



▶ POLITECNICO DI MILANO



La sfida energetica

Giovanni Lozza
Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano
giovanni.lozza@polimi.it



- Previsione dell'evoluzione della richiesta di energia
- Disponibilità delle fonti di energia primaria
 - Fossili (gas, petrolio, carbone), Nucleare, Rinnovabili
- Impatto ambientale:
 - **Inquinanti "locali"**: ossidi di azoto, di zolfo, particolato, incombusti (CO, idrocarburi), altro (Hg, alogeni, etc)
 - **Inquinanti "globali"** (CO₂): effetto serra, alterazioni climatiche
- Sostenibilità economica



La domanda di energia mondiale

	ABITANTI		CONSUMI ELETTRICI	
	MILIONI	%	kWh/ab	%
MONDO	6.925,0	100	2.645	100,0
EUROPA	895,2	12,9	4.773	180,5
<i>UE 27</i>	<i>503,3</i>	<i>7,3</i>	<i>5.525</i>	<i>208,9</i>
ITALIA	60,7	0,9	5.168	195,4
AMERICA	937,2	13,5	5.757	217,7
Argentina	40,8	0,6	2.907	109,9
Brasile	196,7	2,8	2.321	87,8
Canada	34,5	0,5	13.714	518,5
Stati Uniti	311,6	4,5	12.110	457,8
AFRICA	1.040,7	15	553	20,9
Sud Africa	50,6	0,7	4.246	160,5
ASIA	4.016,0	58	1.953	73,8
Cina	1.344,1	19,4	2.870	108,5
India	1.206,9	17,4	636	24,0
OCEANIA	35,8	0,5	6.753	255,3
Australia	22,3	0,3	8.905	336,7

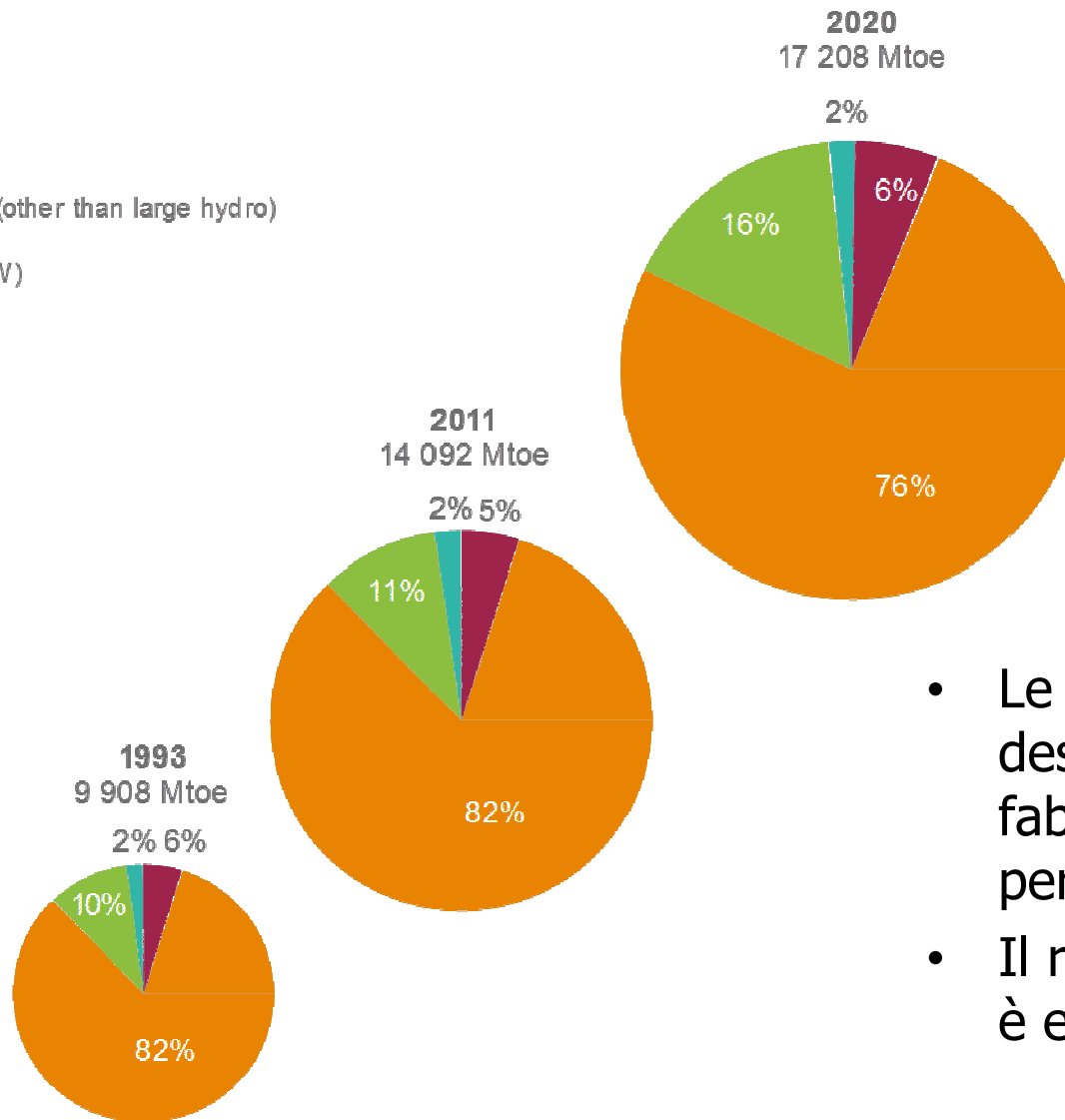
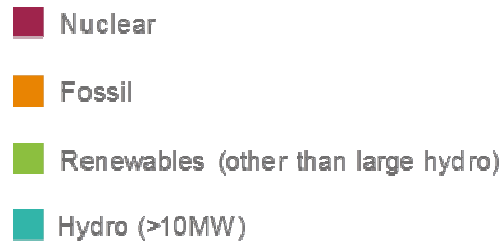
Continuerà a crescere:
maggior benessere per
molte zone del mondo

In Africa e in India i
consumi elettrici
procapite sono circa
1/10 di quelli UE, circa
1/20 di quelli USA

Fonte: Enerdata 2011



Con quali risorse?



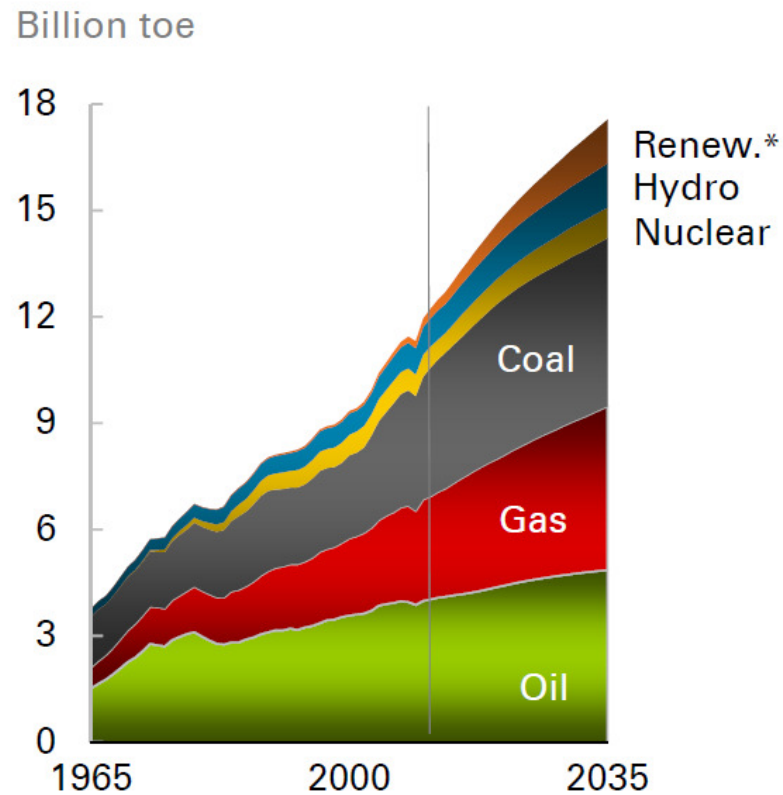
- Le risorse fossili sono destinate a coprire i fabbisogni dell'umanità per molti decenni
- Il ruolo delle rinnovabili è e resterà marginale

Fonte: World Energy Council 2013

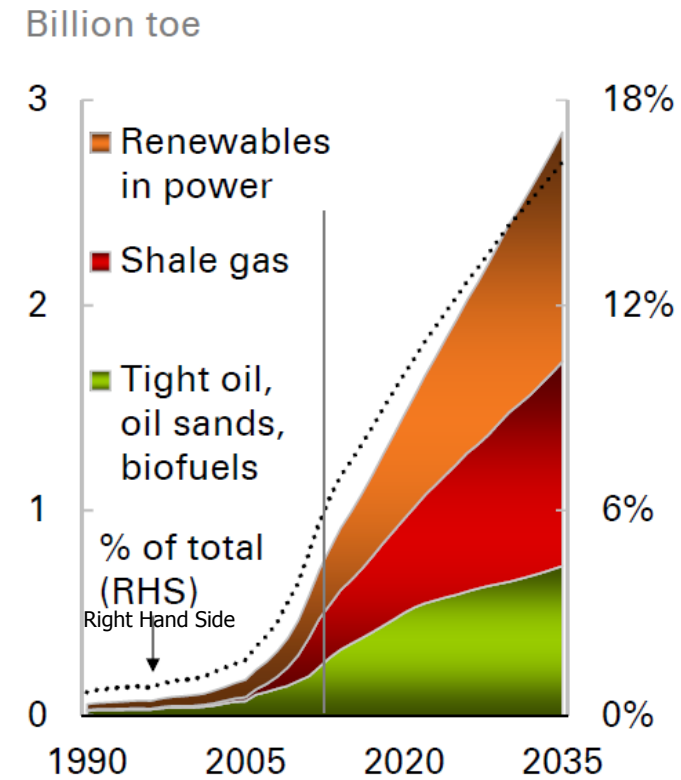


Le risorse fossili sono in esaurimento?

Energy consumptions by fuel



Contribution of new sources

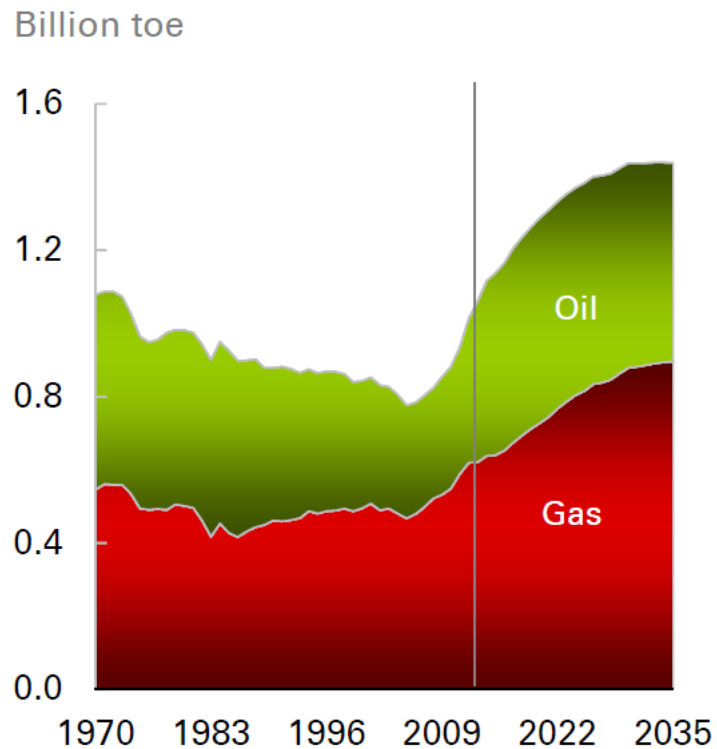




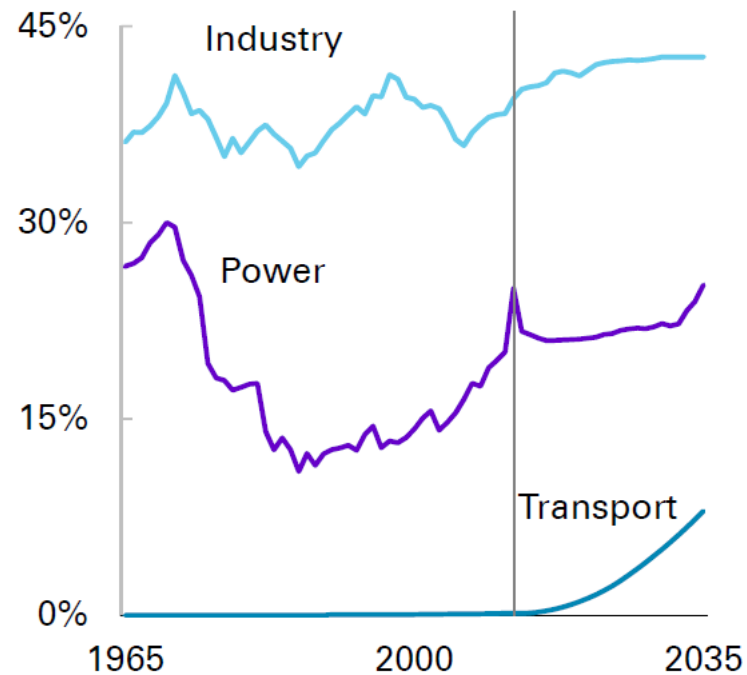
Con quali problemi?

La rivoluzione dello 'shale gas' negli US è un esempio dell'abbondanza di risorse fossili

US oil and gas supply



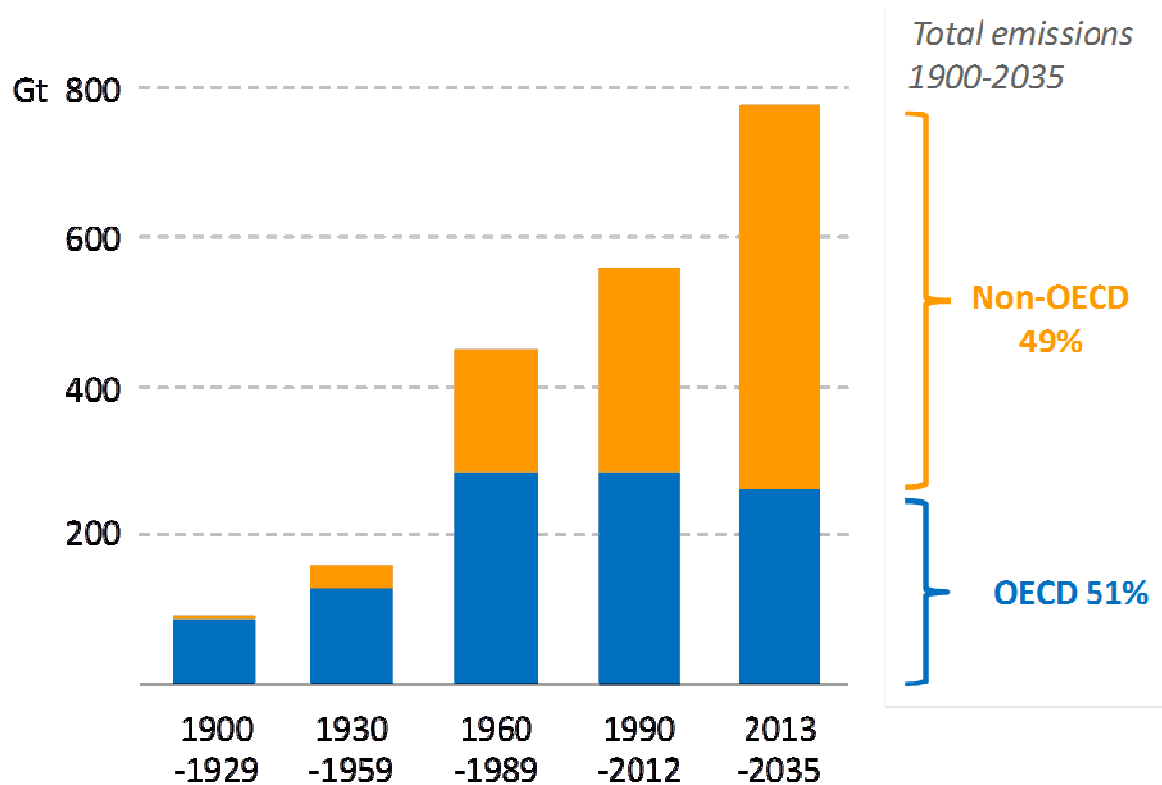
Gas share of US sector demand



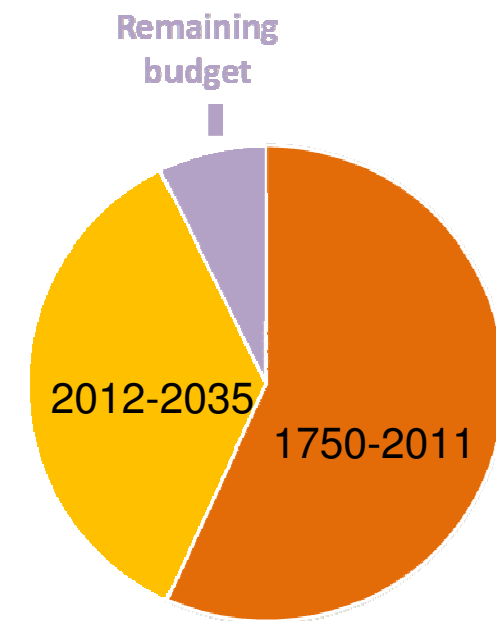


Conseguenze ambientali: emissioni di CO₂

Cumulative energy-related CO₂ emissions



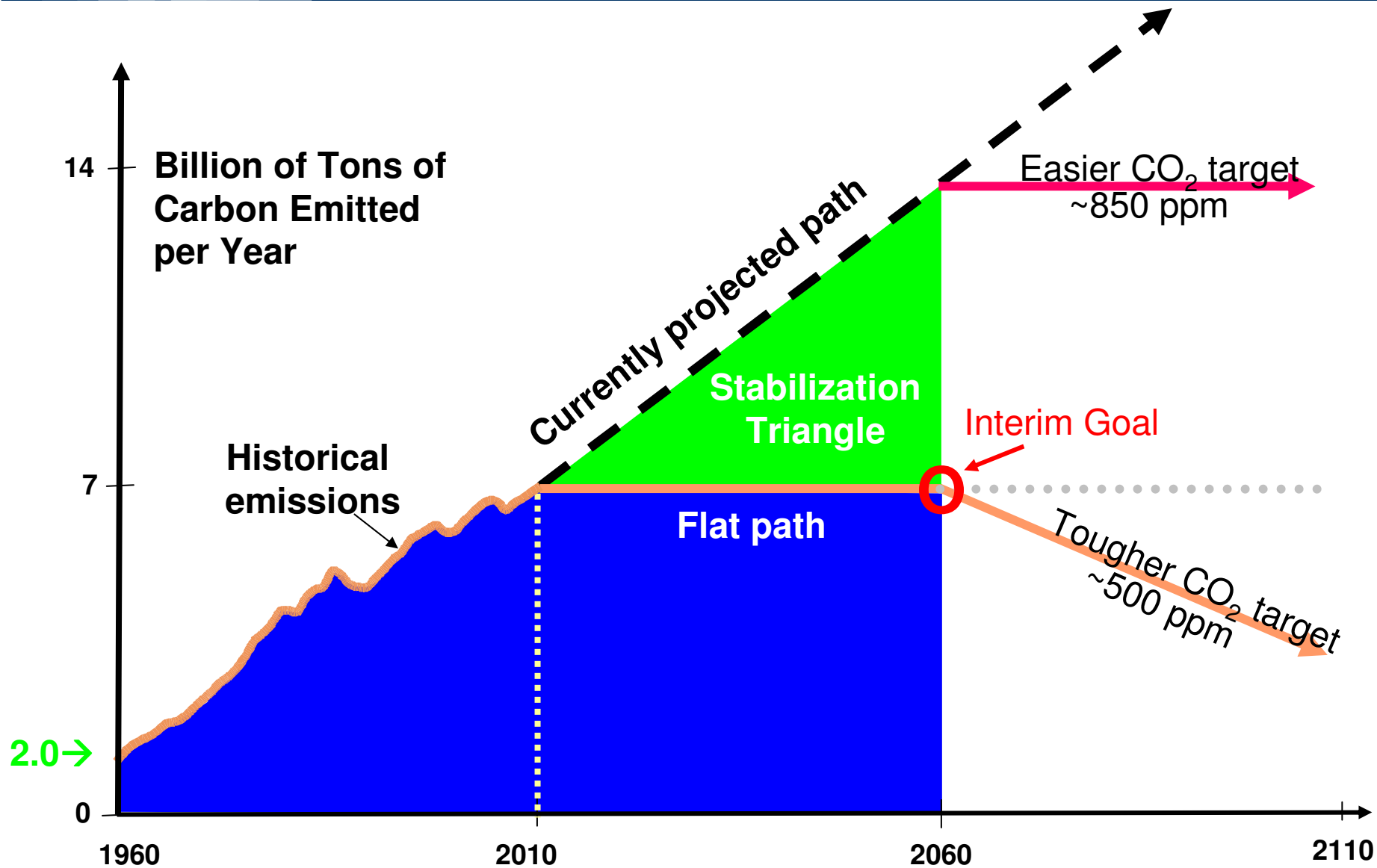
'Carbon budget' for 2 °C



Fonte IEA 2013

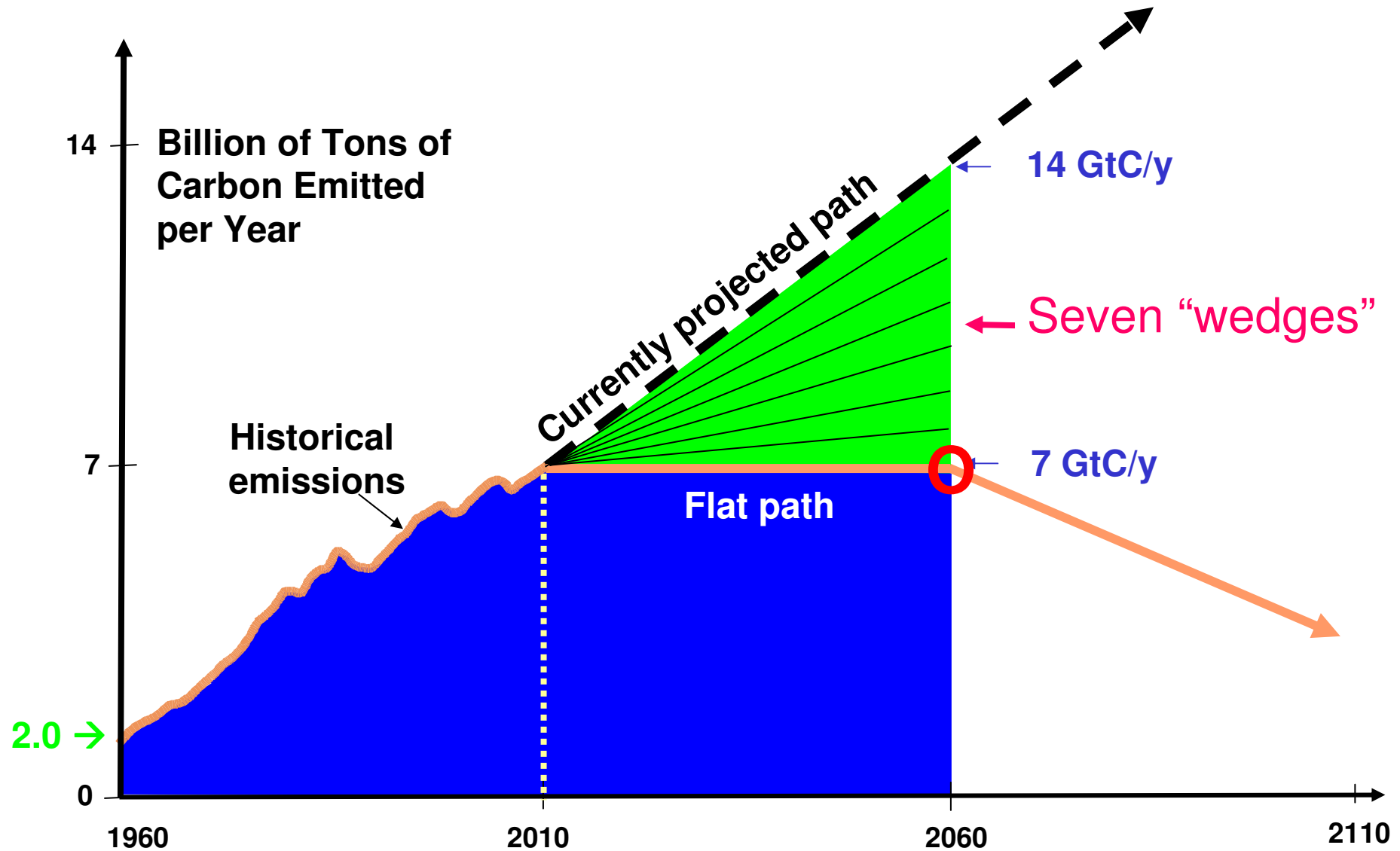


Le emissioni di gas serra





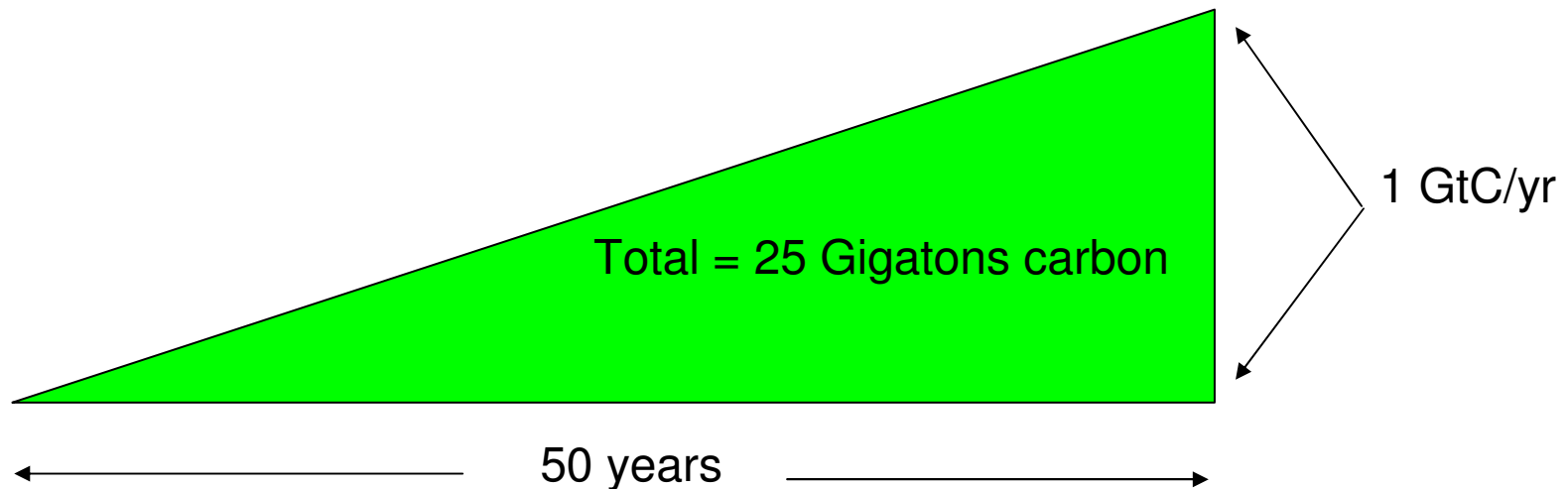
The Wedges ("cunei")





What is a “Wedge”?

A “wedge” is a strategy to reduce carbon emissions that grows in 50 years from zero to 1.0 GtC/yr.



Cumulatively, a wedge redirects the flow of 25 Gt(C) in its first 50 years.

A “solution” to the Greenhouse problem should have the potential to provide at least one wedge.



Making a wedge...

11

Cosa serve per realizzare un “cuneo”?

- In 50 anni, evitare la costruzione di (circa) 680 GW di centrali a carbone (tecnologia attuale, $\eta = 45\%$), sostituendole con centrali a zero emissioni di CO₂.
- Si tratta di circa 14 volte il parco termoelettrico italiano, di 350 centrali come quella di Torrevaldaliga





Making a wedge...

12

Alcune strategie possibili per
UNA "WEDGE":

**Avere in esercizio tra 50 anni
680 GW di centrali nucleari**

- 425 reattori EPR (tipo Flamanville, Olkiluoto)
- Un investimento di 2500 miliardi di euro (o più ???)





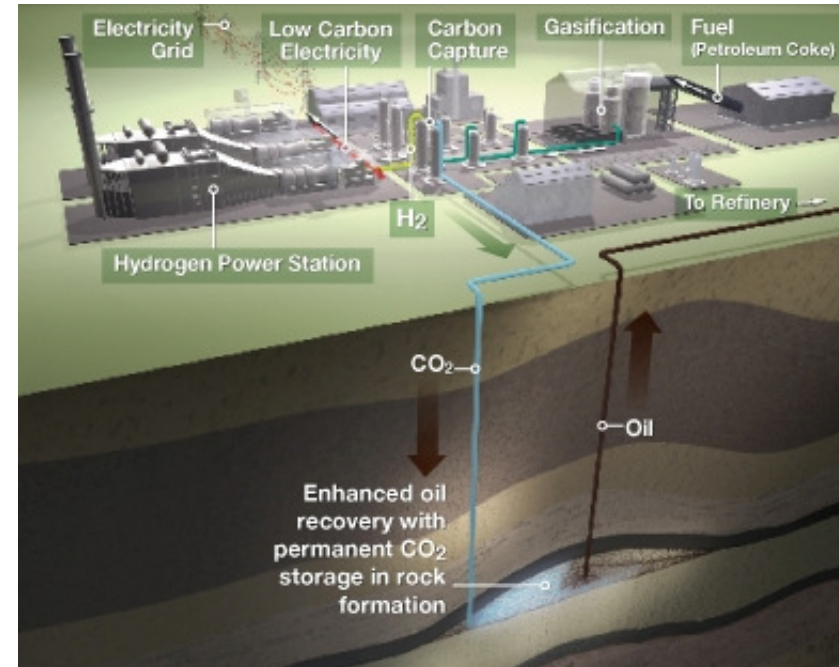
Making a wedge...

13

Alcune strategie possibili per
UNA "WEDGE":

**Avere in esercizio tra 50 anni
800 GW di centrali con cattura
della CO₂ (tecniche CCS)**

- Un investimento attorno a 1500 miliardi di euro.
- Tecnologia non dimostrata ma basata su componenti e processi ben noti





Making a wedge...

14

Alcune strategie possibili per
UNA "WEDGE":

**Avere in esercizio tra 50 anni
2200 GW di generatori eolici**

- un milione di grandi torri da 2 MW di picco
- un investimento di 4500 miliardi di euro (650 anni di funzionamento dell'università italiana...)





Making a wedge...

15

Alcune strategie possibili per
UNA "WEDGE":

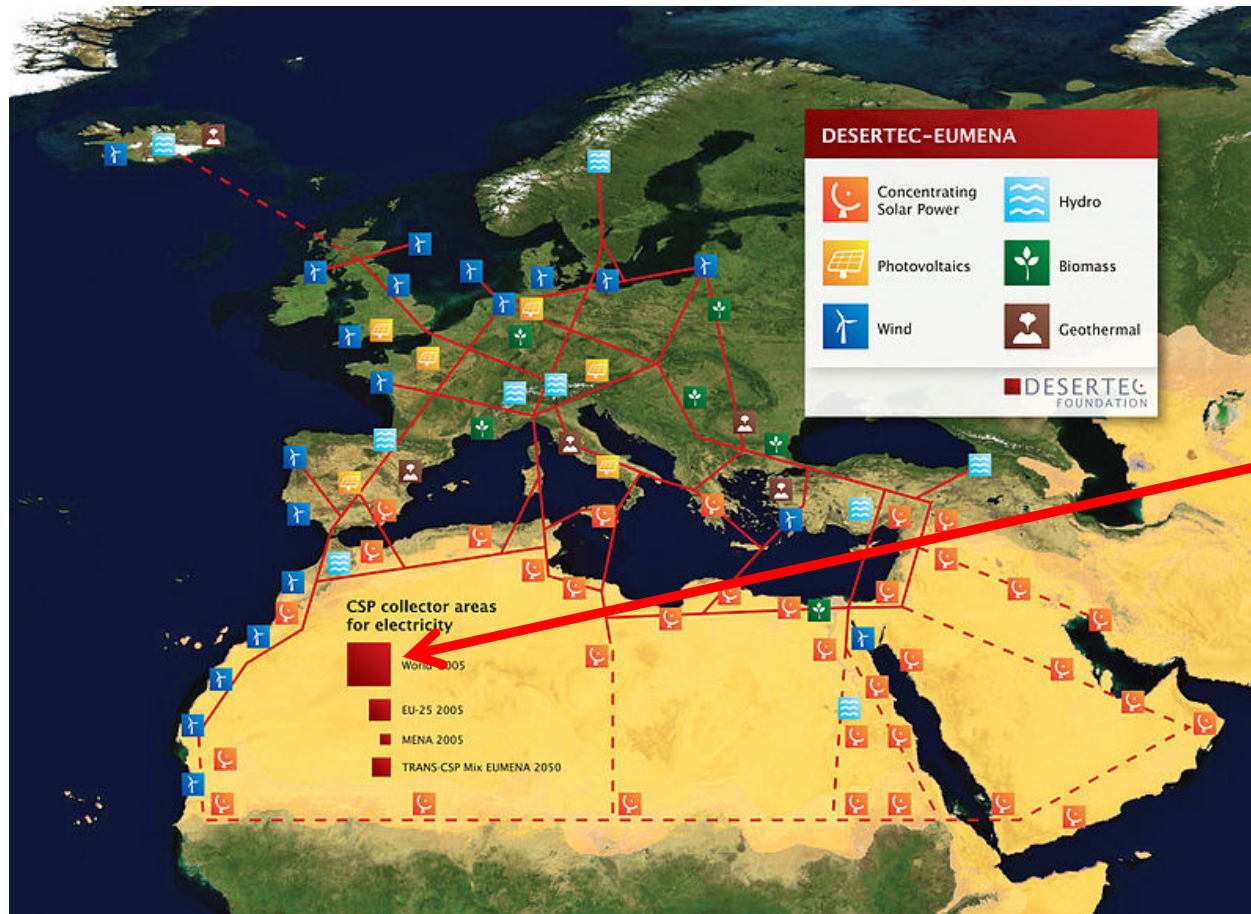
**Avere in esercizio tra 50 anni
4500 GW di solare fotovoltaico
(insolazione Nord Italia)**

- Un investimento di 9-13,000 miliardi di euro
- Oppure (*provocazione ...*), una spesa di 50,000 miliardi di euro (4 anni di GDP USA!) in 50 anni di incentivi, al valore attuale di 0.4 €/kWh





La sfida è difficile, ma non impossibile!



Dedicando a impianti solari questa superficie, si produrrebbe tutta l'energia che serve all'umanità



La sfida è difficile, ma non impossibile!

Cattura e sequestro della CO₂ da centrali a combustibili fossili (gas, carbone)

- Cattura: evitare la dispersione di CO₂ in atmosfera, renderla disponibile come un flusso ad elevata purezza, allo stato liquido (sono disponibili molte tecnologie 'mature', tratte dall'industria chimica)
- Sequestro: immagazzinamento definitivo, per periodi lunghissimi

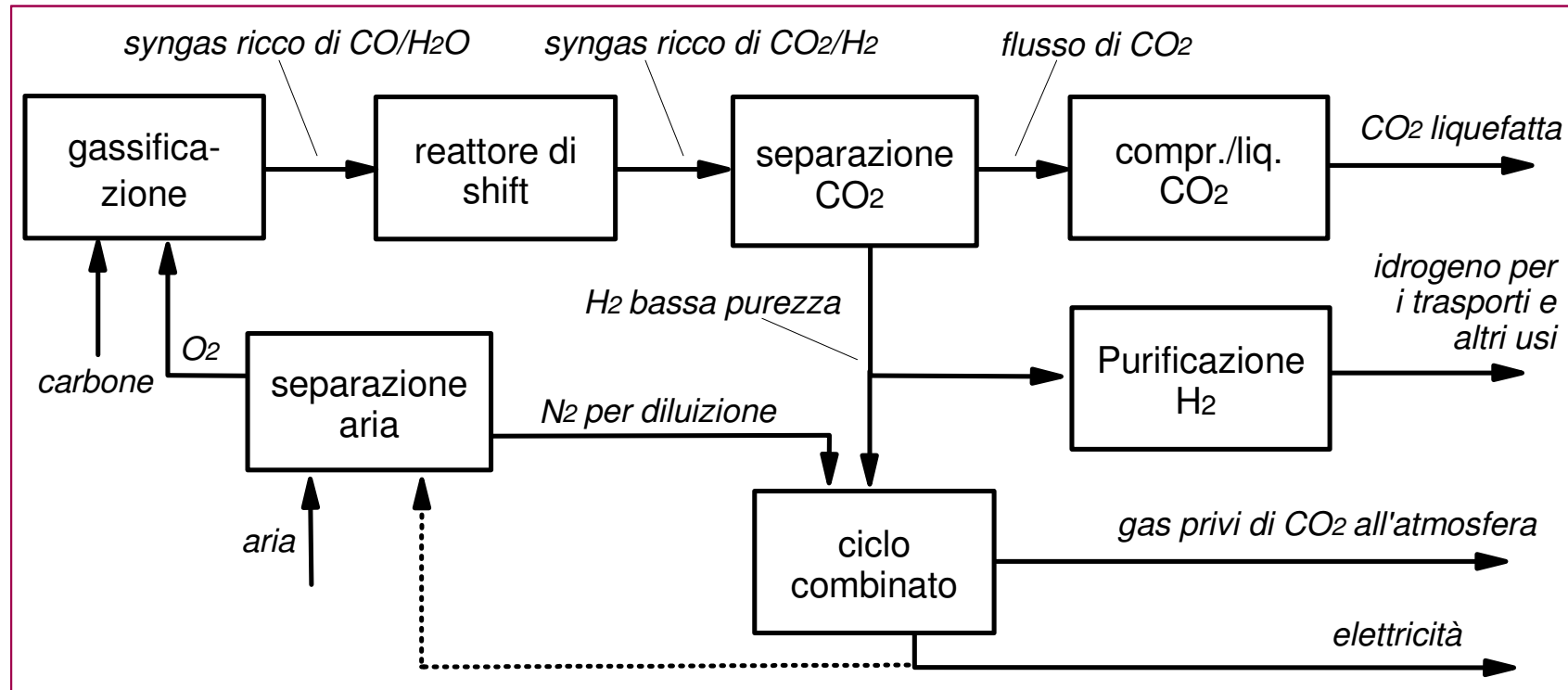
Previsione delle capacità di immagazzinamento geologico.

Tipo di stoccaggio	Capacità prevista, GtCO ₂ (min-max)	Anni di immagazzinamento (min-max)*
Giacimenti di petrolio e gas naturale	675-900	29-39
Giacimenti di carbone (ECBM)	10-200	4-85
Acquiferi salini profondi	1000-10000	43-425

* riferiti a tutta la attuale produzione mondiale di CO₂ (23.5 GtCO₂)



Questa tecnologia di cattura è riconosciuta come quella con le più elevate potenzialità e con i minori costi (CO₂ evitata: stime 30-50 €/ton)



- Shift del syngas ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2 + 41.2 \text{ kJ/mol}$) a temperature attorno ai 350 °C
- Separazione di CO₂ con metodi ad assorbimento fisico (es: Selexol) o chimico
- Syngas finale composto al 90% circa da idrogeno
- Purificazione idrogeno con Pressure Swing Adsorber



- Potenzialità adeguate (esempi...)
 - Nucleare
 - Fossili (gas, carbone) con cattura CO₂, settore elettrico
 - Fossili con cattura CO₂ e produzione idrogeno, settore trasporti
 - Mix rinnovabili (solare TDN, eolico, biomasse)
 - Risparmio energetico nei vari settori (residenziale, industria ...)
- Sostenibilità economica
 - Costi di investimento [€/MW]
 - Costi di produzione [€/MJ]
 - Costi riferiti alla CO₂ evitata [€/tonC]
 - Incentivazione necessaria, ma non tale da distorcere il mercato e da creare "bolle" non sostenibili nel medio-lungo periodo



Figure 10.5 • Electricity generating costs of renewable energy technologies for large-scale electricity generation in the New Policies Scenario

