



POLITECNICO DI MILANO



**A dieci anni dal Protocollo di Kyoto:
politiche e scenari per il futuro**

Ennio Macchi
Dipartimento di **Energia**, Politecnico di Milano



Premesse

2

- Sono convinto che le preoccupazioni relative all'aumento di concentrazione della CO₂ siano giustificate
- Sono convinto che chi opererà nel settore energetico nei prossimi decenni dovrà convivere con la realtà di un mondo "carbon constrained"
- E' evidente che servono misure "politiche" che modifichino drasticamente lo scenario "business as usual":
 - L'elettricità generata da centrali "zero" (o quasi) emission sarà sempre più costosa di quella prodotta in centrali convenzionali
 - Le vetture "zero emission" saranno molto più costose rispetto alle vetture convenzionali
 - I carburanti a bassa o nulla emissione di CO₂ saranno più costosi dei derivati petroliferi
 - Ecc.

Ennio Macchi POLITECNICO DI MILANO



Premesse (2)

3

- Il mio intervento sarà concentrato sul settore elettrico, perché è quello che conosco meglio e perché ha un ruolo fondamentale (e crescente) nel quadro delle emissioni complessive
- Non parlerò di misure di **risparmio energetico** negli usi finali, quali:
 - Motori elettrici efficienti
 - Lampade a basso consumo
 - Elettrodomestici classe A+
 - Regolazione intelligente (inverter, ecc.)
 - Climatizzazione
 - Pompe di calore geotermiche
 - Ecc.
- Sono le più razionali, le prime (e le più facili) da intraprendere, ma...
- Non devono essere un alibi per non agire anche su gli altri fronti, da sole certamente non bastano

Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



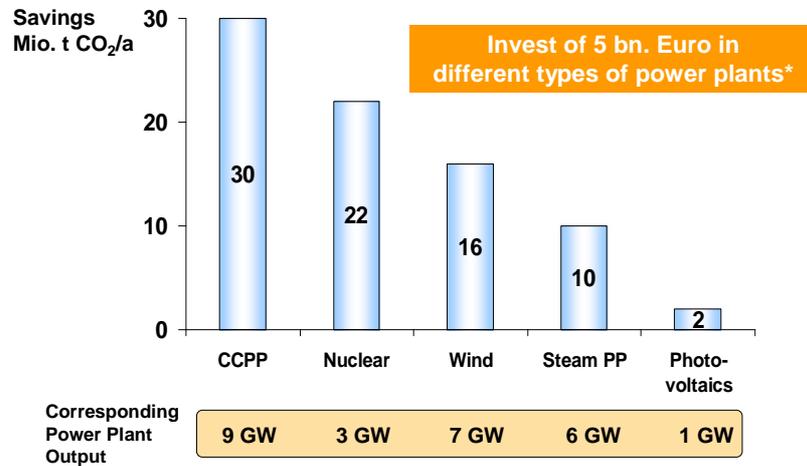
Si può affrontare l'argomento con diversi approcci ⁴

- Un primo punto di vista: qual'è il modo più efficace per investire risorse economiche al fine di diminuire le emissioni di CO₂ del settore elettrico nell'atmosfera?
- Un esempio di questo approccio (fonte Siemens):

Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO

↳ Risparmi nelle emissioni di CO₂ ottenibili investendo 5 bn. Euro



*) German conditions, replacement of **most inefficient coal** fired power plants

Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO

↳ Si può affrontare l'argomento con diversi approcci

- Un primo punto di vista: qual'è il modo più efficace per investire risorse economiche al fine di diminuire le emissioni di CO₂ del settore elettrico nell'atmosfera?
- Un esempio di questo approccio (fonte Siemens)
- **L'approccio è fuorviante:**
 - Considera solo i costi di investimento, non considera i costi di generazione futuri
 - Si riferisce a un contesto in cui si sostituiscono centrali obsolete alimentate a carbone
- **Mette comunque in evidenza l'importanza di migliorare il parco di generazione**

Ennio Macchi

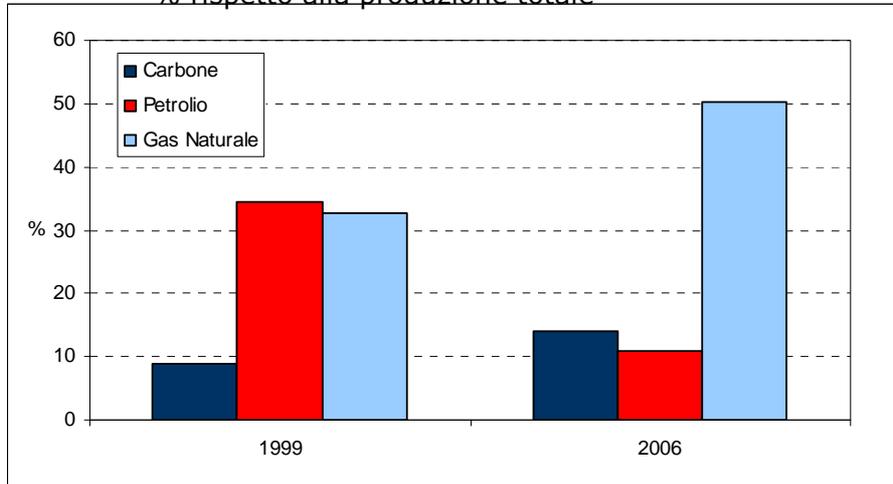
POLITECNICO DI MILANO



Il peso dei diversi combustibili fossili nel parco termoelettrico italiano

7

Dati riferiti alla produzione elettrica lorda
% rispetto alla produzione totale



Ennio Macchi

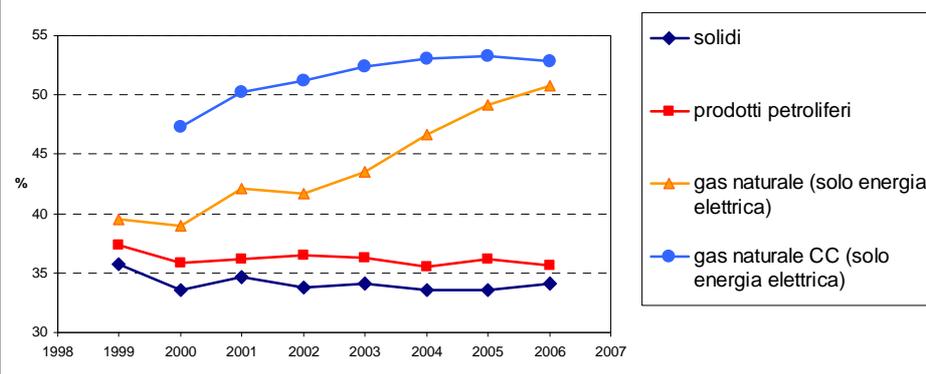
POLITECNICO DI MILANO



Evoluzione dei rendimenti elettrici netti del parco italiano

8

Andamento temporale dei rendimenti elettrici del parco termoelettrico italiano



- Per il gas naturale: grandi progressi, siamo prossimi all'asintoto
- Per il carbone: grandi margini di miglioramento!

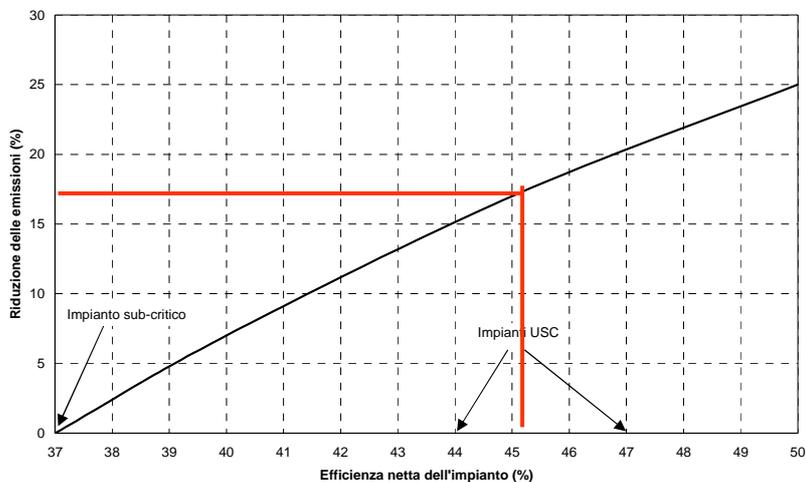
Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Per le centrali a carbone ci sarebbero grossi margini di miglioramento (da circa 34% a circa 45%)

9



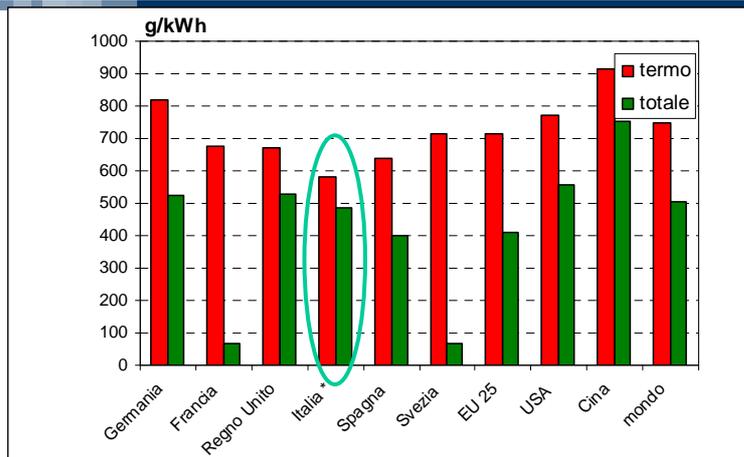
Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Confronto delle emissioni specifiche medie nella generazione elettrica (dati 2006)

10



- L'Italia è la più virtuosa (riferimento termoelettrico)
- Fa meglio della Germania (riferimento totale)
- Fa molto peggio di Francia e Svezia

Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Conclusioni (riferite all'Italia)

11

- E' illusorio sperare di abbattere in misura significativa le emissioni agendo sulle tecnologie di conversione termoelettrica e sul mix di combustibili fossili, ciò non toglie che è necessario migliorare le prestazioni delle centrale a carbone (da 34% si può arrivare a 45%)
- Accentuare la già anomala dipendenza dal GN sembra autolesionistico
- Per abbattere le emissioni, occorre aumentare la quota della produzione a emissione zero. Tre possibili opzioni:
 - Rinnovabili
 - Nucleare
 - CCS
- Non sono in concorrenza, servono tutte!

Ennio Macchi

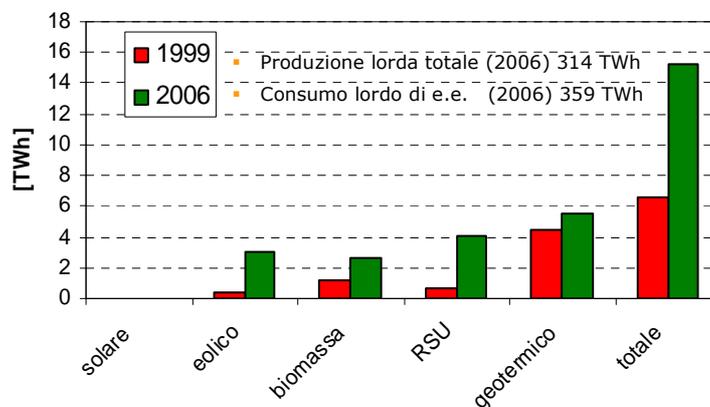
POLITECNICO DI MILANO



La produzione di energia elettrica in Italia da fonti rinnovabili (escluso idroelettrico, 43.4 TWh nel 2006)

12

- In sette anni di forti incentivazioni, un incremento < 9 TWh
- Un ritmo di crescita dell'ordine di 1 TWh/anno (0,3% anno)
- L'incremento più elevato è quello da RSU (quota rinnovabile?)



Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Dati europei Ritmo di crescita dal 2000-2005: 15 TWh/anno

13

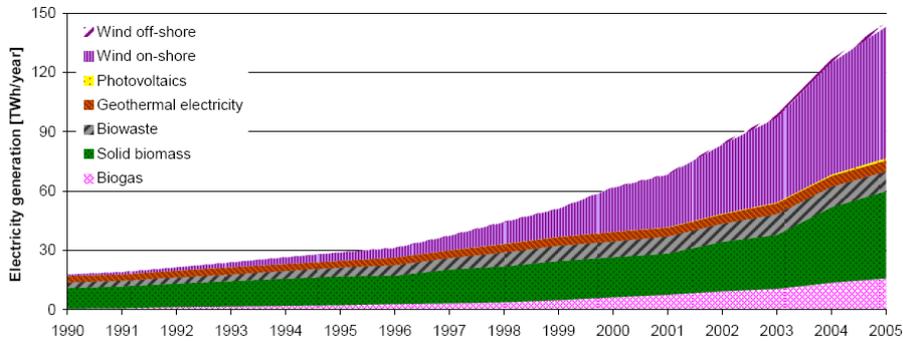


Figura 2: produzione di elettricità a partire da fonti energetiche rinnovabili (eccetto idroelettrica) nell'UE-25 (1990-2005)

■ Fonte: COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL CONSIGLIO E AL PARLAMENTO EUROPEO

Tabella di marcia per le energie rinnovabili
Le energie rinnovabili nel 21° secolo: costruire un futuro più sostenibile

Ennio Macchi

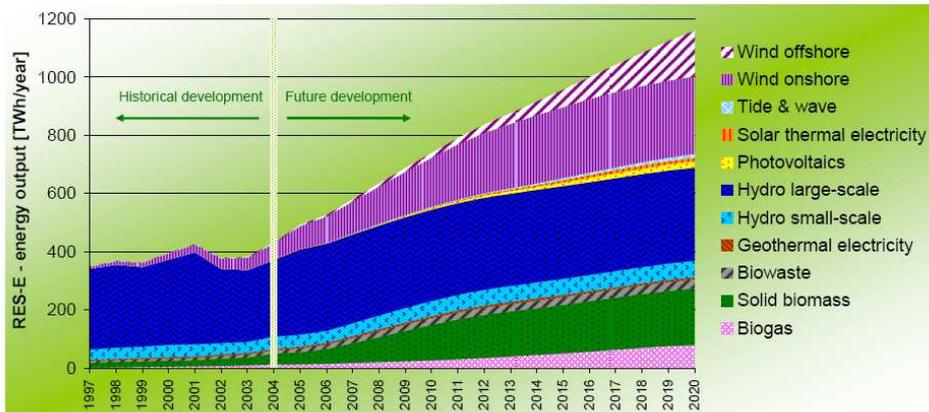
POLITECNICO DI MILANO



Gli unici aumenti significativi: eolico e biomassa (ritmo di crescita complessivo: 40 TWh/anno)

14

Crescita delle energie rinnovabili: proiezioni per l'elettricità fino al 2020



■ Fonte: COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL CONSIGLIO E AL PARLAMENTO EUROPEO

Tabella di marcia per le energie rinnovabili
Le energie rinnovabili nel 21° secolo: costruire un futuro più sostenibile



Qual prospettive per le rinnovabili?

15

- I maggiori contributi verranno:
 - da eolico
 - biomasse (per avere rendimenti elevati, o utilizzo cogenerativo o co-combustione)
 - L'Italia non è il Paese più favorito (per entrambi)
- Servono nuove idee...

Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Eolico ad alta quota: un'idea affascinante

16



Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Qual prospettive per le rinnovabili?

17

- Grande speranza a lungo termine: energia solare
- Non credo che una politica basata solo su incentivi sia sufficiente a cambiare la situazione
- Non servono impianti dimostrativi, ma R&S
- Le soluzioni troppo antieconomiche possono essere controproducenti
- Serve un grande salto di qualità (abbattere costi, aumentare il rendimento)
- Le prospettive più promettenti, a mio parere, per il solare termodinamico

Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Dopo questo impianto, una pausa di 20 anni

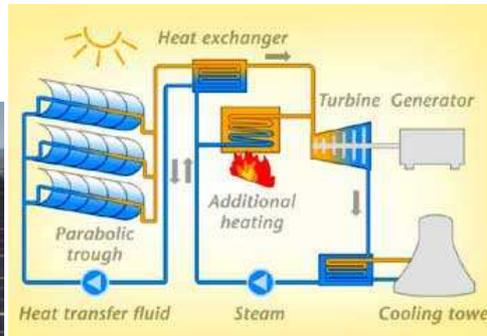
18



Figure 1: Aerial view of the five 30 MW_e solar parabolic trough plants at Kramer Junction, California (Courtesy of KJC)

Novità recente: un impianto solare termodinamico in Nevada da 64 MW 19

Costo = 250 M\$



Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO

Costo = 3200 €/kW 20

La più grande centrale termosolare d'Europa

La centrale spagnola PS10 fa parte di un grande complesso che dovrà essere in grado di fornire elettricità a 180.000 utenze entro il 2010

Superficie : 60 ettari
 Specchi orientabili : 624
 Potenza installata : 11 MW
 Produzione elettrica annuale : 23 GWh
 Costo : 35 milioni di euro
 Entrata in servizio : entro la fine del 2006

Gli specchi orientabili permettono di concentrare i raggi solari su un punto focale



121m2

Ricevitore solare situato a 115 m



Campo di specchi

All'interno della caldaia, un fluido viene riscaldato tra i 600 e i 1.000°C

Il vapore così prodotto aziona un sistema di turbine e alternatori che generano l'elettricità

REP 271006

Fonte : Solarcar

Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Ci sarà il rinascimento nucleare?

21

- Allo stato attuale delle conoscenze, non c'è dubbio:
 - Se si penalizzano le centrali a combustibile fossile con una "carbon tax" ragionevole, le centrali nucleari sono la soluzione economicamente più competitiva
- Mentre le tecnologie concorrenti "zero emission" (rinnovabili, CCS) hanno ampi margini di miglioramento, l'evoluzione dei costi dell'energia nucleare è incerto
- In Italia (e in molti altri Paesi), non è facile ipotizzare un futuro per l'energia nucleare

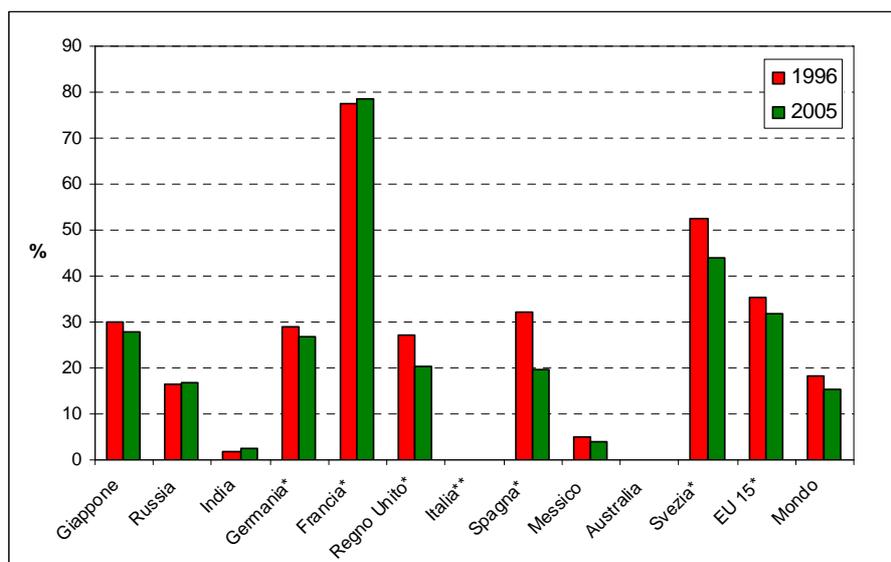
Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Peso dell'energia nucleare nei vari paesi del mondo (% rispetto alla produzione totale)

22



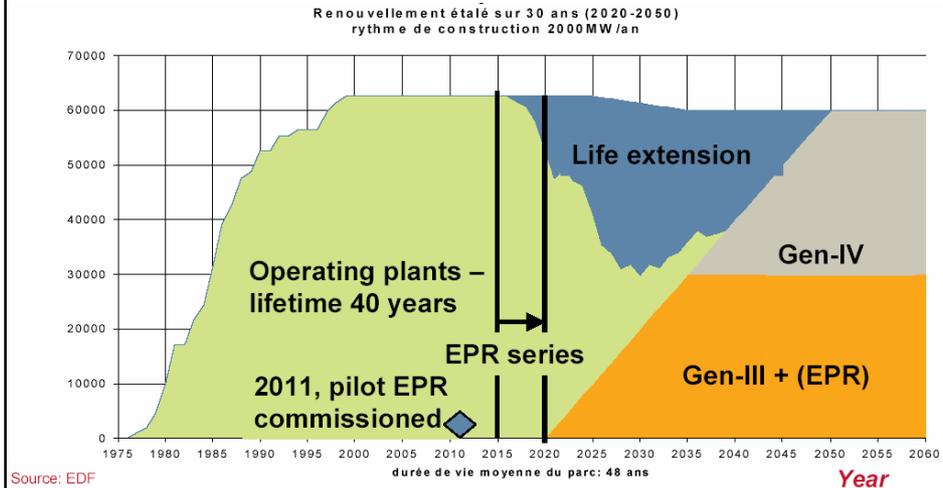
Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Il programma francese

23



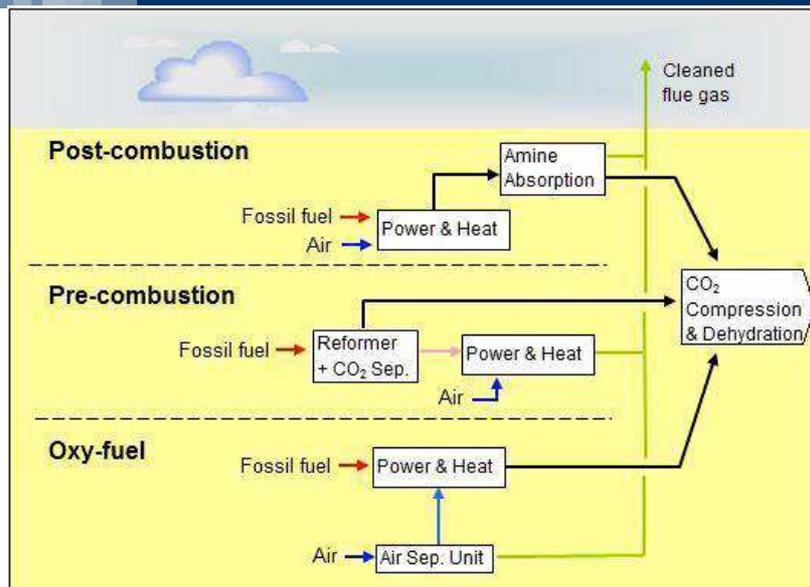
Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



I sistemi di cattura della CO₂ (non si sa quale sia il migliore)

24



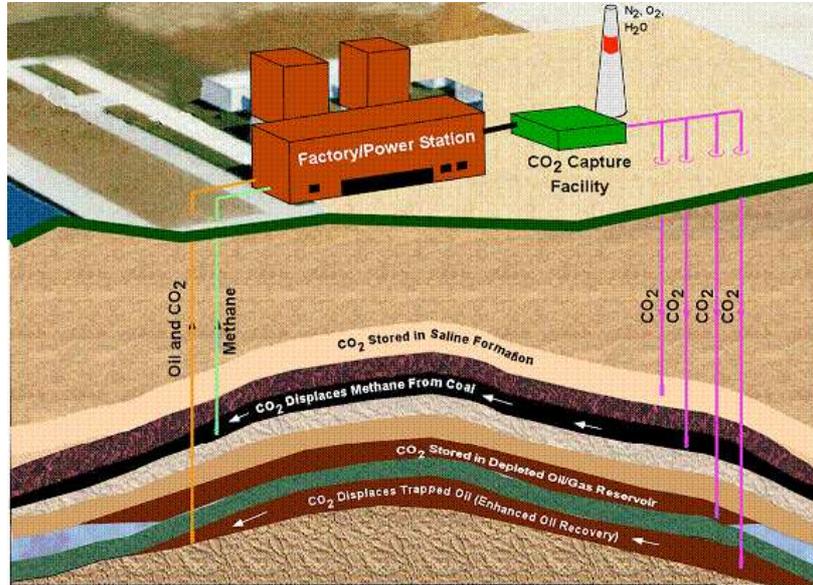
Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



I sistemi di confinamento

25



Ennio Macchi

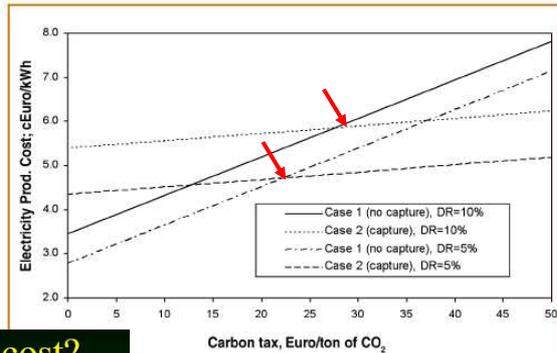
POLITECNICO DI MILANO



Con le tecnologie attuali, il costo dell'energia cresce di circa il 50%, competitivi con carbon tax > €/ton CO₂

26

FW
MIT



How much does CCS cost?

- Carbon capture and storage technologies exhibit significant penetration in the electric power sector at carbon prices above \$30/tCO₂ (>\$100/tC).
 - 80% associated with capture/compression
 - 20% associated with transport/injection

Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO



Action plan

CO2 capture

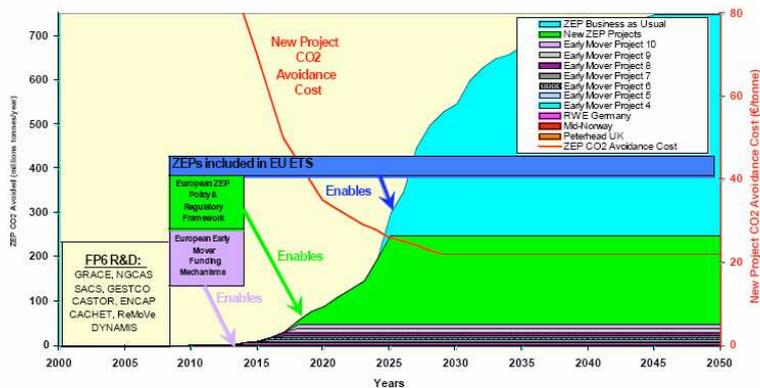
- Europe to introduce the concept of large-scale demonstration sites for CO2 capture in the FP7.
- Develop pathways to commercialisation for CO2 capture technology.
- Undertake 10-12 industrial-scale capture demonstrations
- Identify possible locations for new power plants and other industrial plants with large CO2 emissions during 2007.
- Increase technology development - particularly for "next generation" technologies that will reduce CCS costs by at least 50% over what is currently possible.
- Each power plant has its own plant life cycle. **By 2015, all power plants due to be replaced, or have increased capacity, should be assessed for CO2 capture.**

CO2 storage

- Europe to introduce the concept of major demonstration sites for geological storage in the FP7.
- Establish potential storage locations during 2007 for 10-12 full-scale projects, with an operational lifetime of 30 years (including 4-6 onshore, with a minimum capacity of 2 million tonnes CO2).
- Establish an EU storage programme to develop the necessary knowledge, skills and capability for large-scale storage in a deep saline aquifer by 2010.



Achieving the Vision : zero emission power plants by 2020



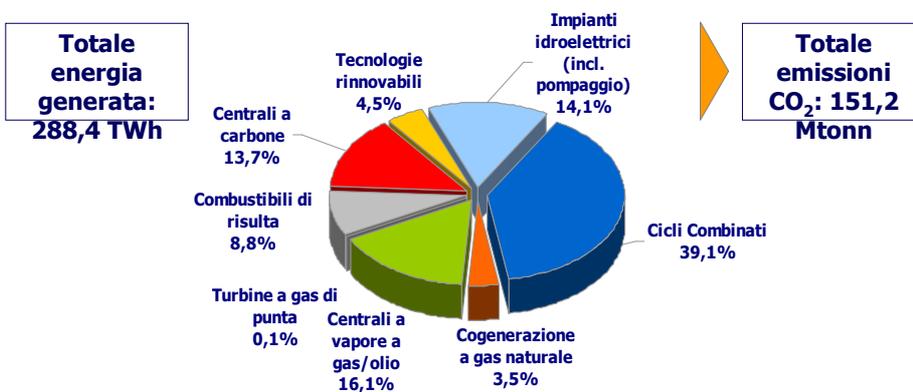
The left axis shows the CO₂ that would be avoided by the progressive deployment of ZEPs. The red line shows how costs could be expected to decline as we move from R&D to industrial-scale deployment. Once the expected cost of deployment is less than the expected long-term value of CO₂ traded in the EU ETS, commercial entities will invest in industrial-scale projects.



- Il sistema energetico futuro in Italia: possibili scenari



Generazione di energia elettrica (al netto delle importazioni) per tipologia di centrale in Italia, 2005



Fonte: Rielaborazione The European House-Ambrosetti su dati Terna e Politecnico di Milano, 2007



Assunti di partenza per i tre scenari energetici considerati 32

Scenario	Ipotesi che caratterizzano lo scenario	
	Introduzione di nuove centrali a carbone	Introduzione della <i>carbon tax</i>
Tendenziale	Non è permessa la costruzione di nessuna nuova centrale a carbone	Valori tali da non modificare le logiche economiche di scelta
Carbone senza vincoli	È permessa la costruzione di nuove centrali a carbone (<i>repowering</i> e " <i>green field</i> ")	Valori tali da non modificare le logiche economiche di scelta
A tecnologia avanzata	È permessa la costruzione di nuove centrali a carbone e - a partire dal 2016 - l'installazione di tecnologie di <i>CO₂ Capture and Storage</i> e la costruzione di centrali nucleari	Introduzione di una <i>carbon tax</i> pari a 35 €/tonn CO ₂ a partire dal 2010

Fonte: Politecnico di Milano, 2007

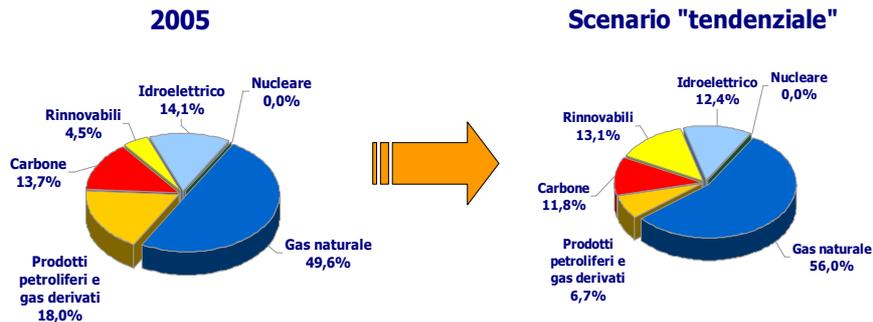
Ennio Macchi POLITECNICO DI MILANO



Lo scenario "tendenziale"

33

- **Incremento sostanziale della quota di gas naturale** nel mix delle fonti utilizzate per la generazione di energia elettrica, in riduzione delle quote di petrolio e di carbone.
- **Crescita delle fonti rinnovabili** per un totale di 37 TWh in aggiunta a quelli attuali (dal 4,5% al 13,1%)



Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO

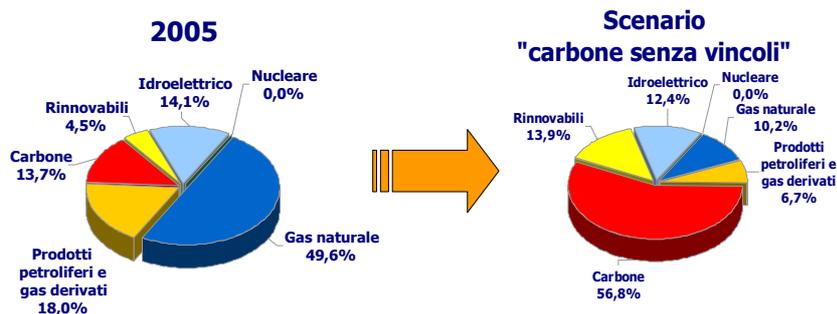


Lo scenario "carbone senza vincoli"

34

2

- Prevalenza delle logiche di mercato, con un **peso significativo del carbone** all'interno del *power mix* e potenziamento delle **rinnovabili**



- Scenario paragonabile al sistema elettrico attuale in **Germania** e negli **Stati Uniti**
- Nel breve termine consentirebbe di incidere in modo sensibile sulle "anomalie" del sistema italiano: nuovo mix, minori costi di generazione, approvvigionamento meno critico e distribuzione dell'utilizzo degli impianti più efficiente

Ennio Macchi

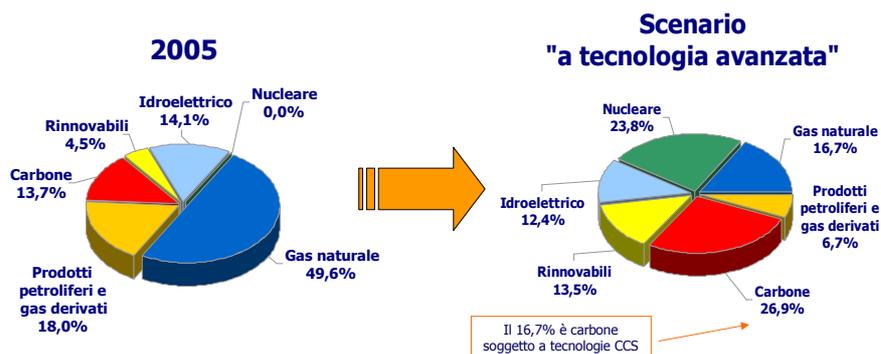
POLITECNICO DI MILANO



Lo scenario "a tecnologia avanzata"

35

- Investimenti e ricerca sulle **tecniche di cattura e stoccaggio della CO₂** per raggiungere l'obiettivo "zero emissions" (non prima del 2016) e costruzione di centrali a carbone a basso impatto ambientale
- Maggior ricorso alle **fonti rinnovabili** e ritorno al **nucleare** (dopo il 2016)
- Per i primi 10 anni, sostanziale somiglianza con lo scenario precedente



Ennio Macchi

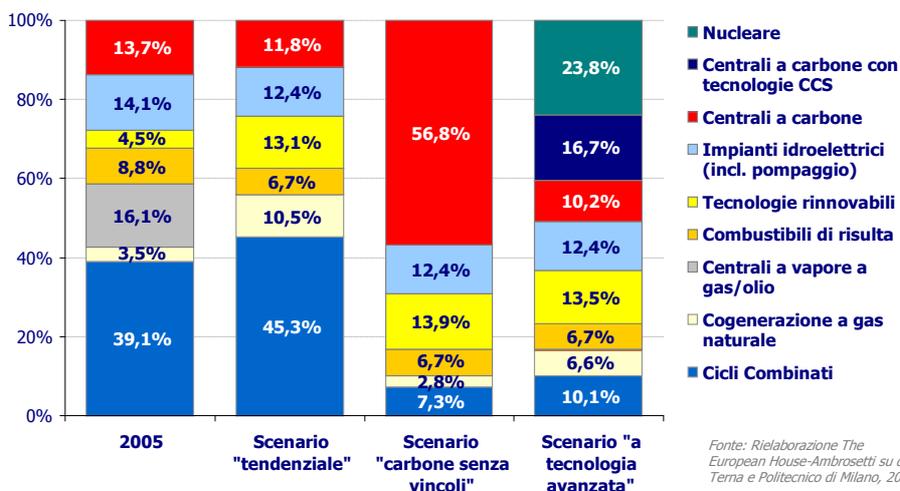
POLITECNICO DI MILANO



La ripartizione degli impianti di generazione nei diversi scenari al 2025

36

Ripartizione della generazione di energia elettrica tra le diverse tipologie di centrale in Italia (valori percentuali), 2025



Ennio Macchi

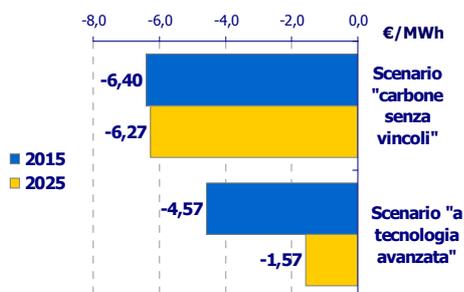
POLITECNICO DI MILANO



Impatti sui costi di generazione

37

Risparmi nel costo medio di generazione (esclusa la carbon tax) rispetto allo scenario "tendenziale" (€/MWh), 2015 e 2025



Con una generazione di 383 TWh nel 2025 (al netto delle importazioni) nello scenario "carbone senza vincoli" si otterrebbe un risparmio di **2,4 miliardi di Euro rispetto allo scenario "tendenziale"**. Nel caso dello scenario "a tecnologia avanzata" il risparmio ammonterebbe a circa **600 milioni di Euro**.

Fonte: Rielaborazione The European House-Ambrosetti su dati Politecnico di Milano, marzo 2007

Ennio Macchi

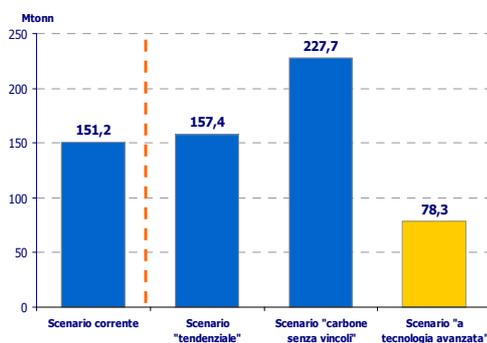
POLITECNICO DI MILANO



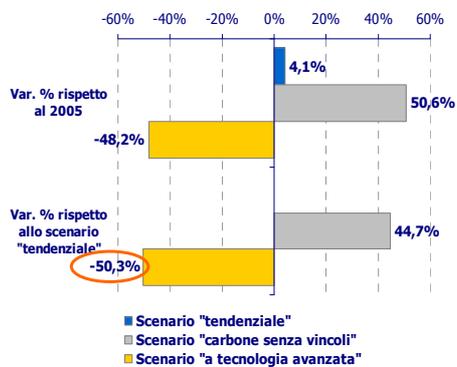
Impatti sull'ambiente

38

Emissioni annue di CO₂ negli scenari ipotizzati (Mtonn), 2025



Variazione nelle emissioni di CO₂ rispetto agli scenari attuale e "tendenziale", 2025



Fonte: Rielaborazione The European House-Ambrosetti su dati Politecnico di Milano, 2007

Ennio Macchi

POLITECNICO DI MILANO