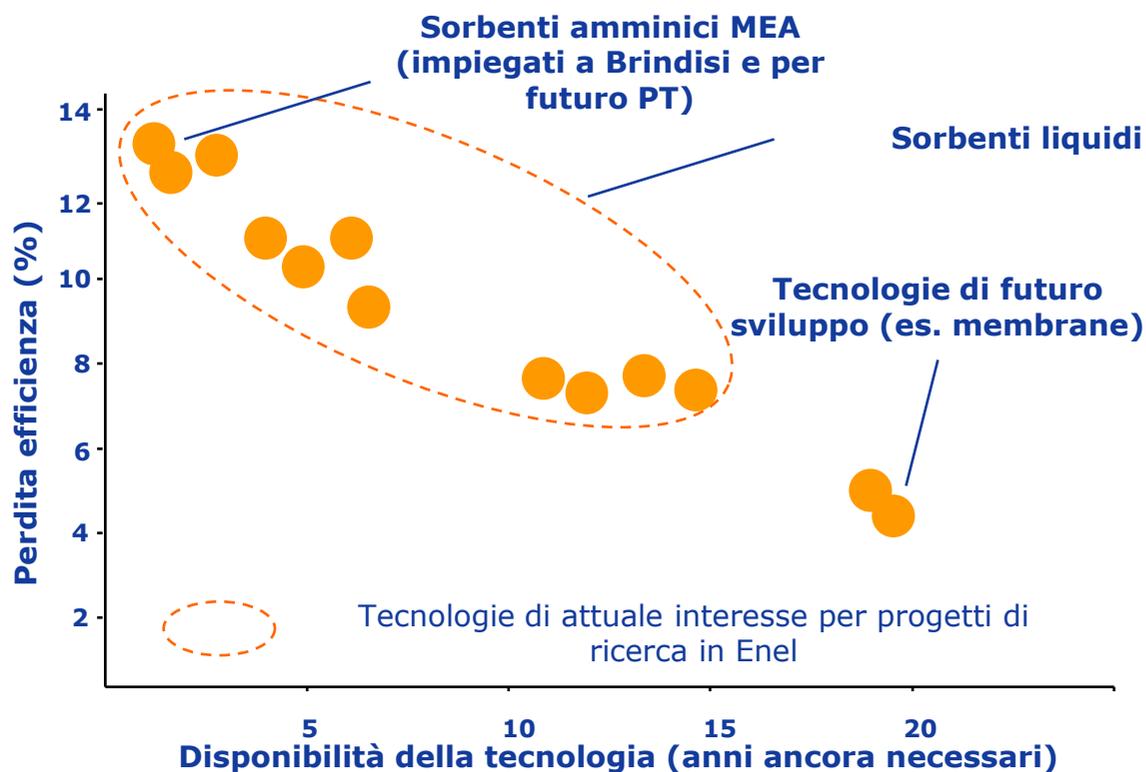
Ottimizzazione del consumo energetico

- Errore sul bilancio: < 5%
- Minimo consumo energetico ~ 3.3 GJ/ton CO₂
- Efficienza di cattura della CO₂ (media): ~ 85%

Le previsioni di sviluppo della tecnologia

Diminuzione penalizzazione della tecnologia di cattura

Le tecnologie di prossimo sviluppo



- I test sui sorbenti utilizzati nell'impianto pilota di Brindisi permetteranno di sviluppare sorbenti innovativi, caratterizzati da una minor penalizzazione energetica
- Lo sviluppo dei sorbenti liquidi utilizzati in impianti post-combustione permetterà di ridurre anche del 40%-50% l'impatto della CCS sulla generazione (per impianti commerciali costruiti dopo il 2025)

I test sul pilota di Brindisi di sorbenti innovativi hanno l'obiettivo di verificare la loro effettiva prestazione energetica e gli associati costi di esercizio.

Grazie per l'attenzione

