



Per gentile concessione dell'ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI  
Relazione presentata all'Accademia Nazionale dei Lincei alla XXVIII Giornata dell'Ambiente  
Convegno "Energia ed ecologia: un peso o un'opportunità per l'economia?" (Roma, 15 ottobre 2010)

[www.ssc.it](http://www.ssc.it)

6 novembre 2010

# ***Riscaldamento globale e trasporti: problemi e strategie***

**Andrea Boitani**





# La catena del cambiamento climatico

- Il punto di partenza è il flusso annuo di emissioni di gas serra (negli ultimi dieci anni l'incremento annuo è stato di 2,5 ppm e tende ad accelerare).
- Tale flusso genera un accumulo di gas serra (oggi si è raggiunta una concentrazione di 430 ppm; potrebbe arrivare a 750 ppm alla fine del secolo).
- L'accumulo produce (con probabilità differenti) un aumento delle temperature.
- L'aumento della temperatura provoca cambiamenti climatici rilevanti.



# Probabilità di riscaldamento

| Livelli di stabilizzazione | 2°  | 3° | 4° | 5° | 6° | 7° |
|----------------------------|-----|----|----|----|----|----|
| ppm CO <sub>2e</sub>       |     |    |    |    |    |    |
| 450                        | 78  | 18 | 3  | 1  | 0  | 0  |
| 500                        | 96  | 44 | 11 | 3  | 1  | 0  |
| 550                        | 99  | 69 | 24 | 7  | 2  | 1  |
| 650                        | 100 | 94 | 58 | 24 | 9  | 4  |
| 750                        | 100 | 99 | 82 | 47 | 22 | 9  |

Probabilità di superare, in equilibrio un dato incremento di temperatura

Fonte: *Rapporto Stern*, Box 8.1, p.220



# Business as usual e traiettorie di stabilizzazione

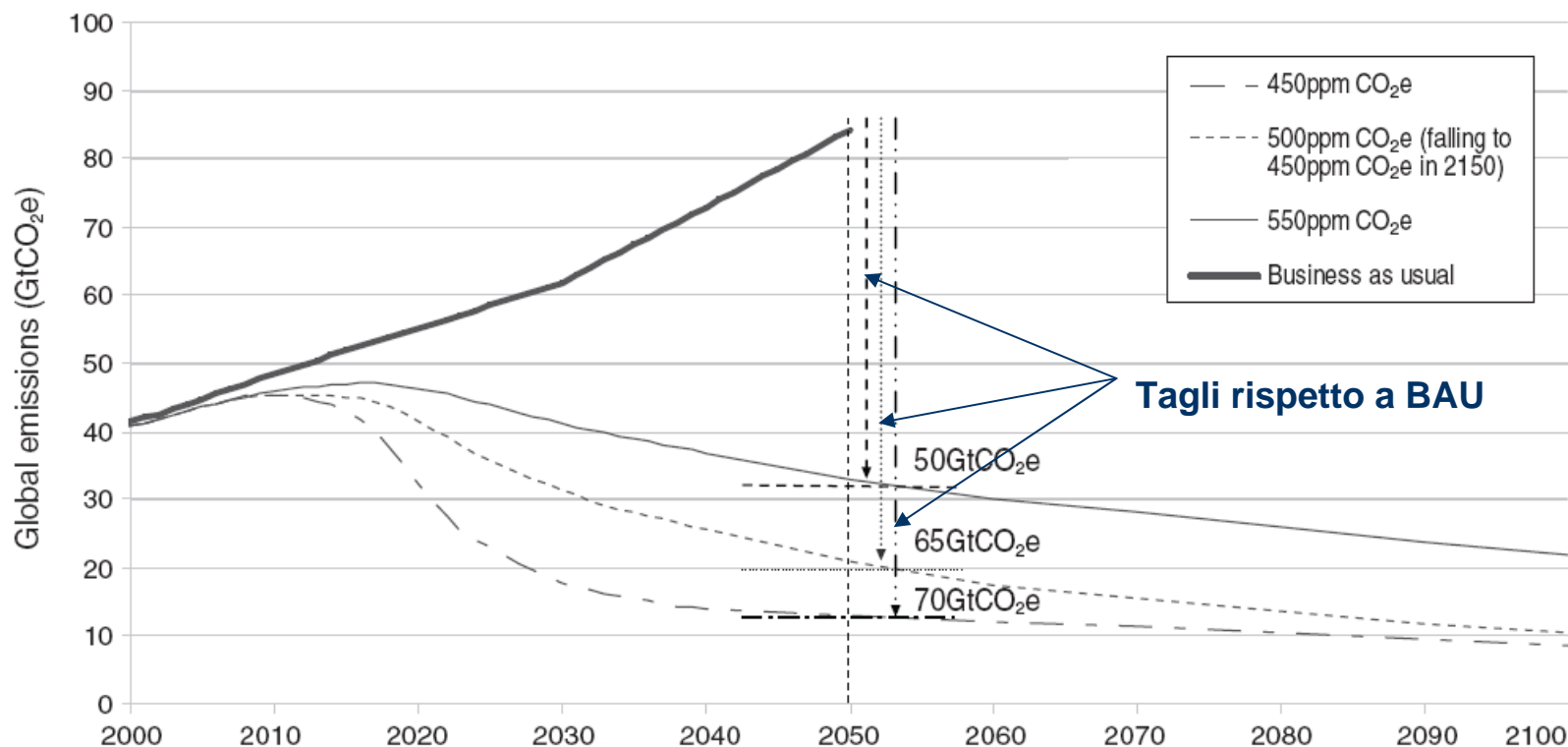


FIGURE 2. BAU AND STABILIZATION TRAJECTORIES FOR 450–550PPM CO<sub>2</sub>e

Source: Stern Review, Figure 8.4 (Stern 2007, 233).



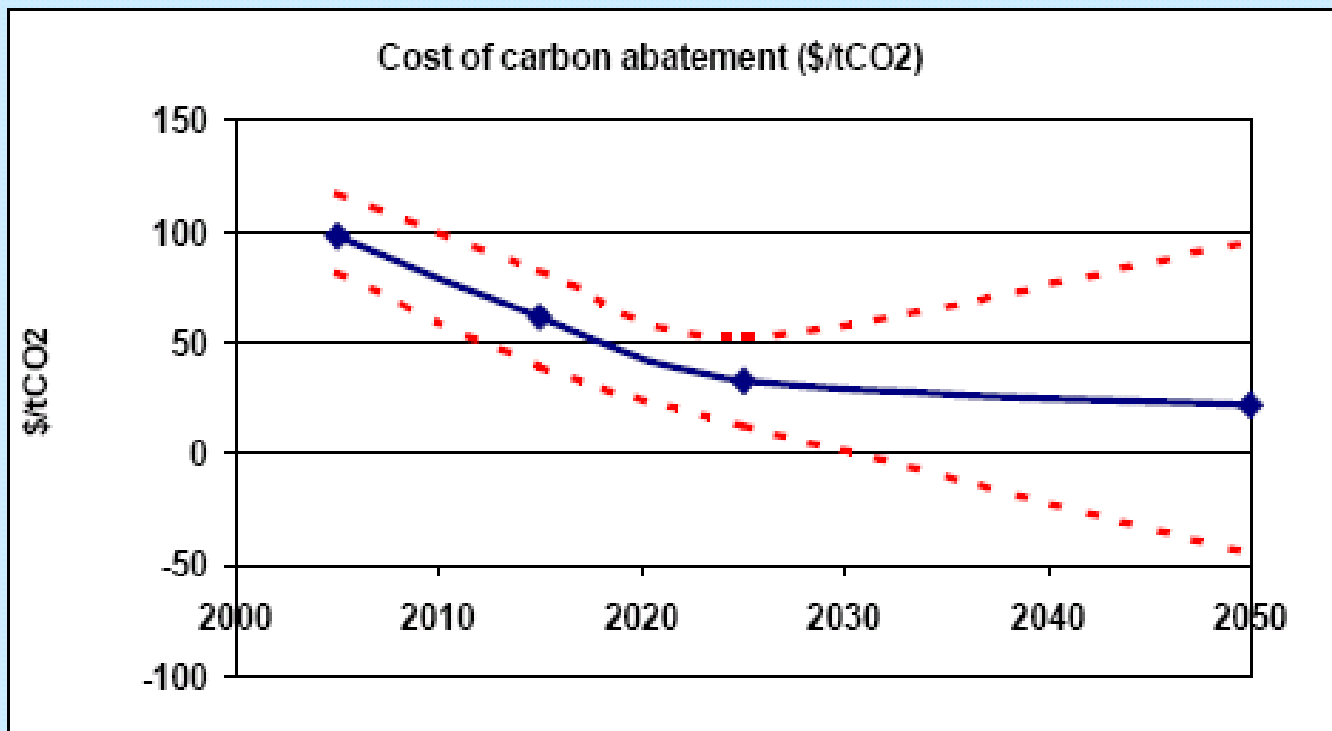


## Costi dei cambiamenti climatici e costi della riduzione delle emissioni: non si possono evitare scelte etiche

- Il costo della stabilizzazione a 550 ppm nel 2050 è stimato (*Stern Review*) nell'1% del Pil mondiale ogni anno, per 50-100 anni, con ampie bande di oscillazione dovute alle numerose incertezze.
- Già oggi le 550 sono considerate troppo rischiose. Una soglia di 500 ppm verrebbe a costare il 2% del Pil annuo.
- Se cominciassimo tra 30 anni (investendo oggi per spingere al massimo la crescita "tradizionale"), il costo salirebbe a circa il 4% (per una soglia di 550 ppm) del Pil per un periodo analogo e con rischi di insuccesso molto maggiori o addirittura di incappare nell'irreversibilità.
- Stern valuta che un prelievo annuo dell'1% (500 mld \$ di oggi) ritarderebbe di 3 mesi il raggiungimento del Pil che il mondo avrebbe nel 2050 in assenza di interventi. Un prelievo annuo del 2% (1000 mld \$) implicherebbe un ritardo di 6 mesi.



# Costi medi decrescenti della riduzione della CO<sub>2</sub>



**Costo medio di riduzione da combustibili fossili a 18 Gt CO<sub>2</sub> nel 2050**  
Le linee rosse indicano bande di incertezza intorno alla stima centrale





# Confusioni di destra e di sinistra

- "Le argomentazioni di coloro che sono contrari a un'azione forte e tempestiva sono intessute di confusione in campo sia scientifico che economico. E nella maggior parte dei casi sfuggono, trascurano o banalizzano alcune fondamentali questioni di etica" (Stern, 2009, p. 52)
- Le azioni a tutela del clima non sono né il cavallo di Troia di un nuovo statalismo anti-mercato (*tesi di destra?*), né il passatempo di lusso di classi e paesi ricchi (*tesi di sinistra?*).
- Sono interventi di correzione dei difetti del mercato, quindi volti a rendere i mercati più efficienti e sono interventi che tutelano soprattutto i paesi e i ceti più poveri, che sarebbero i più colpiti dai cambiamenti climatici.



# I curiosi effetti del tasso di sconto

- L'analisi costi-benefici dei cambiamenti climatici, non è standard, perché non si tratta di analizzare cambiamenti "al margine", ovvero cambiamenti anche rilevanti ma solo per uno o due mercati.

$$TSS \neq TSP \neq TRSI \neq TRPI$$

- Usando un tasso di sconto dell'1% il valore scontato di € 1.000.000 tra 300 anni sarebbe pari a € 50.000.
- Usando un tasso di sconto del 5% il valore scontato di € 1.000.000 tra 300 anni sarebbe pari a € 0,50!
- Un tasso di sconto alto toglie importanza a costi e benefici futuri.
- Con un tasso di sconto elevato il costo attualizzato del BAU viene fortemente ridotto perché si manifesta nel futuro (abbastanza lontano), mentre il costo dell'abbattimento delle emissioni (che si dovrebbe sopportare fin da oggi) viene ingrandito.





# L'etica della "Stern Review": un utilitarismo temperato

## Il tasso di sconto sociale

$s$  = tasso di sconto sociale

$\delta$  = tasso di preferenza temporale

$\eta$  = elasticità dell'utilità marginale sociale rispetto al consumo,  
con utilità marginale decrescente: più alto è  $\eta$  maggiore è  
l'equità intergenerazionale.

$g$  = tasso di crescita del consumo  $\cong$  tasso di crescita del Pil

$$s = \delta + \eta \cdot g = 0,1 + 1 \cdot 1,3 = 1,4$$



# Ma di che egualitarismo parliamo?

- Perché si dovrebbe fissare un tasso di preferenza temporale  $\delta$  alto: significa valutare il benessere di chi è nato dopo molto meno di quello di chi è nato prima. Con un  $\delta=2$  (Nordhaus, 2007) il benessere di un nato nel 1990 “varrebbe” circa la metà del benessere di un nato nel 1955!
- Perché tanto zelo per l'*equità intergenerazionale* (si lamenta che la Stern Review (2006) abbia assunto un  $\eta$  basso) quando gran parte dell'analisi CB non dà alcun peso all'*equità intragenerazionale*?
- Con  $\eta=1$ , se si toglie 1 € a R e lo si dà a P, cento volte più povero di R, l'utilità di P aumenterebbe di 100 volte la perdita di utilità di R. Con  $\eta=2$  l'utilità di P sarebbe di 10.000 volte la perdita di R!

$$s_A = 0,1 + 2 \cdot 1,4 = 2,9$$



# Tasso di sconto e variazione dei prezzi relativi (i)

## Sterner e Persson (2007)

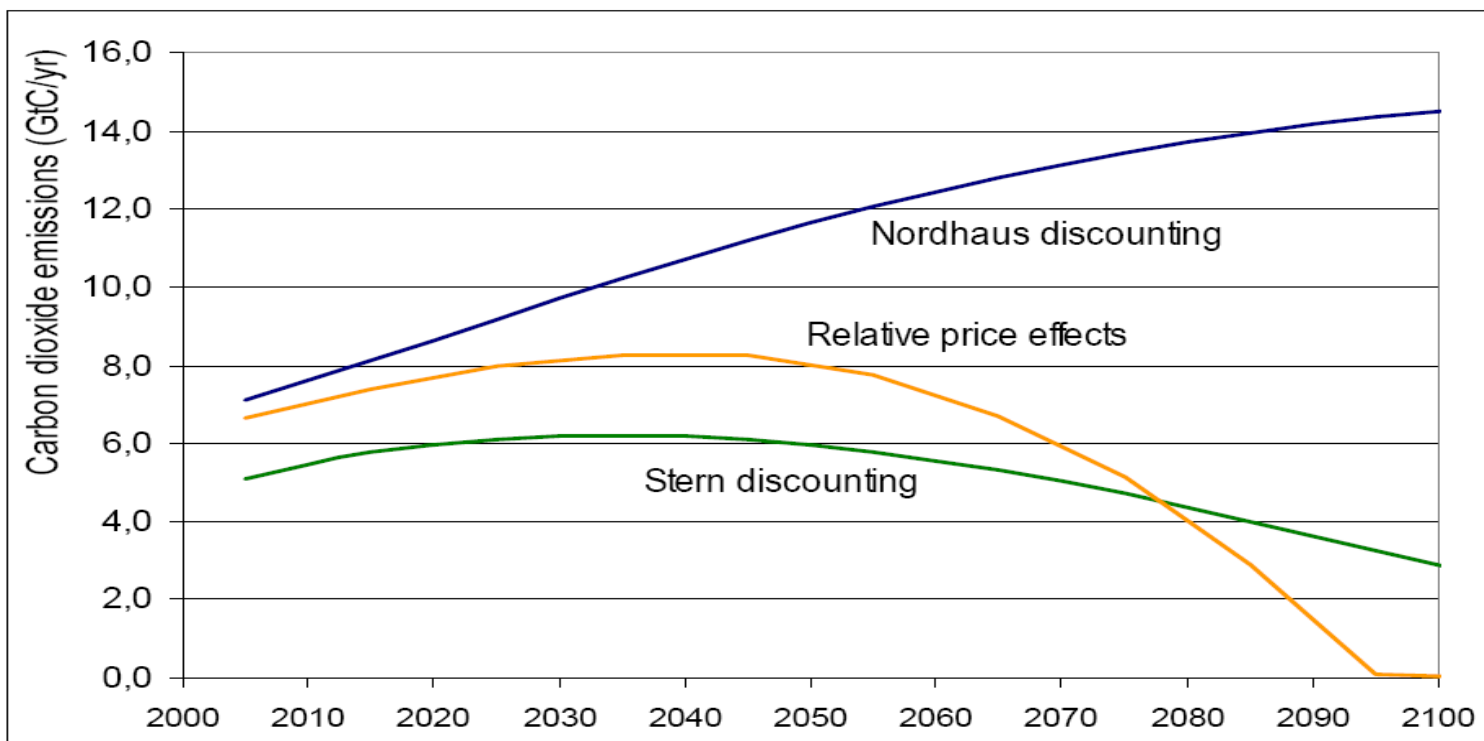
- Non ci sono solo i beni di consumo, ci sono anche i beni ambientali, la cui elasticità di sostituzione con i beni di consumo è bassa.
- Se si producono sempre più beni di consumo a scapito dei beni ambientali, questi diventano più scarsi e i loro prezzi in termini di beni di consumo aumentano.
- I costi del cambiamento climatico vanno sì scontati, ma anche "rivalutati" per tenere conto del cambiamento dei prezzi relativi.



# Tasso di sconto e variazione dei prezzi relativi (ii)

## Sterner e Persson (2007)

### Sentieri ottimi di emissioni di CO<sub>2</sub> utilizzando il modello DICE



Fonte: Sterner, Persson, 2007





# L'etica della "custodia"

## Collier (2010)

- La concentrazione di CO<sub>2</sub> è una passività (*liability*) rinnovabile che lasciamo alle generazioni future.
- La responsabilità di custodia non implica un requisito assoluto di conservazione. Ma se decidiamo di emettere più CO<sub>2</sub> di quanto sia sostenibile, dobbiamo compensare le generazioni future lasciando loro degli *asset* extra.
- Poiché le generazioni future saranno più ricche di quelle presenti, apprezzeranno molto un ambiente (clima) decente, mentre apprezzeranno di meno i beni materiali, che avranno in abbondanza.
- Perciò la compensazione in termini di *asset* materiali per la passività che lasciamo dovrà essere molto elevata: forse oltre le nostre possibilità di oggi e di domani.
- Probabilmente, ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> ci verrebbe a costare meno!

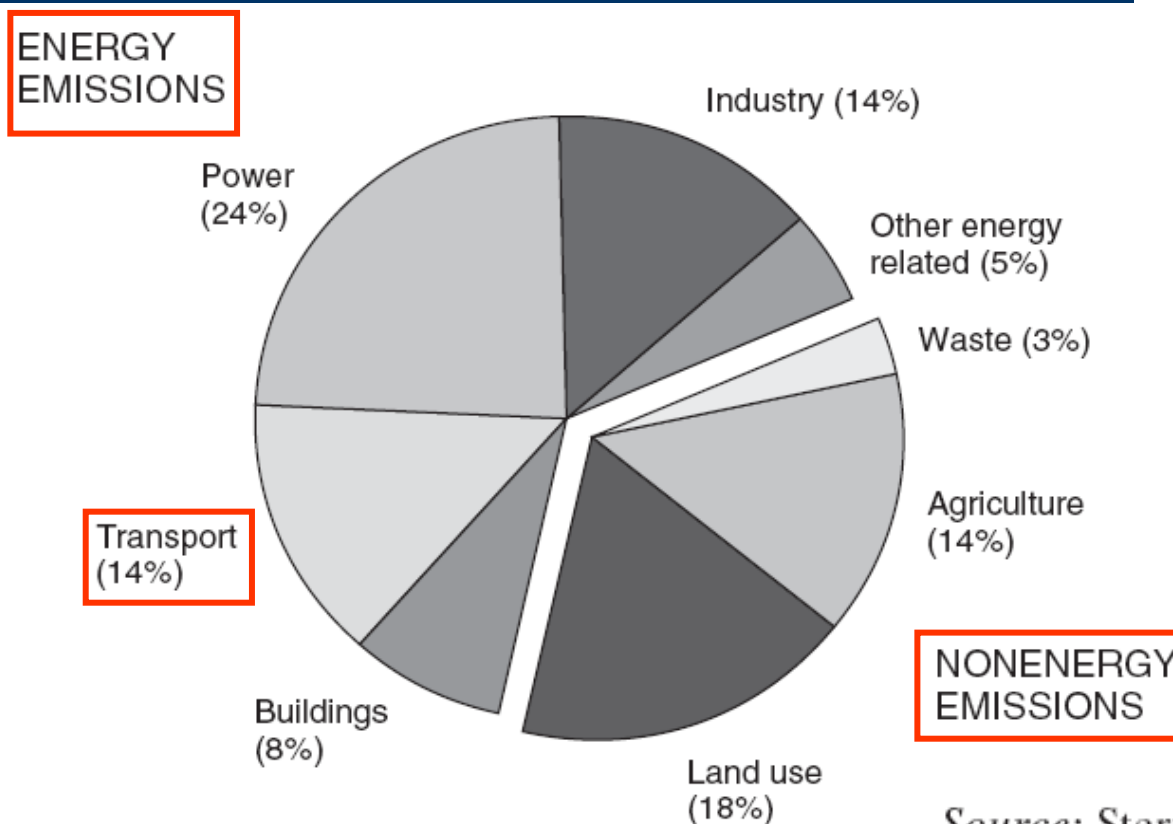


# Un percorso comunque arduo

- Per stabilizzare le emissioni a 550 ppm di CO<sub>2e</sub> le azioni devono essere estese a tutti settori.
- Dato che l'economia mondiale sarà nel 2050 circa il triplo di quella di oggi, un taglio del 50% delle emissioni, richiede un taglio dell'80-85% per unità di output.
- Se le emissioni dell'agricoltura sono difficilmente comprimibili (?) e le riduzioni dei paesi poveri ed emergenti saranno proporzionalmente inferiori a quelle dei paesi ricchi, i tagli al consumo di energia da fossili nei paesi ricchi dovranno essere molto elevati.



# I contributi settoriali alle emissioni



Total emissions in 2000: 42 GtCO<sub>2</sub>e

Source: Stern 2007, 196.

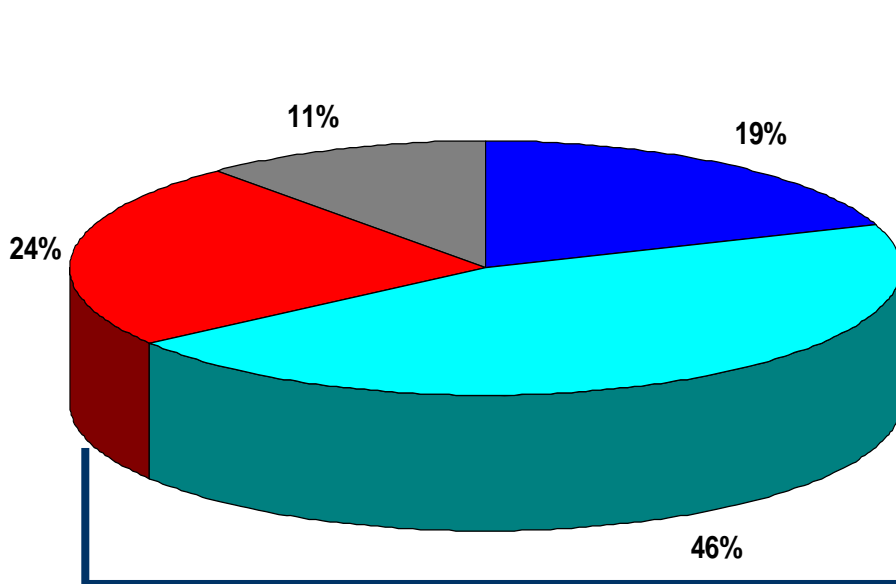
FIGURE 3. REDUCING EMISSIONS REQUIRES ACTION ACROSS MANY SECTORS





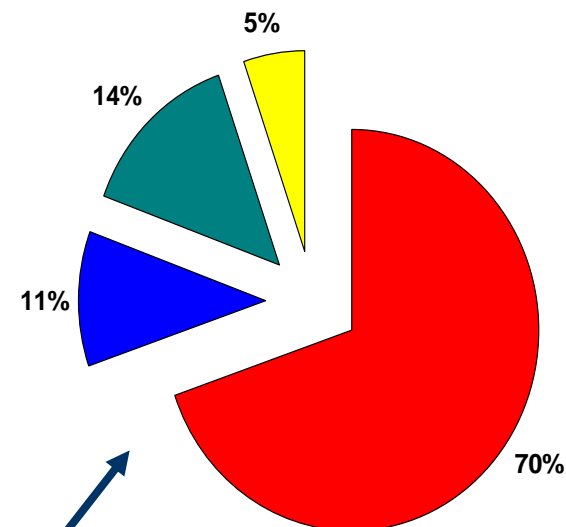
# Settori energetici: il contributo dei trasporti

Emissioni mondiali da combustibili fossili (settori energetici)



- Industria manifatturiera e costruzioni
- Energia
- Trasporti
- Altri settori

Emissioni dei trasporti per modalità



- Strada
- Aviazione
- Navigazione
- Altri trasporti

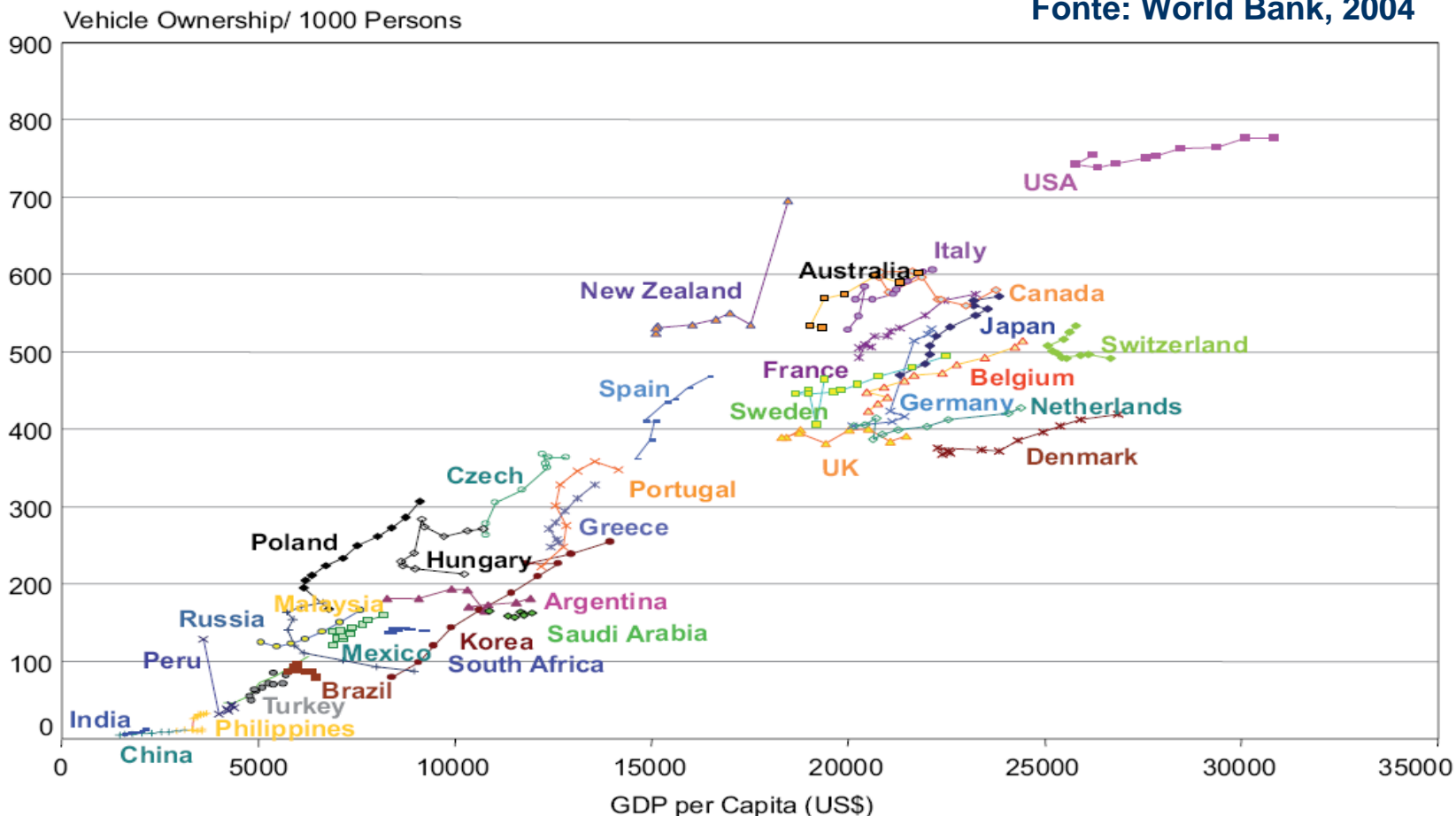






# Il possesso di veicoli cresce al crescere del reddito pro-capite

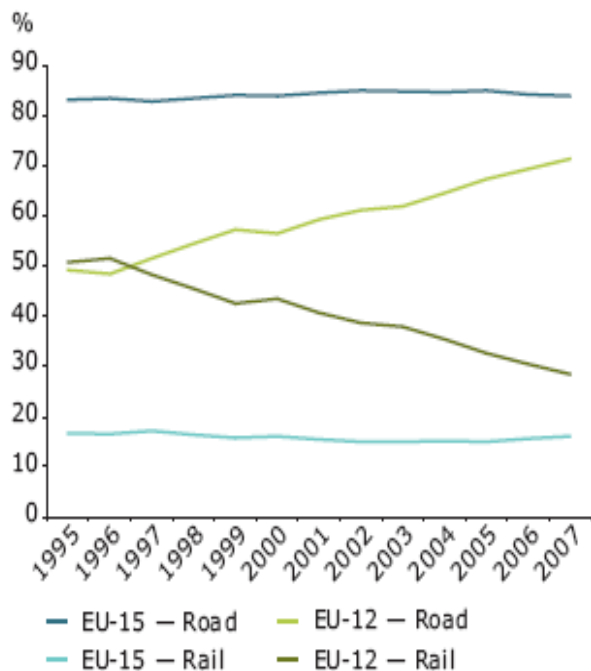
Fonte: World Bank, 2004





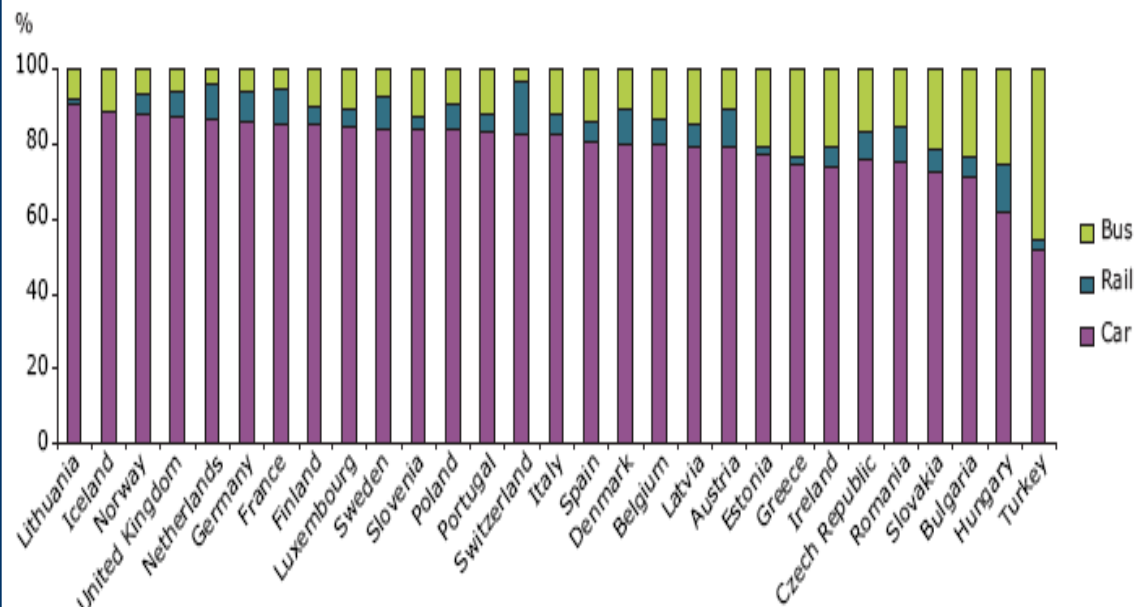
# Uno sguardo all'Europa (i): lo *split* modale del trasporto terrestre

### Quote modali trasporto merci terrestri



Source: Eurostat, 2009.

### Ripartizione modale trasporto passeggeri terrestri (2007)



Note: The Switzerland data are for 2005.

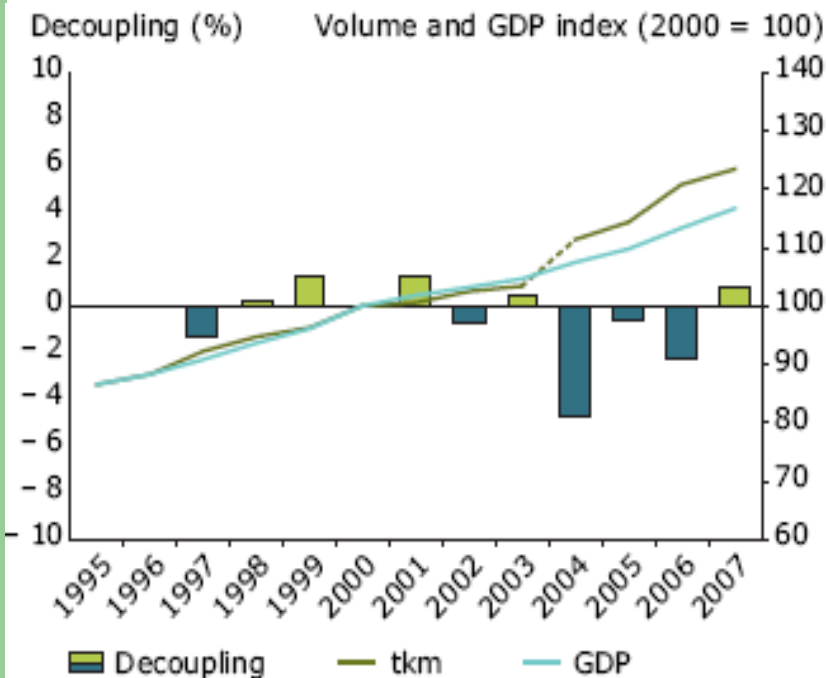
Source: Eurostat, 2009.



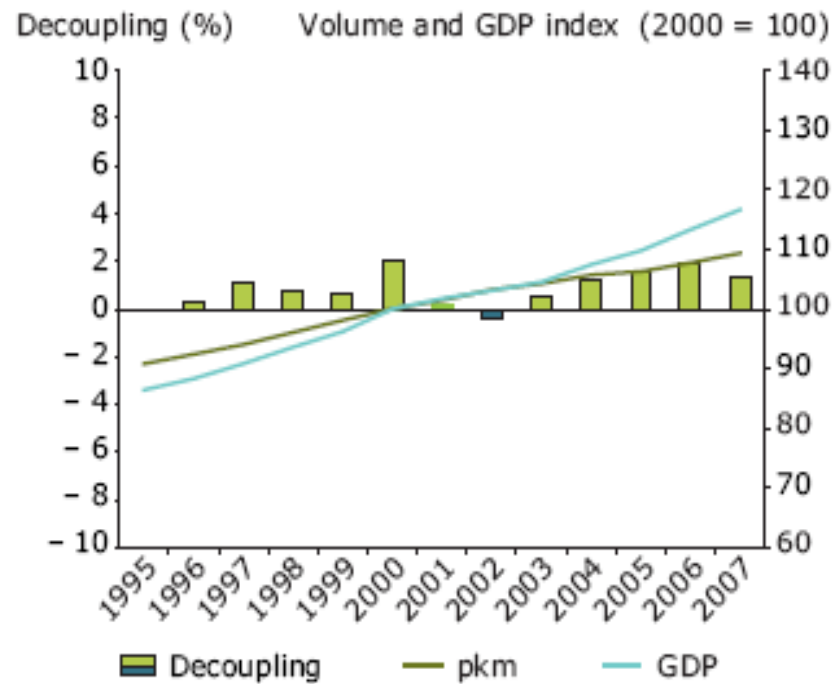


# Uno sguardo all'Europa (ii): andamento del Pil e trasporti terrestri

## Andamento Pil e trasporto merci



## Andamento Pil e trasporto passeggeri



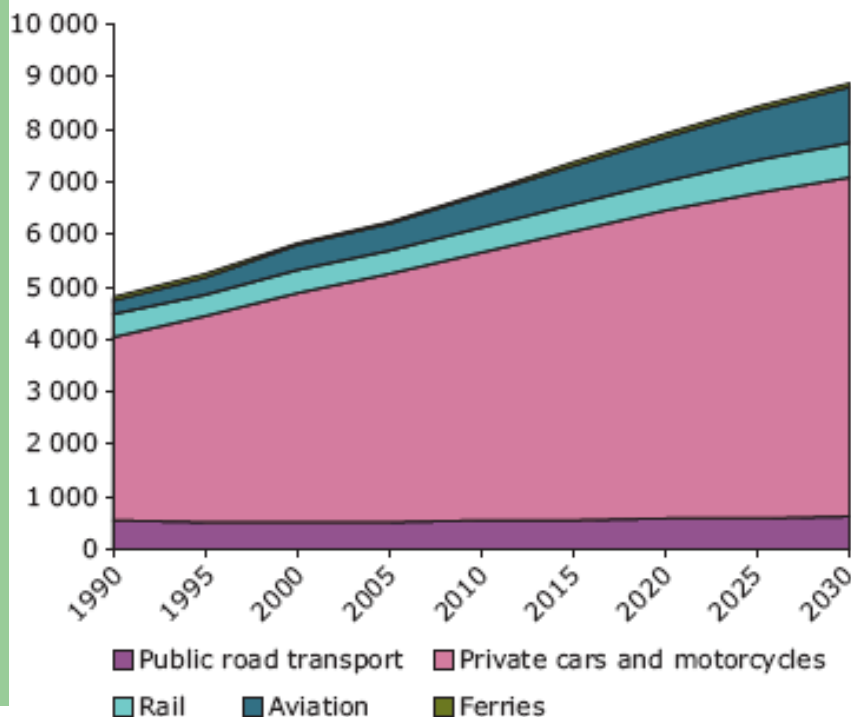
**Decoupling: in verde crescita del Pil superiore a quella del trasporto; in blu crescita del trasporto superiore a quella del Pil**



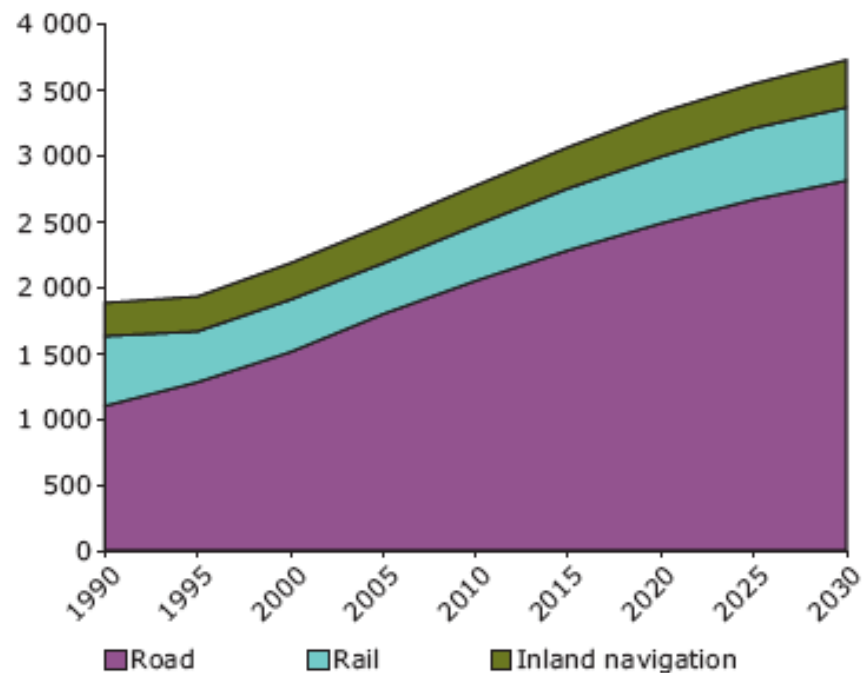


# Uno sguardo all'Europa (iii): Previsioni di traffico per i paesi EU-25

Gpkm (passenger transport activity)



Gtkm (freight transport activity)

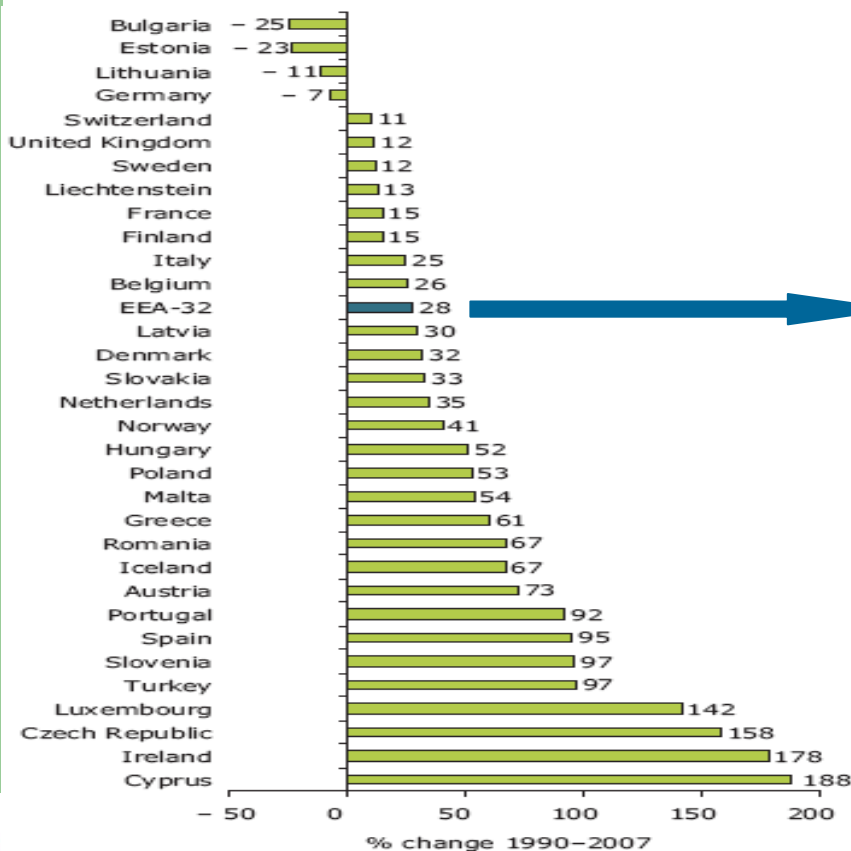


Source: EC, 2007.





# Uno sguardo all'Europa (iv): trend delle emissioni di gas serra dovute a i trasporti



Nei 32 paesi EEA le emissioni Di GS sono aumentate del 28% nel periodo 1990-2007, contro una riduzione dell'11% negli altri settori, trasporti esclusi

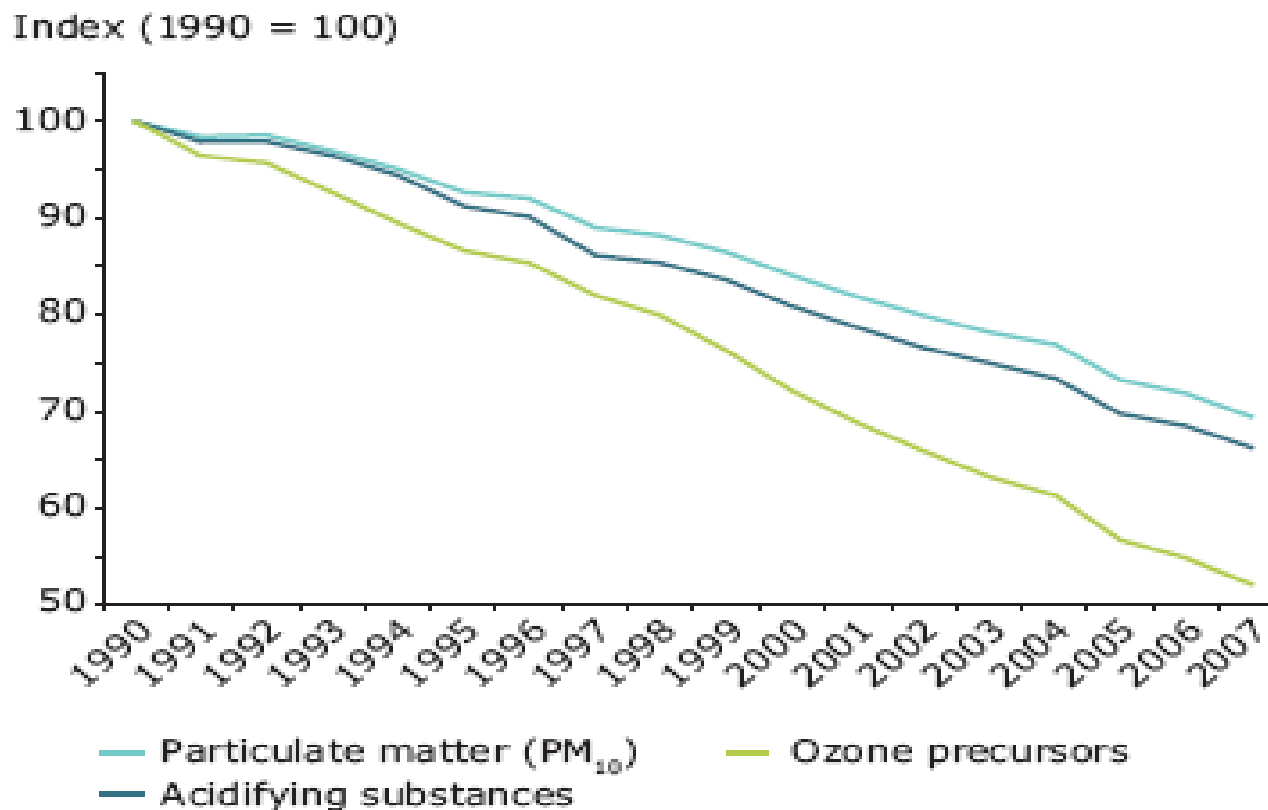
**Note:** Excluding international aviation and maritime transport (according to Kyoto).

**Source:** European Topic Centre for Air and Climate Change, 2009.





# Uno sguardo all'Europa (v): nelle città la qualità "locale" dell'aria migliora



Source: EEA, 2009b.

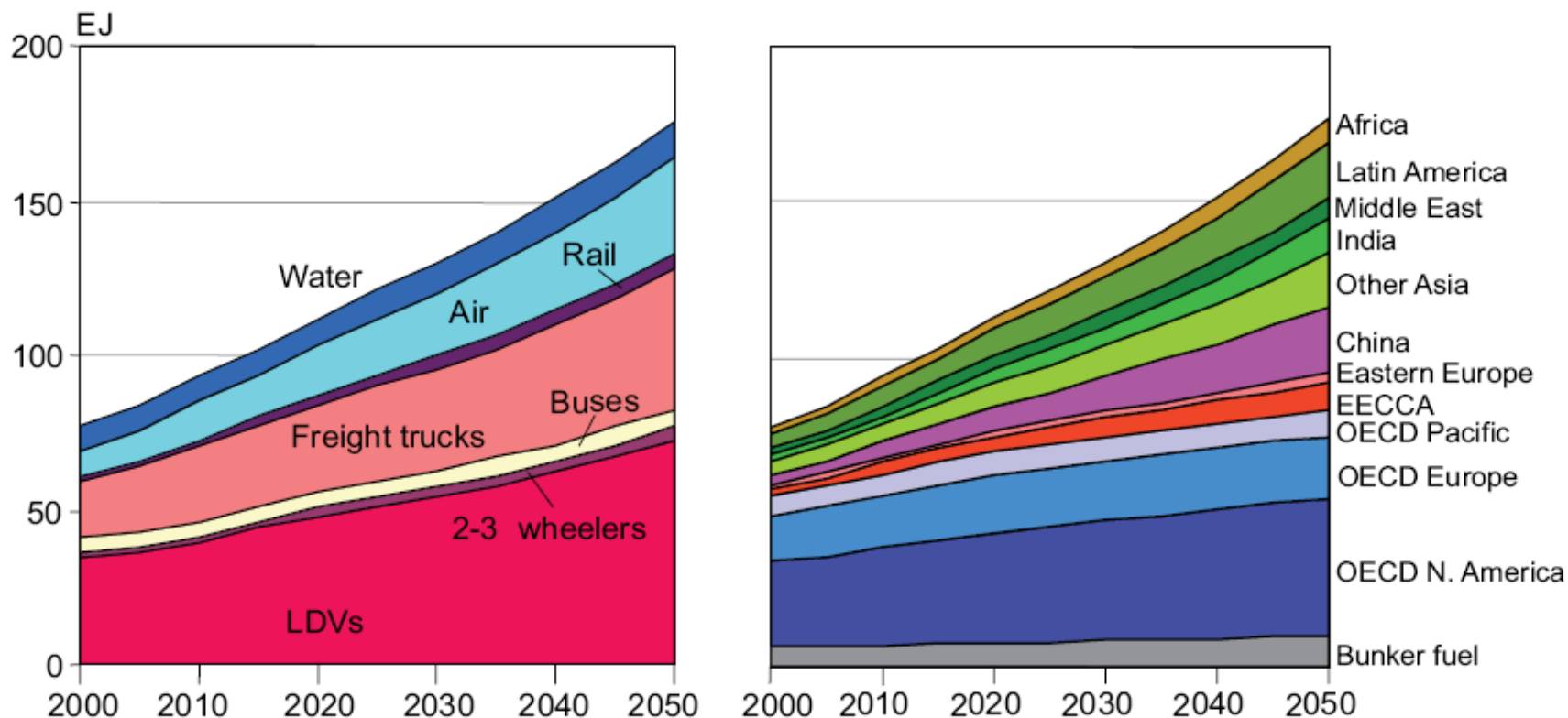


# Le prospettive BAU per il settore trasporti

- Secondo l'IPCC le emissioni mondiali di GS dovute ai trasporti aumenteranno dell'80% tra il 2002 e il 2030, cioè del 2,1% all'anno, media tra l'1,3% annuo dei paesi OCSE e il 3,6% dei paesi in via di sviluppo.
- Tra 2005 e 2050 l'IPCC stima che, in uno scenario BAU, mentre le emissioni dovute al trasporto su strada duplicheranno, quelle dovute all'aviazione triplicheranno (e bisogna aggiungere l'effetto serra dovuto alla forza di radiazione). Nel complesso, l'aviazione da sola potrebbe arrivare a contribuire il 5% dell'aumento di temperatura.
- Più che triplicherà il contributo alle emissioni totali dei paesi in via di sviluppo e dei paesi poveri.
- Il Nord America continuerà ad essere il più grande inquinatore.



# Emissioni dei trasporti: proiezioni al 2050 (BAU) per modalità e per area geografica



Fonte: IPCC, 2007, Fig. 5.3







# La contabilità delle emissioni nei trasporti stradali (i)

## Definizioni

$e$  = emissioni per veicolo

$km$  = chilometri percorsi da ogni veicolo

$\gamma$  = velocità media

$hp$  = potenza media dei veicoli (cavalli vapore)

$\eta$  = emissioni per cavallo vapore (inefficienza energetica dei motori)

$E$  = emissioni totali

$V$  = veicoli totali

$Y$  = Pil reale

$P$  = popolazione





# La contabilità delle emissioni nei trasporti stradali (ii)

$$V \equiv \frac{V}{Y} \cdot \frac{Y}{P} \cdot P$$

identità

$$\frac{V}{Y} \equiv v = \text{tasso di motorizzazione}$$

$$\frac{Y}{P} \equiv y = \text{Pil pro - capite}$$

$$E = e \times V \times k_m \times \gamma$$

$$E = \eta \cdot h_p \cdot v \cdot k_m \cdot \gamma \cdot y \cdot P$$

$$\hat{E} = \hat{\eta} + \hat{h}_p + \hat{v} + \hat{k}_m + \hat{\gamma} + \hat{y} + \hat{P}$$



# Tecnologia potenza e comportamenti

- Considerando che il Pil pro-capite cresce, così come la popolazione e il tasso di motorizzazione, i chilometri percorsi sono un'esogena la riduzione delle emissioni è essenzialmente affidata:
- al miglioramento dell'efficienza energetica dei motori ( $\hat{\eta} < 0$ )
- alla riduzione della potenza ( $\hat{h}_p < 0$ )
- alla riduzione della velocità ( $\hat{\gamma} < 0$ )



# La contabilità dello “split” modale (i)

## Definizioni

$$\frac{T_i}{T} = t_i = \text{quota della modalità } i \text{ sul totale dei trasporti (UT)}$$

$$\frac{E_i}{E} = \varepsilon_i = \text{quota di emissioni della modalità } i \text{ sul totale emissioni di } T$$

$$\frac{E_i}{T_i} = \alpha_i = \text{coefficiente di emissioni per unità di trasporto}$$

$$E_i = \alpha_i \cdot Y_i = \alpha_i \cdot t_i \cdot Y$$

$$\varepsilon_i = \alpha_i \cdot t_i \cdot \frac{Y}{E}$$

$$E = \sum_i \alpha_i \cdot t_i \cdot Y$$



## La contabilità dello "split" modale (ii)

**Il tasso di variazione delle emissioni totali è esprimibile come:**

$$\hat{E} = \sum_i \varepsilon_i (\hat{\alpha}_i + \hat{t}_i) + \hat{Y}$$

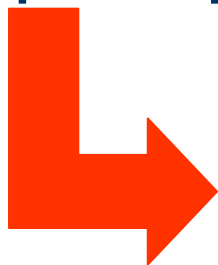
dove:

$\hat{\alpha}_i$  = effetto della tecnica

$\hat{t}_i$  = effetto di "split" modale

$\hat{Y}$  = effetto di scala

**Per pura ipotesi imponiamo che siano nulli tanto l'effetto di scala quanto quello della tecnica.**



$$\hat{E} = \sum_i \hat{t}_i (\alpha_i - \alpha)$$

$\alpha = \frac{E}{T}$  = coefficiente medio di emissioni  
 per unità di trasporto



# Le ragioni del trasporto collettivo e del cambio modale

- Affinché vi sia una riduzione delle emissioni
- È necessario che si riduca la quota di trasporti effettuata con le modalità più inquinanti ( $\alpha_i > \alpha$ ) e aumenti quella dei settori puliti ( $\alpha_i < \alpha$ ).
- Il trasporto collettivo su strada e la ferrovia hanno (per unità di traffico)  $\alpha_i < \alpha$ ; da qui il generale *favor* per i trasporti collettivi e il cambio modale.



# I limiti della speranza nel cambio modale

- In realtà, il cambio modale è molto difficile così come il passaggio al trasporto collettivo in generale – date la forte preferenza per i mezzi individuali – e quindi sarebbe molto costoso in termini di *welfare*.
- Inoltre l'effetto di scala non è affatto nullo, ma fortemente positivo: l'effetto “split modale” non basterebbe comunque a contrastarlo.
- Per fortuna c'è un forte effetto della tecnica nel settore automobilistico ( $\hat{\alpha}_i < 0$ ) su cui contare per ridurre le emissioni dei trasporti terrestri.



# Fonti principali

- Arrow K. J.** (2007), "Global climate change: A challenge to policy", *Economists'Voice*, [www.bepress.com/ev](http://www.bepress.com/ev), June, 2007.
- Collier P.** (2010), *The Plundered Planet*, Allen Lane, London.
- Dasgupta P.** (2008), "Discounting climate change", *Journal of Risk and Uncertainty*, 37, 2-3, 141-169.
- EEA** (2010), "Towards a resource efficient transport system", Report No. 2.
- Gollier C. Koundouri P., Pantelidis T.** (2008), "Declining discount rates", *Economic Policy*, 23, 56, 757-795.
- IPCC** (2007) "Transport and its infrastructure", in *Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III*, Cambridge, Cambridge University Press.
- ITF-OECD** (2009), "Reducing Transport GHG Emissions" – preliminary findings.
- Kaya Y.** (1990), "Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth", paper for the IPCC Energy and Industry Sub-Group.
- Nordhaus W.D.** (2007), "The Stern Review on the economics of climate change", *Journal of Economic Literature*, 45, 3, 686-702.
- Stern Review ...** (2006), [www.hm-treasury.gov.uk/sternreview\\_index.htm](http://www.hm-treasury.gov.uk/sternreview_index.htm)
- Stern N.** (2008), "The economics of climate change", *American Economic Review*, 98, 2 (P&P), 1-37.
- Stern N.** (2009), *Un piano per salvare il pianeta*, Milano, Feltrinelli.
- Stern T., Persson U.M.** (2007), "An even Sterner review", Resources for the future Discussion Paper 07-37.