



Centro  
Nazionale  
Studi  
Urbanistici



Co-funded by the Intelligent Energy Europe  
Programme of the European Union

## Trasporti urbani ed efficienza energetica Giuseppe Inturri, CeNSU

**Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale**

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catania, 10 luglio 2015

**Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale**



# contents

1. **Trasporti, Energia e Cambiamento Climatico**
2. **Strumenti ed azioni per la sostenibilità energetica dei trasporti urbani**
  - Pianificazione
    - TOD, Smart Growth (La Greca, Martinico)
    - reti ferroviarie, tramviarie, ciclabili (Matteo)
  - Regolamentazione
  - Economia
  - Informazione
  - Tecnologia
3. **Efficienza energetica dei veicoli stradali**
  - Veicoli a combustione interna
  - Veicoli elettrici
  - Veicoli ibridi
4. **Interazione territorio-trasporti-energia**
  - Densità urbana e consumo di energia dei trasporti
  - Modello integrato territorio-trasporti-energia
- **Optionals**
  - PAES
  - Recupero energia di frenatura

# Trasporti, Energia e Cambiamento Climatico

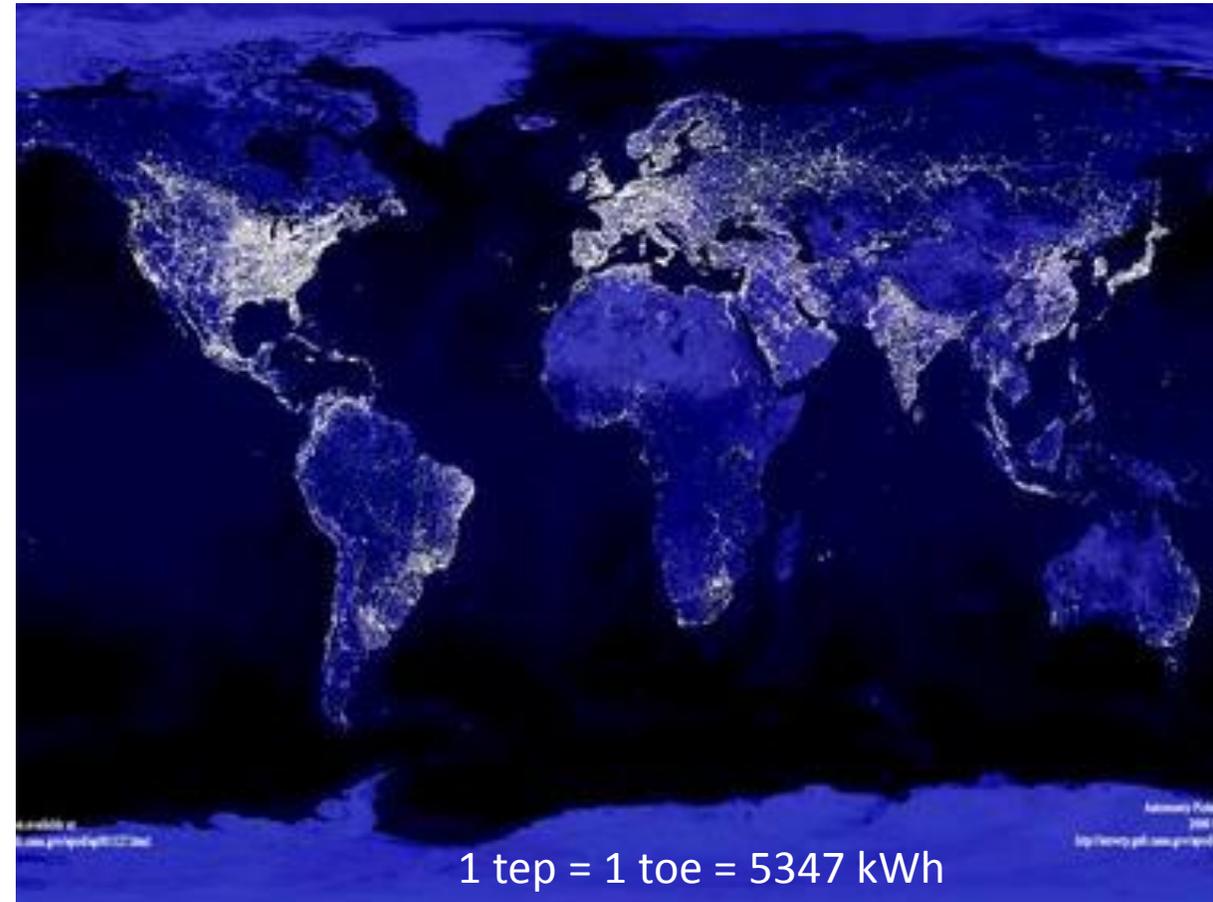


Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

# Consumo di energia nel mondo — valori pro-capite

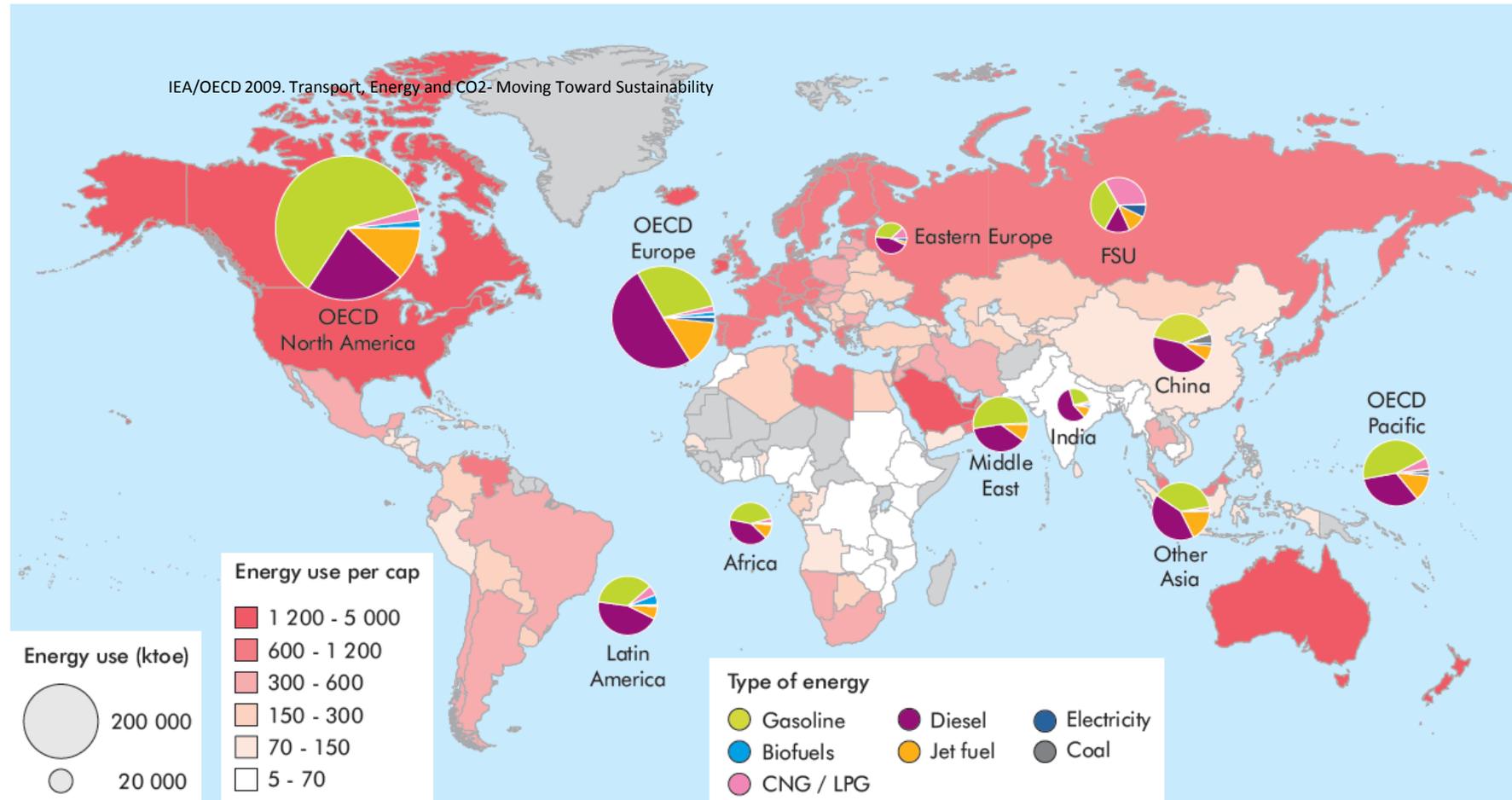
- Consumo medio annuo in tonnellate di petrolio equivalente

- USA citizen 9 t
- European citizen 4 t
- Mali citizen (West Africa) 21 kg



# Energia per i trasporti – valori pro-capite

Figure 1.2 ▶ Transport sector energy use per capita, 2006



The boundaries and names shown and the designations used on maps included in this publication do not imply official endorsement or acceptance by the IEA.

Note: Does not include international shipping.

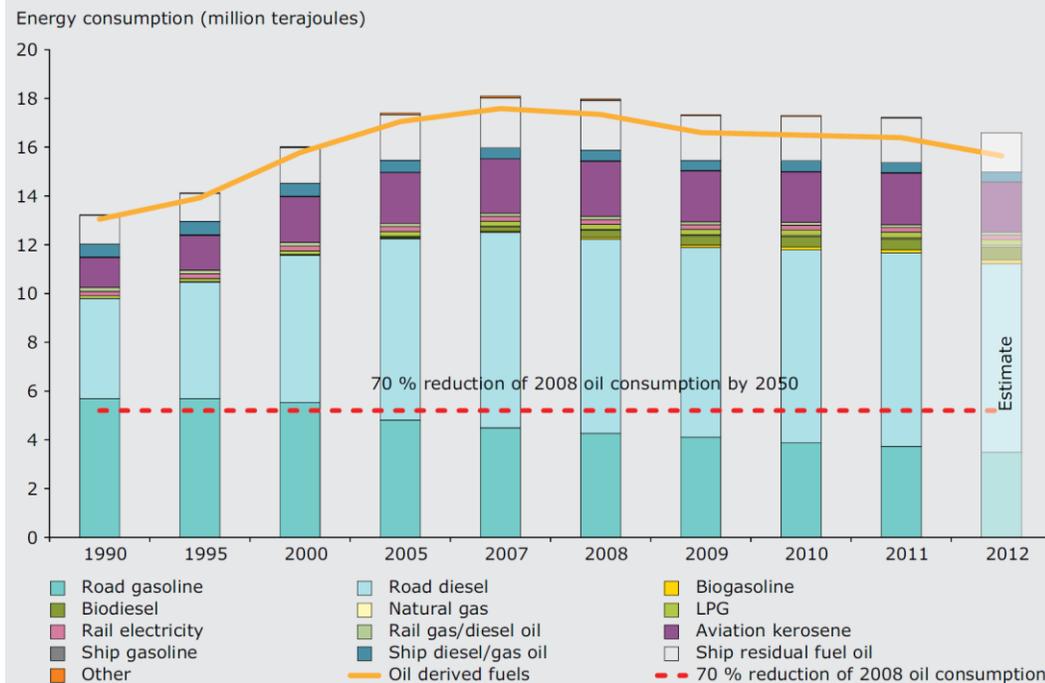
# Consumo di energia per trasporti in EU-28, e obiettivi gas serra

TERM 2013: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe

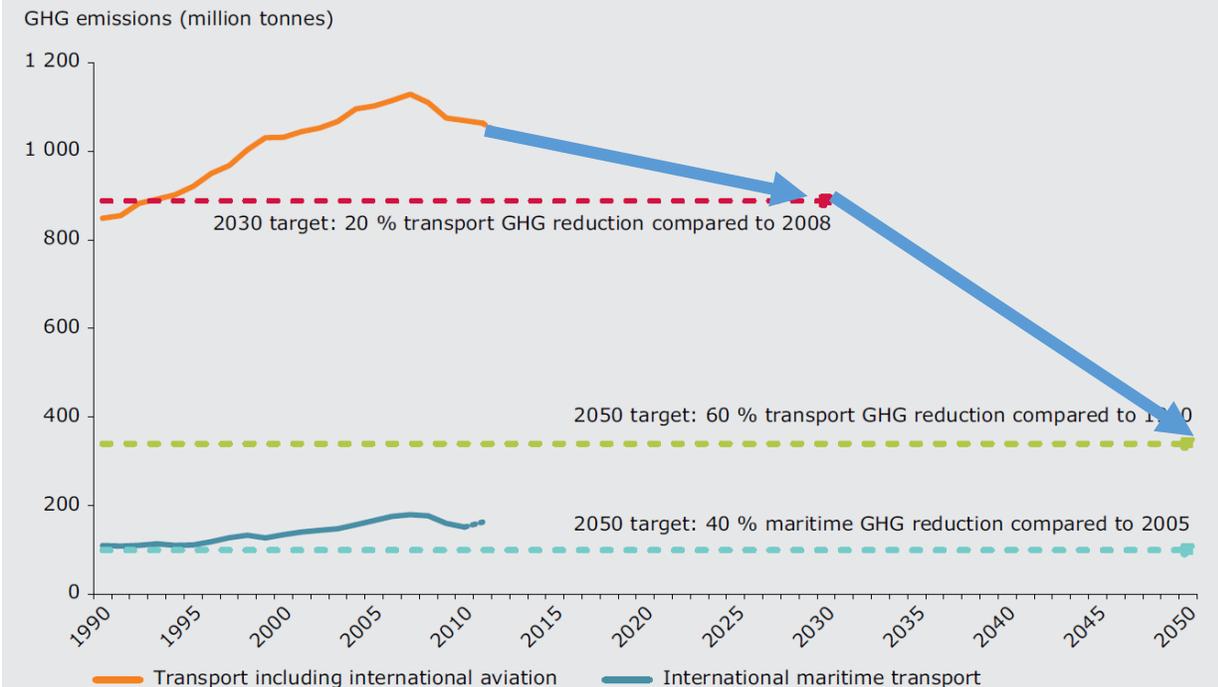
EEA Report 11/2013

## Box 2.2 TERM 01: Transport final energy consumption by fuel

### Transport energy consumption in the EU-28



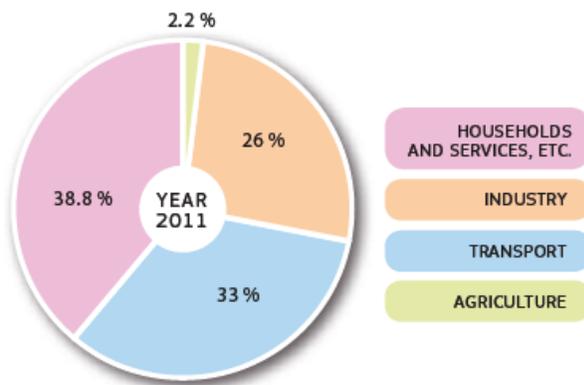
### EU-28 transport emissions of GHGs



# Evoluzione del consumo di energia per i trasporti in relazione agli altri usi

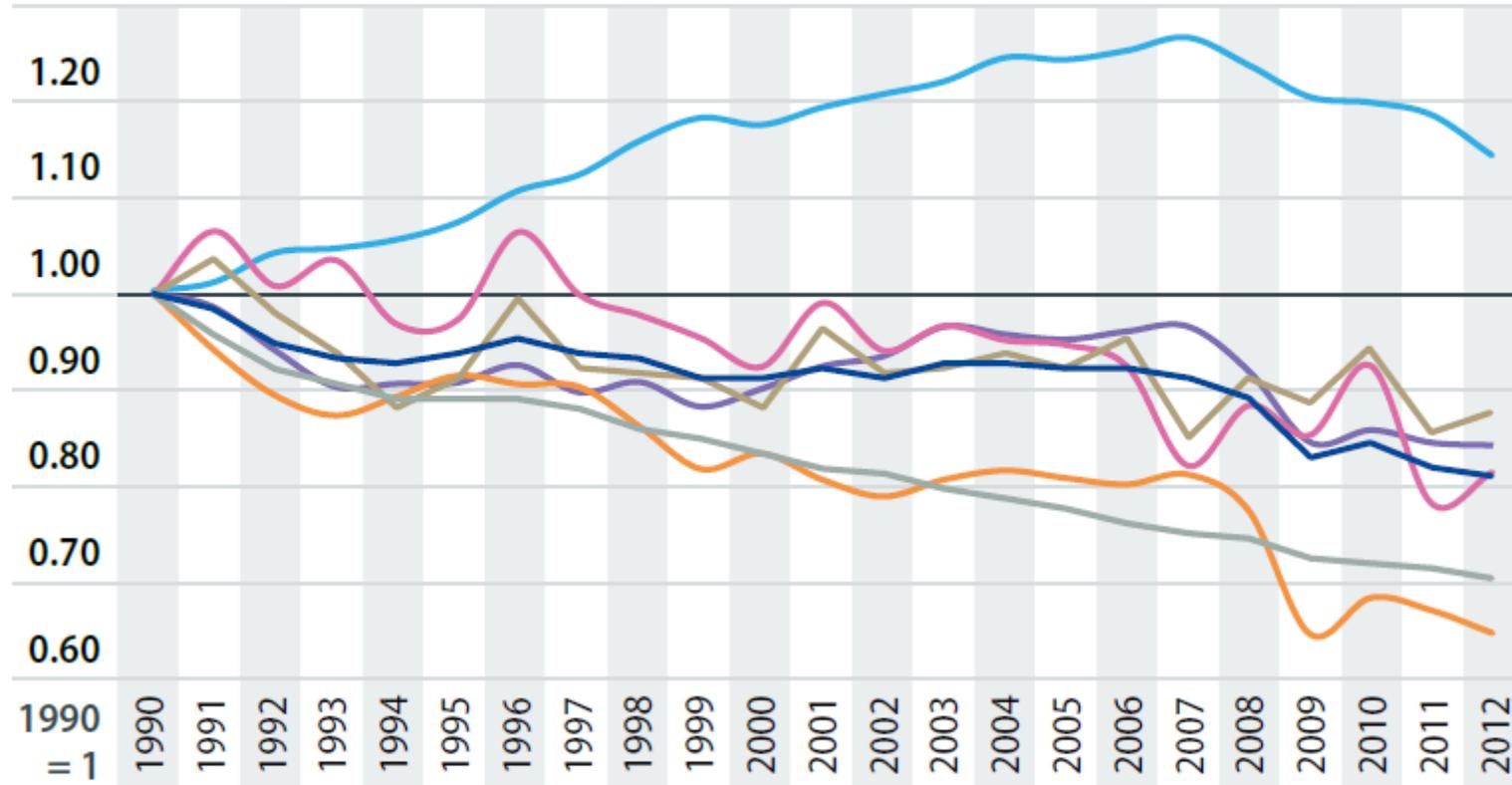
- 1/3 dell'energia
- 70% del petrolio
- 25% delle emissioni di CO2
- 2.5% tasso medio di crescita annua

Final Energy Consumption – EU-27  
BY SECTOR (Mtoe)



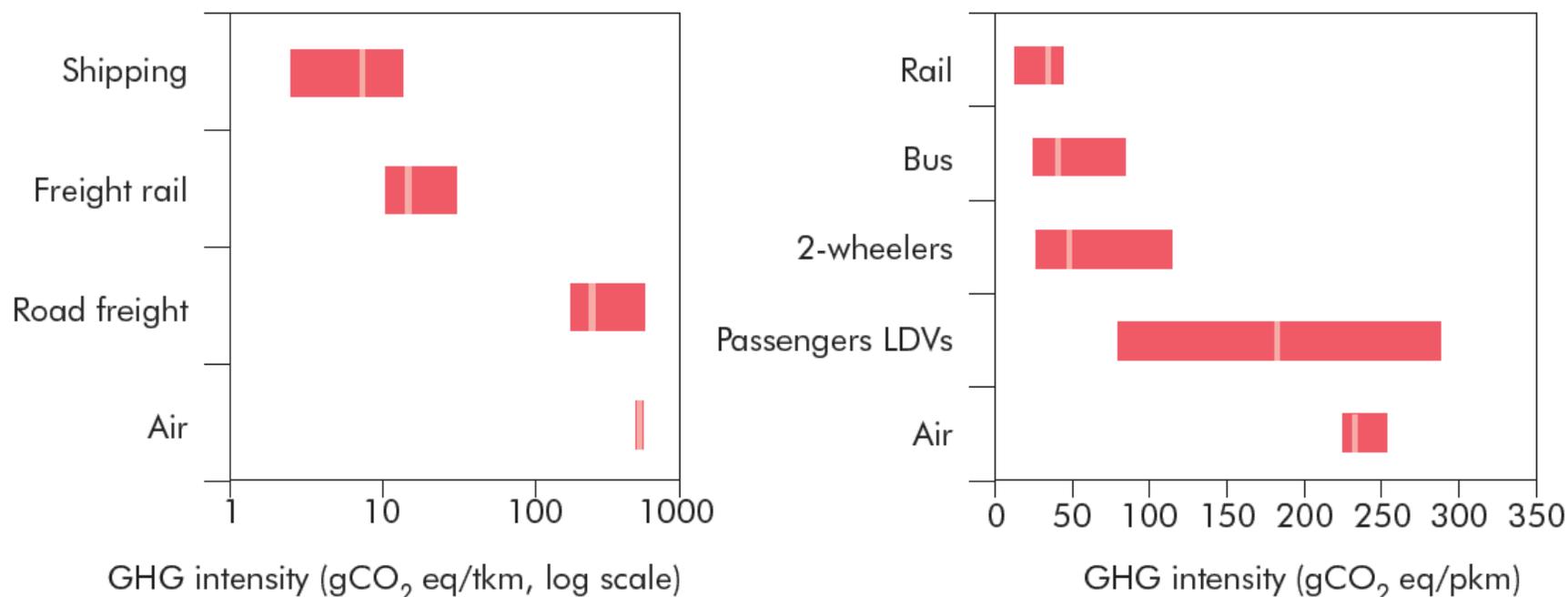
EU Energy and Transport in Figures  
Statistical Pocket book 2013

Energy Industries - Industry (\*\*\*) - Transport (\*\*)  
Residential - Commercial/Institutional - Other (\*\*\*\*) - Total



# Emissione unitaria di gas serra dei diversi modi di trasporto

**Figure 1.6** ► GHG efficiency of different modes, freight and passenger, 2005

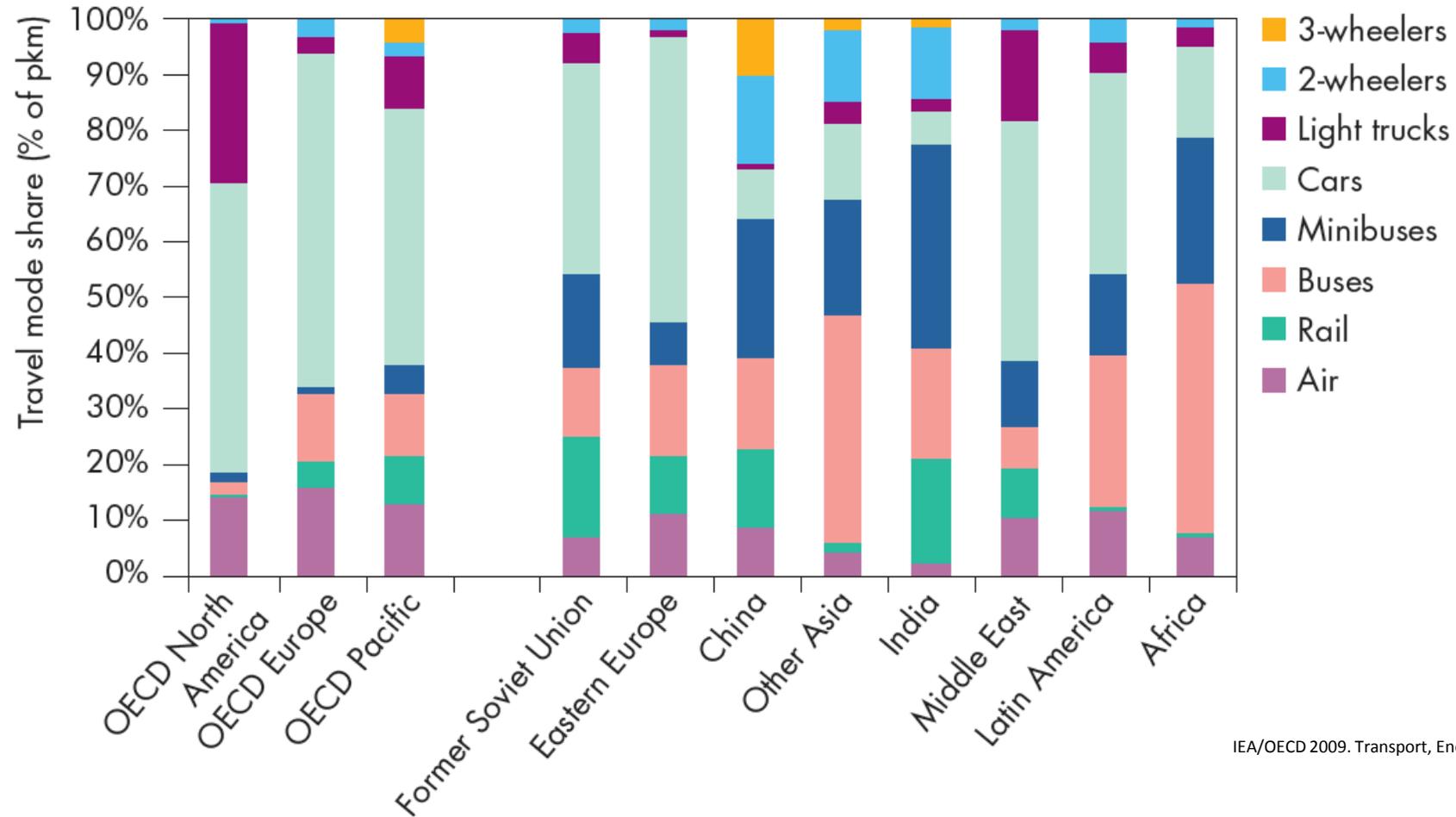


Note: The clear line indicates world average, the bar representing MoMo regions' discrepancy.

Sources: IEA Mobility Model database; Buhaua (2008). IEA/OECD 2009. Transport, Energy and CO<sub>2</sub>- Moving Toward Sustainability

# Ripartizione modale mezzi motorizzati nel mondo, 2005

**Figure 1.4** ► Motorised passenger travel split by mode, 2005



IEA/OECD 2009. Transport, Energy and CO<sub>2</sub>- Moving Toward Sustainability

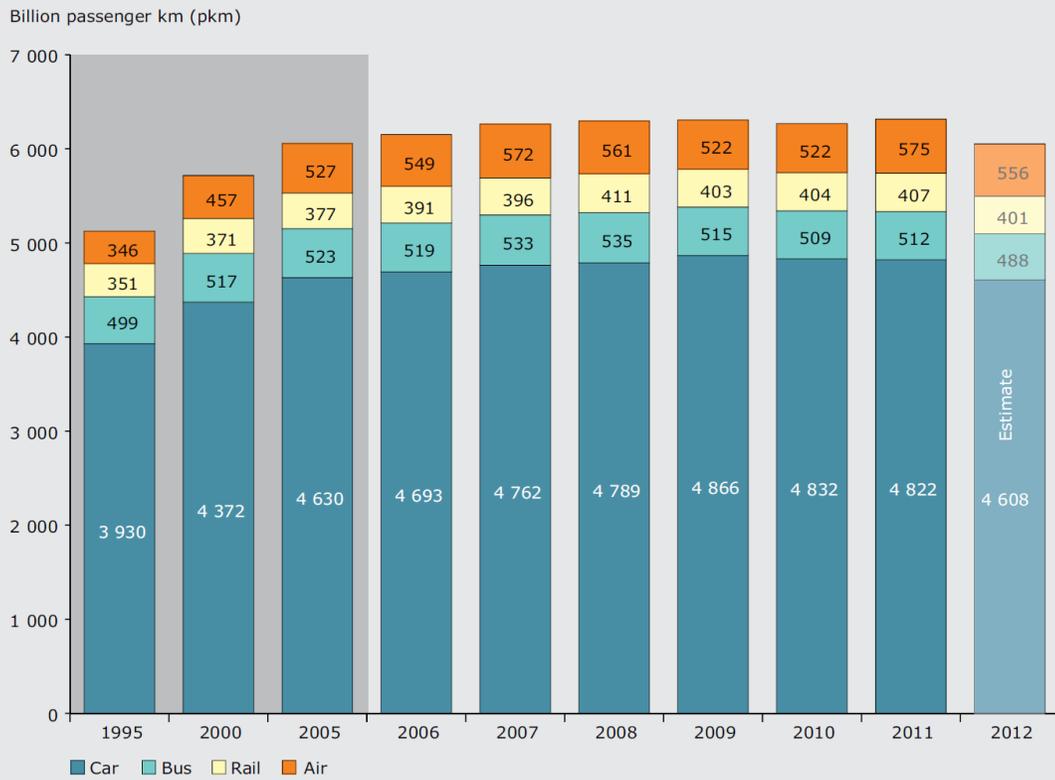
# Evoluzione del traffico passeggeri e merci e ripartizione modale in Europa

TERM 2013: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe

EEA Report 11/2013

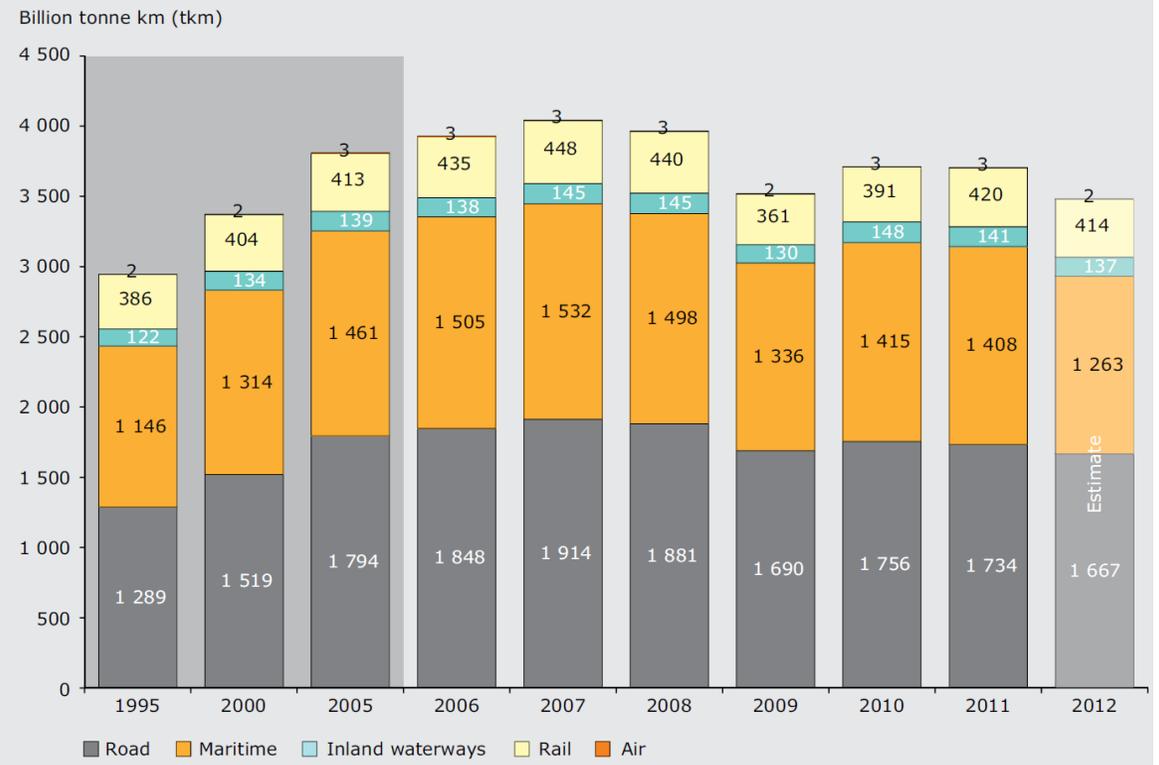
**Box 2.7 TERM 12a/b: Passenger transport volume and modal split within the EU**

**Passenger transport volume in the EU-27**



**Box 2.8 TERM 13a/b: Freight transport volume and modal split within the EU**

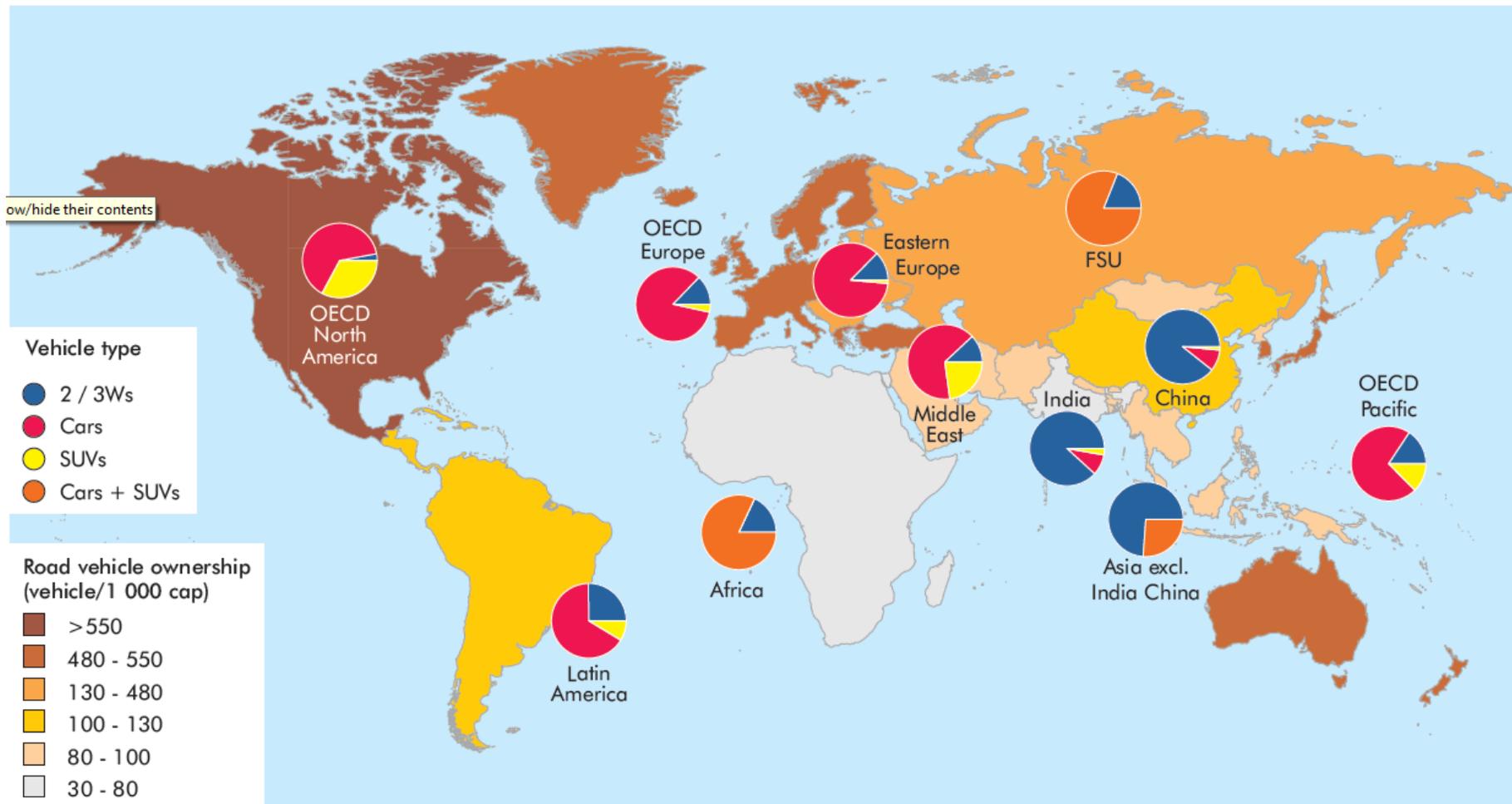
**Freight transport volume in the EU-27**



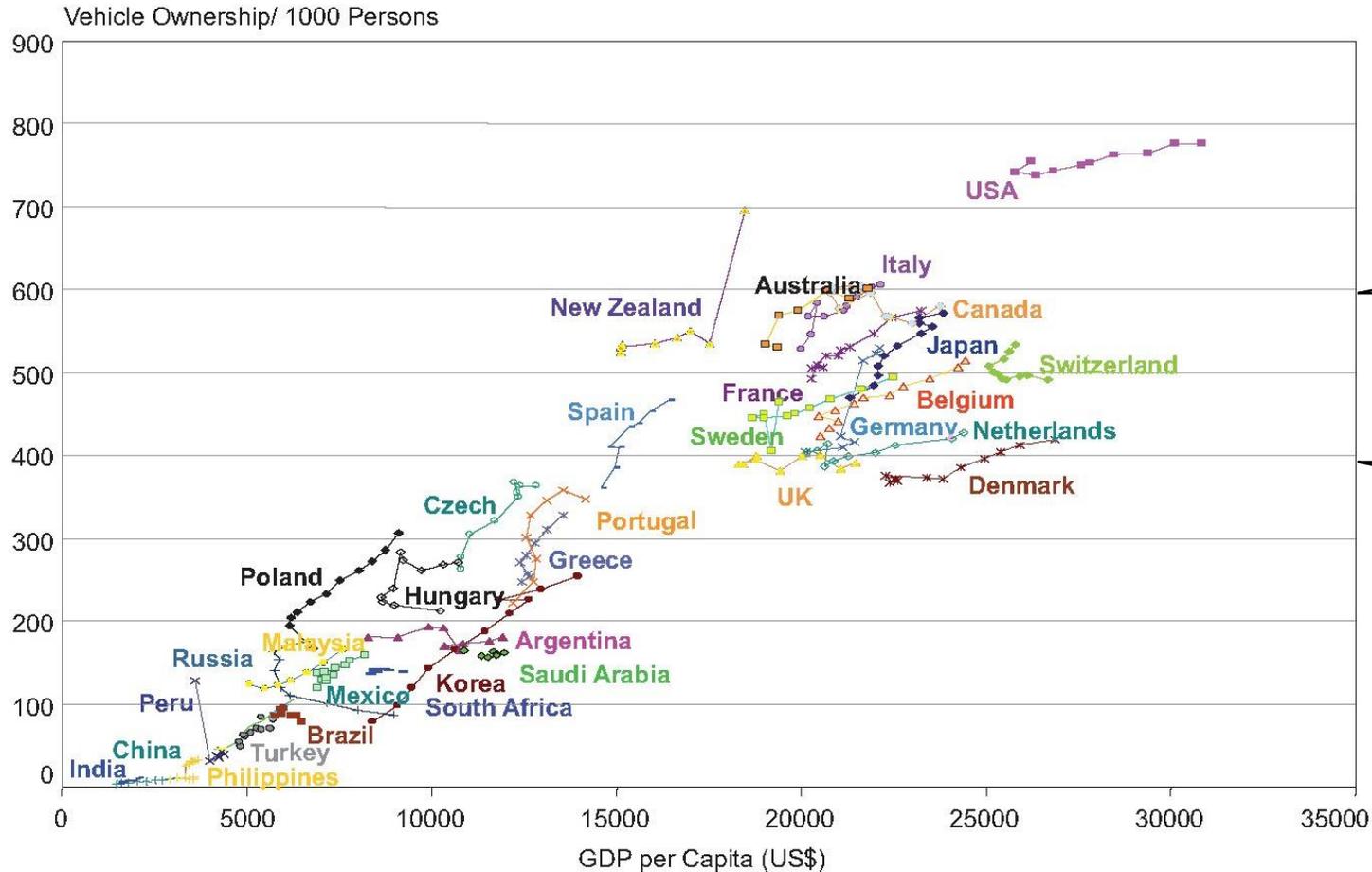
# Tasso di motorizzazione nel mondo

Figure 1.5 ▶ Passenger LDV stock, by type and region, 2005

IEA/OECD 2009. Transport, Energy and CO2- Moving Toward Sustainability



# Tasso di motorizzazione per Paese e per PIL



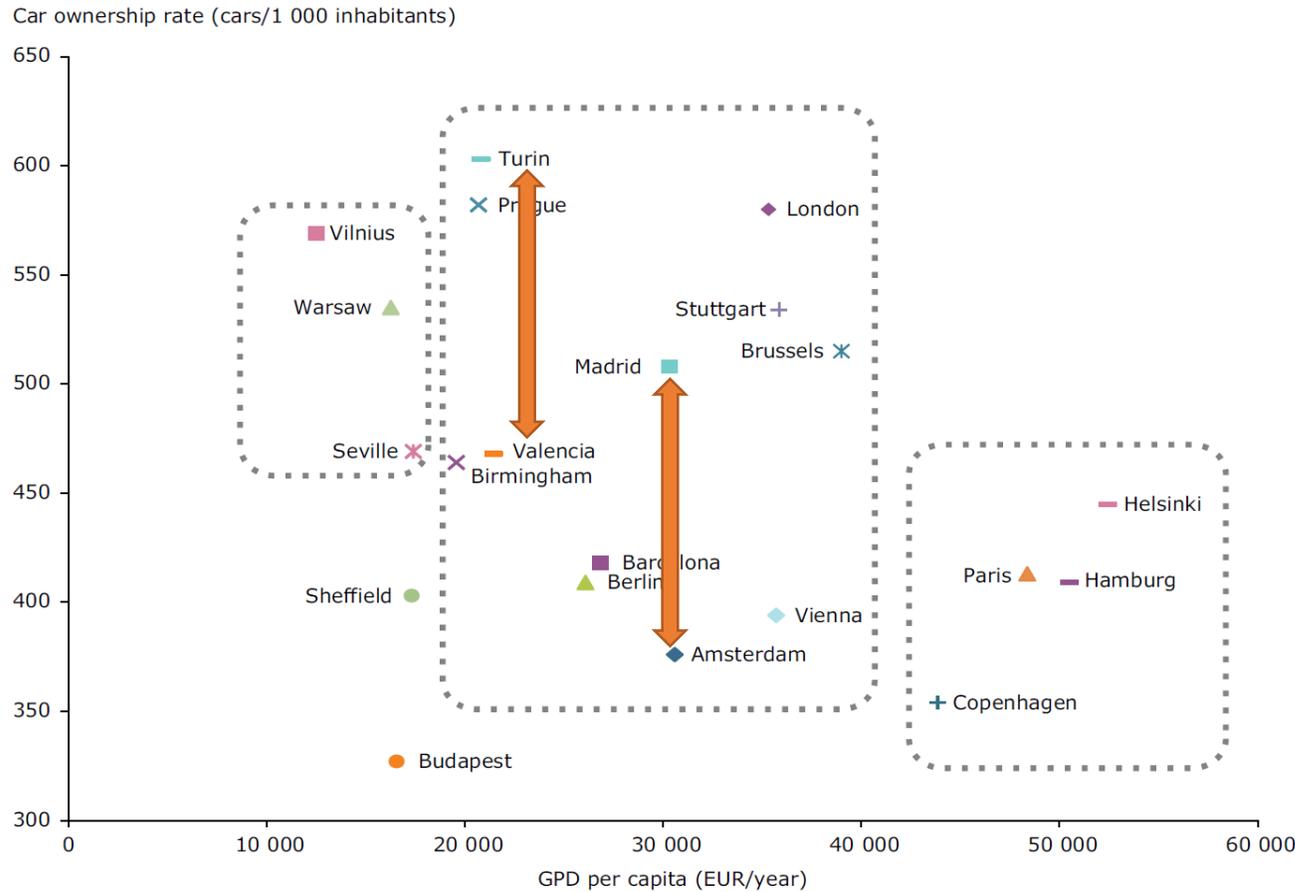
Reddito e possesso sono debolmente correlati

Figure TS.14: Vehicle ownership and income per capita as a time line per country [Figure 5.2].

Note: data are for 1900–2002, but the years plotted vary by country, depending on data availability.

# Tasso di motorizzazione per città e per PIL

**Figure 5.4 GDP in relation to car ownership growth, 2011**



Source: EMTA, 2012a.



Ich glaube an das Pferd.

Das Automobil ist eine vorübergehende Erscheinung.«

Kaiser Wilhelm II. (zugeschrieben)

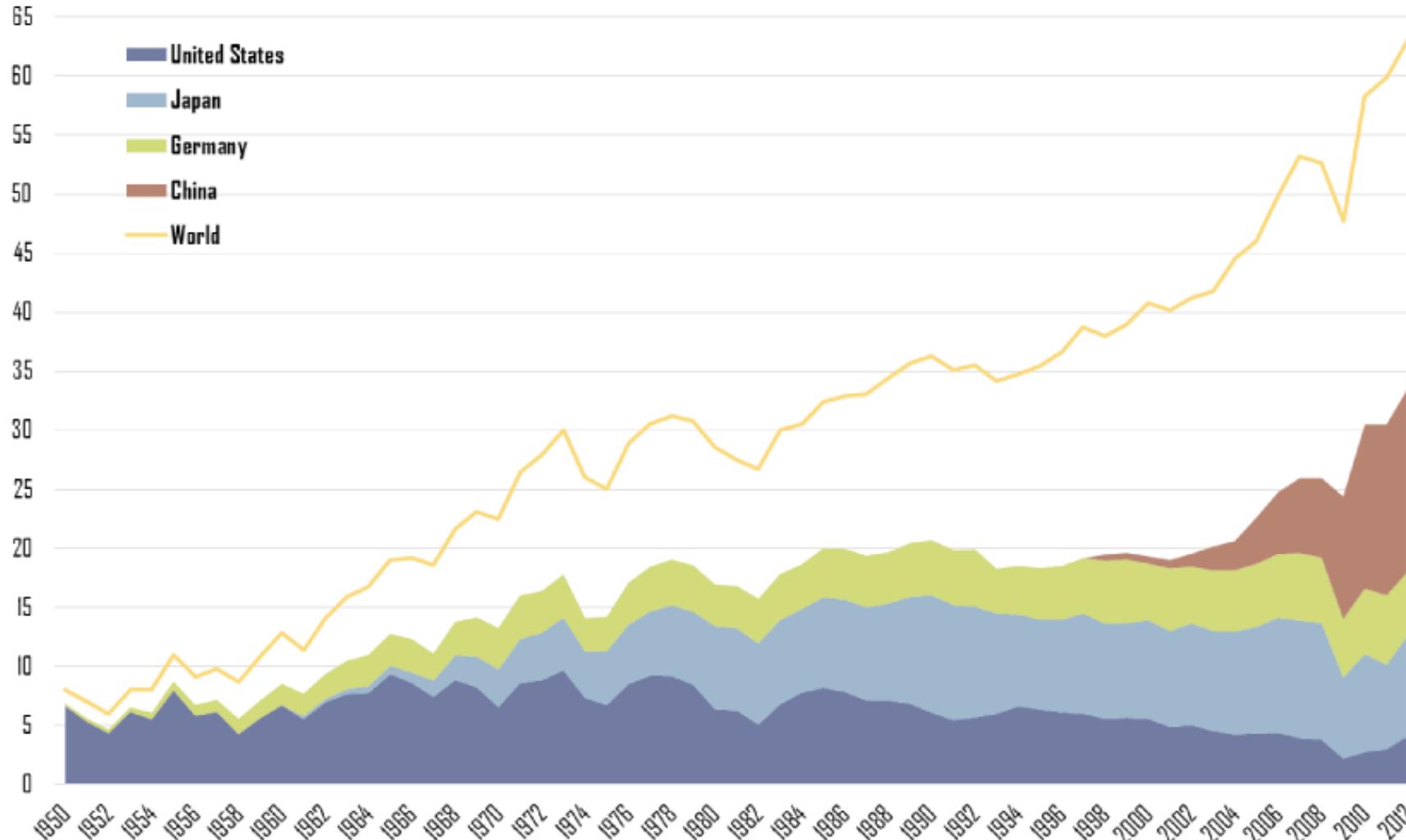
»I do believe in the horse.

The automobile is no more than a transitory phenomenon.«

Emperor Wilhelm II (attributed to)

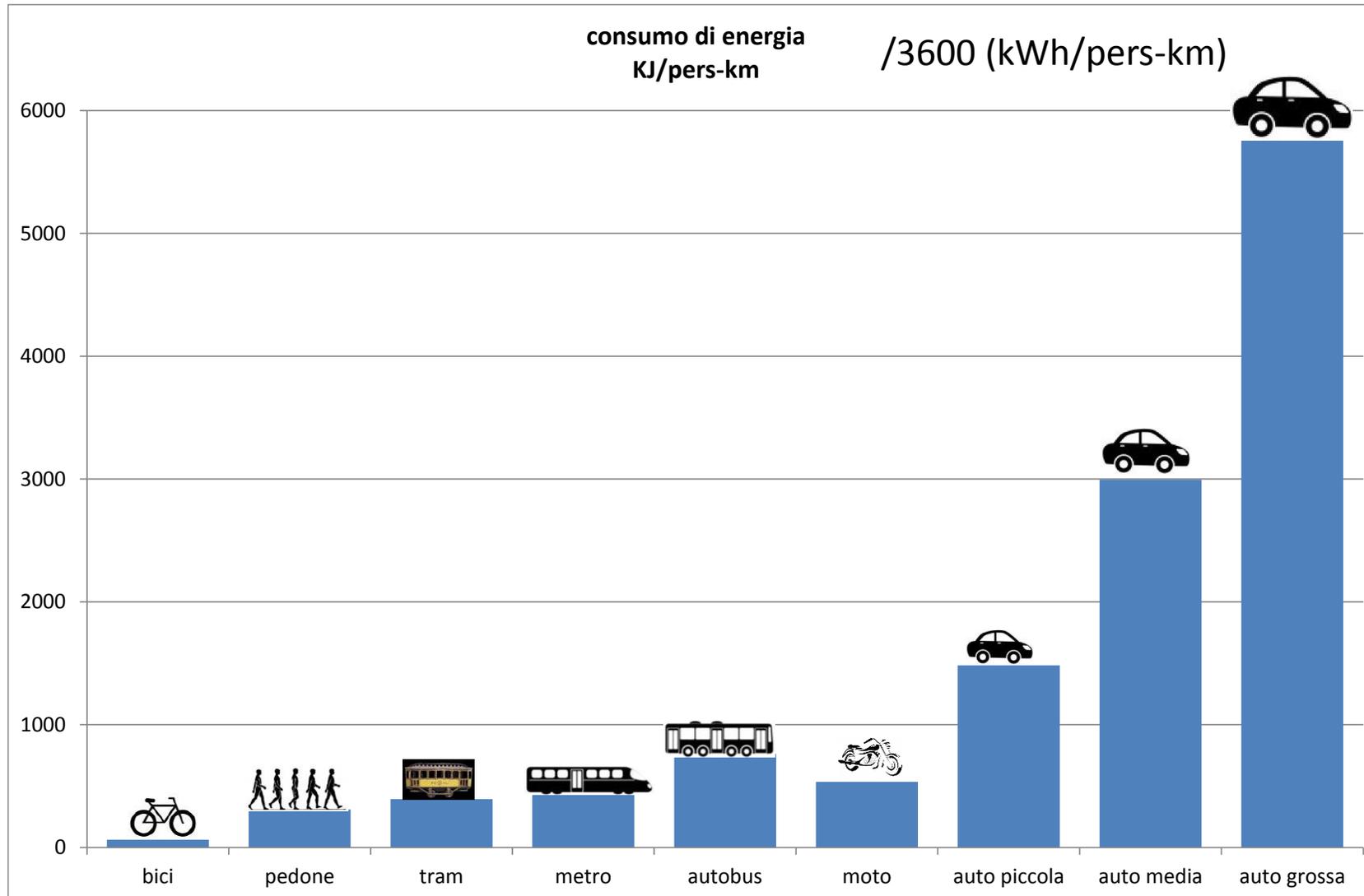
Yo sí creo en el caballo. Automóvil no es más que un fenómeno transitorio.

# Evoluzione della produzione mondiale di automobili 1950-2012



Jean-Paul Rodrigue, 2012

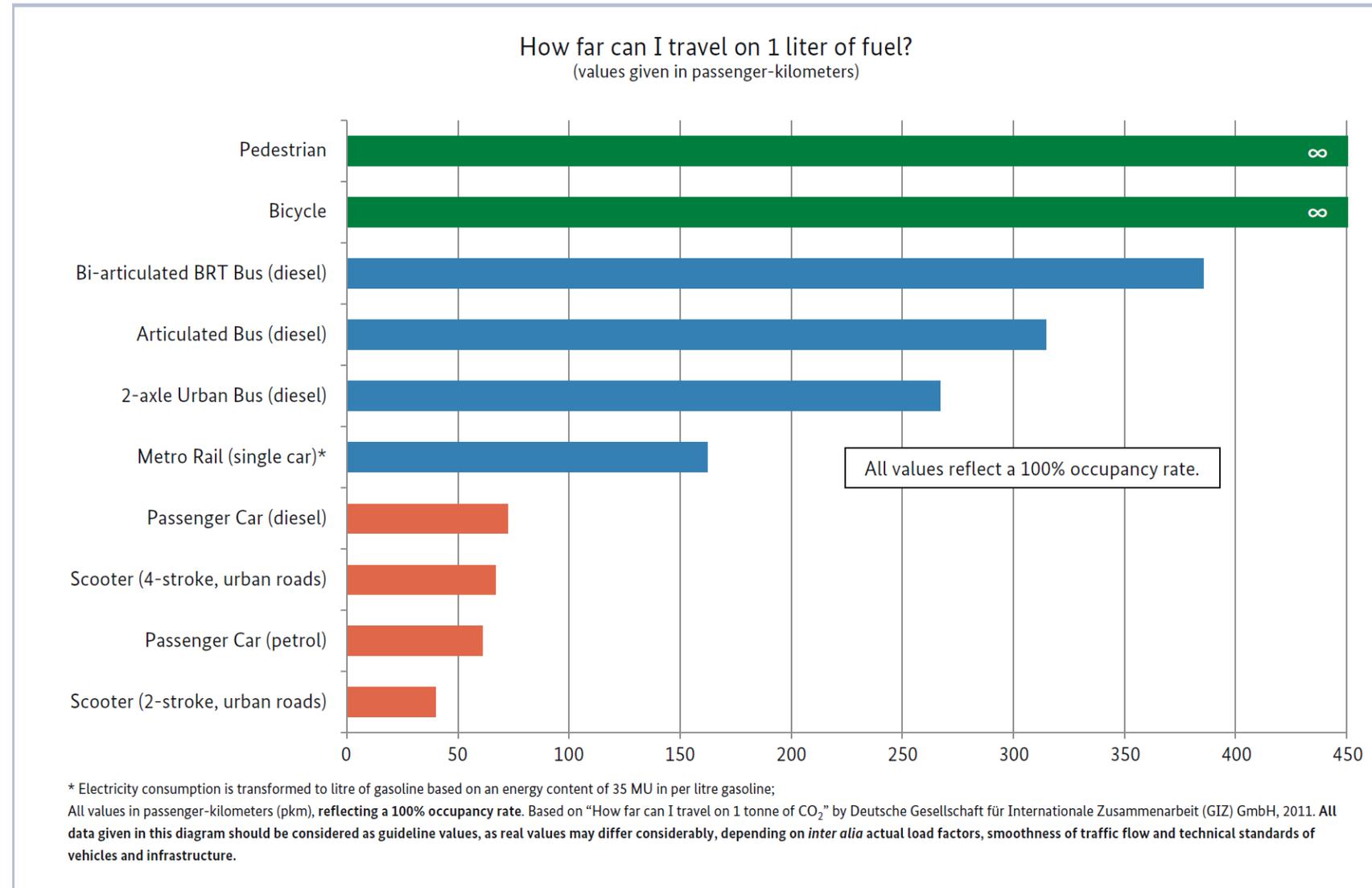
# Intensità energetica per diversi modi di trasporto



Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

# Efficienza energetica per diversi modi di trasporto

50 grammi di grasso = 37 km in bicicletta  
50 grammi di benzina = 700 m in auto  
Stesso rendimento termodinamico  
Grande differenza di efficienza energetica



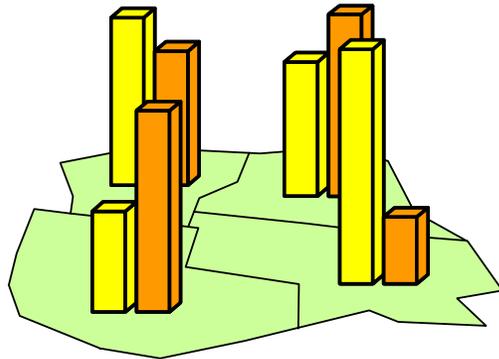
Efficienza energetica per la pi

**Figure 12:** Energy efficiency of different modes of urban transport.  
Source: Adapted from GIZ, 2011

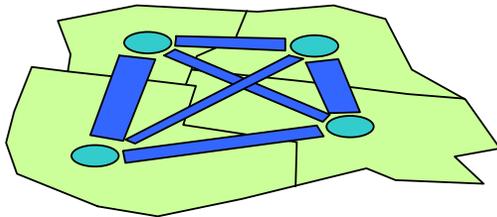
# Strumenti e azioni per la sostenibilità energetica dei trasporti



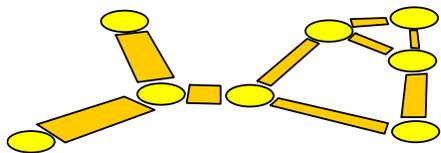
# Come nasce il traffico



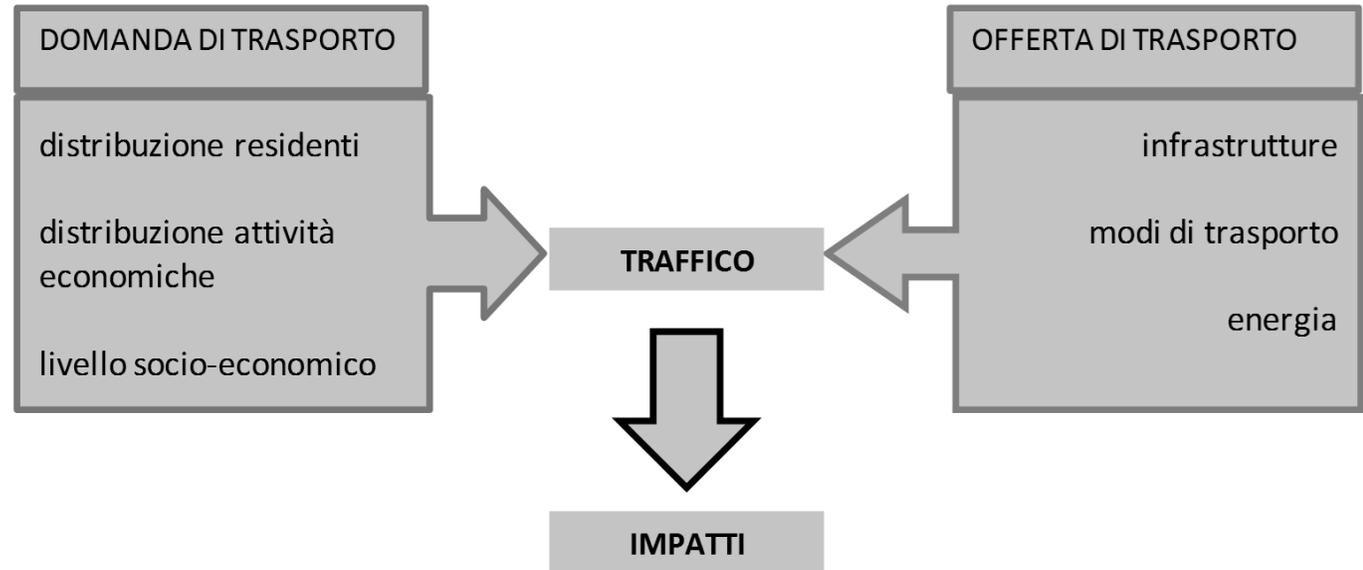
Land Use



Spatial Interactions



Transportation Network



# Come calcolare l'energia utilizzata per i trasporti

Intensità demografica      Distribuzione attività      Intensità energetica


$$E_t [kWh] = People [pax] \times Distance [km] \times \frac{Veh\_consumption [kWh/km]}{Veh\_capacity [pax] \times Load\_Factor [\%]}$$

Tecnologia      Efficienza del trasporto



Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

# Efficienza Energetica Globale

$$E_t [kWh] = People [pax] \times Distance [km] \times \frac{Veh\_consumption [kWh/km]}{Veh\_capacity [pax] \times Load\_Factor [\%]}$$

## RIDURRE

### Efficienza del Sistema

- LUTI integration
- Smart Growth
- Transit Oriented Development
- **(pax-km)**

Spatial planning

## CAMBIARE

### Efficienza del Trasporto

- Favour low impact transport modes
- **(veic/pax)**

Transport planning

## MIGLIORARE

### Efficienza del veicolo

- Improve energy efficiency (TTW) and use clean fuels (WTT)

- **kWh/veic-km**

WTT: from Well-To-Tank  
TTW: from Tank-To-Wheel

Technology Innovation

# Benchmark con gli indicatori di efficienza energetica per categorie di città

Table 1: Examples of values for different efficiency indicators – mean values of several cities in each region, 1995 (adopted from Kenworthy 2003)

Indicator	US cities	Western European cities	High income Asian cities	Latin American cities	African cities
<b>System efficiency</b>					
Passenger transport energy use per capita (MJ/person)	60 034	15 675	9 556	7 283	6 184
Private individual mobility (pkm/capita)	18 200	6 321	3 971	2 966	2 711
Urban density (person/km <sup>2</sup> )	1 490	5 490	15 030	7 470	5 990
<b>Travel efficiency</b>					
Modal split of all trips					
■ Non-motorised modes	8.1 %	31.3 %	28.5 %	30.7 %	41.4 %
■ Public transport	3.4 %	19.0 %	29.9 %	33.9 %	26.3 %
■ Motorised private modes	88.5 %	49.7 %	41.6 %	35.4 %	32.3 %
Energy use per public transport passenger-km (MJ/pkm)	2.13	0.83	0.48	0.76	0.51
<b>Vehicle efficiency</b>					
Energy use in private passenger vehicle-kilometre (MJ/km) <sup>[1]</sup>	4.6	3.3	3.3	3.7	3.7
Energy use per public transport vehicle-kilometre (MJ/km)	26.3	14.7	14.4	16.9	9.5

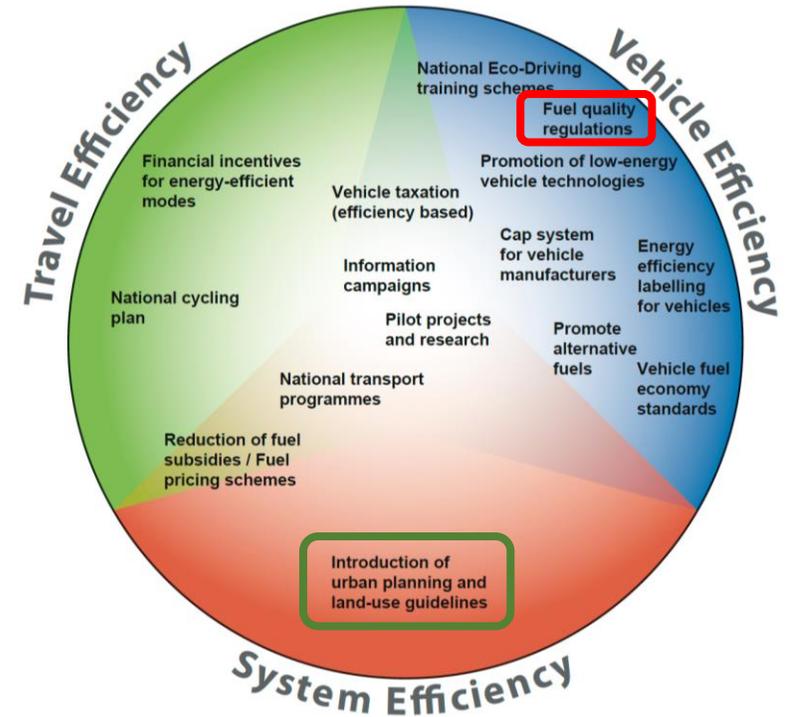
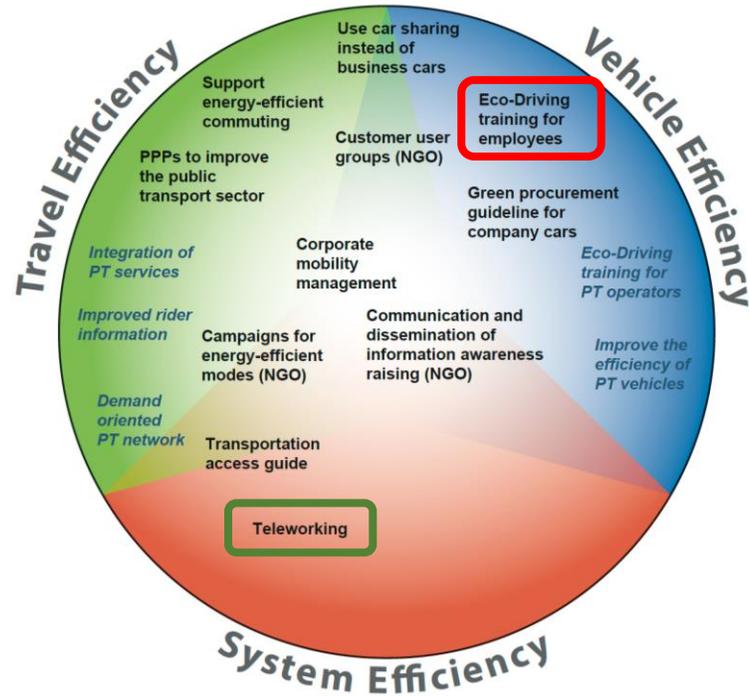
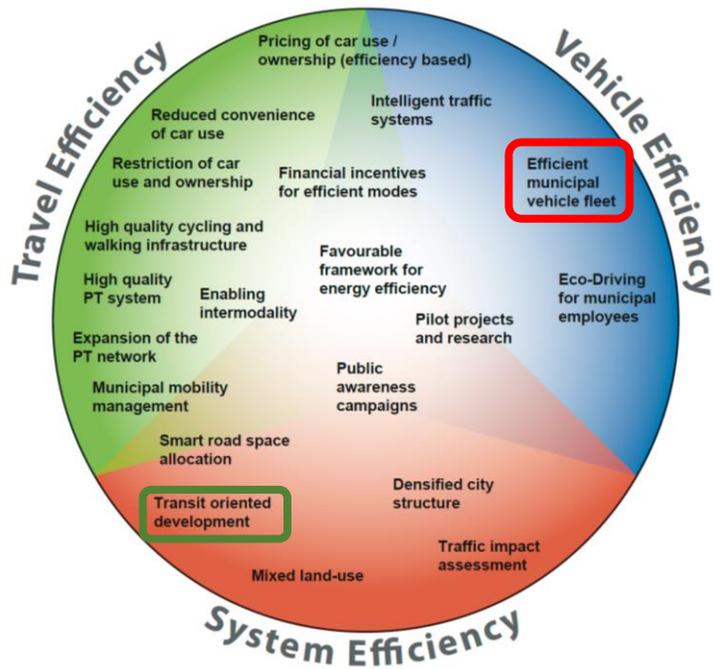
<sup>[1]</sup> Note that the share of cars and two- or three-wheelers has an influence on this indicator. It is preferable to assess automobile and two- or three-wheeler vehicle efficiency separately

$$E_{\text{urban transport}} = \text{vehicle efficiency} \times \text{travel efficiency} \times \text{system efficiency}$$

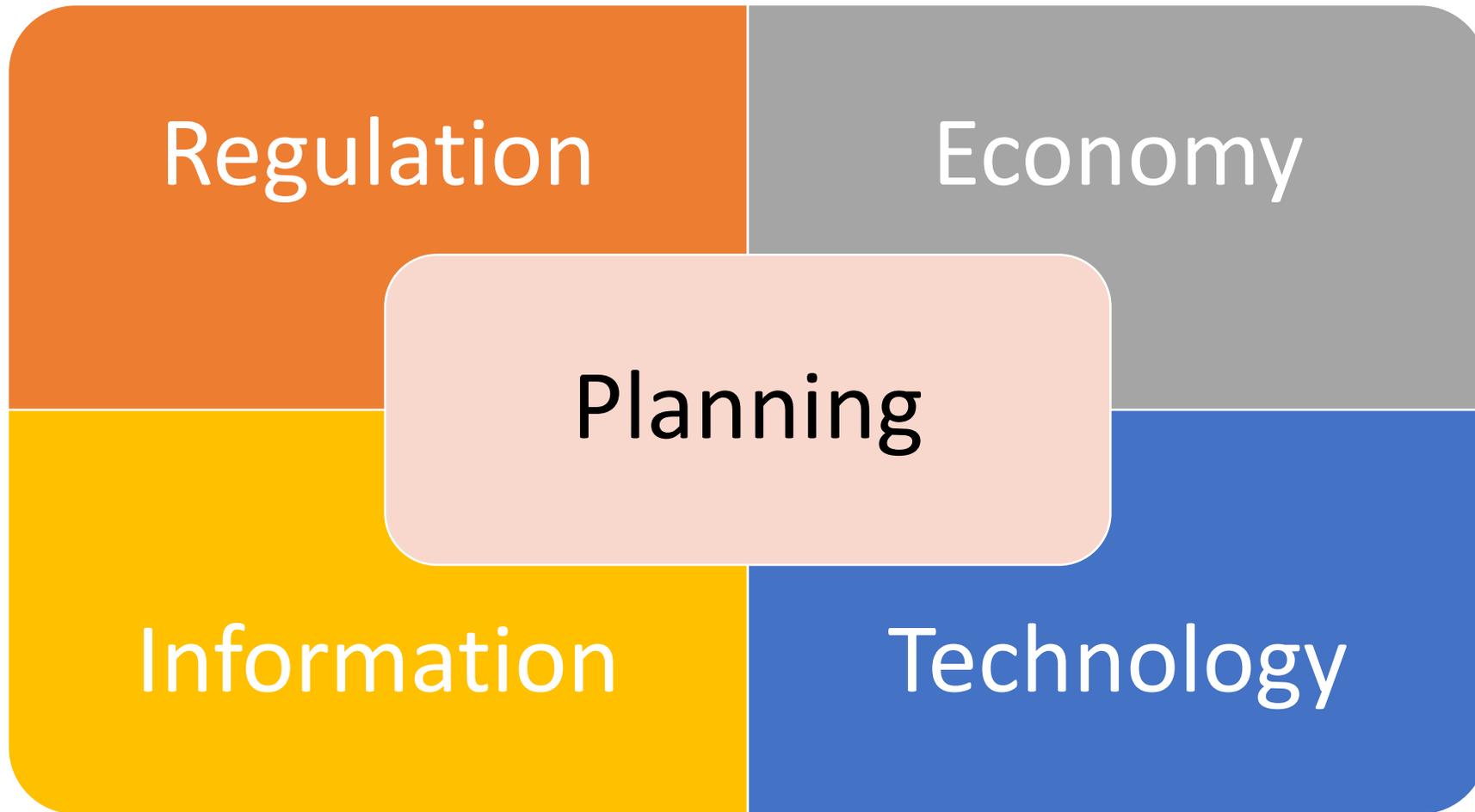
(adapted from Kojima and Ryan 2010)

Efficienza energetica p

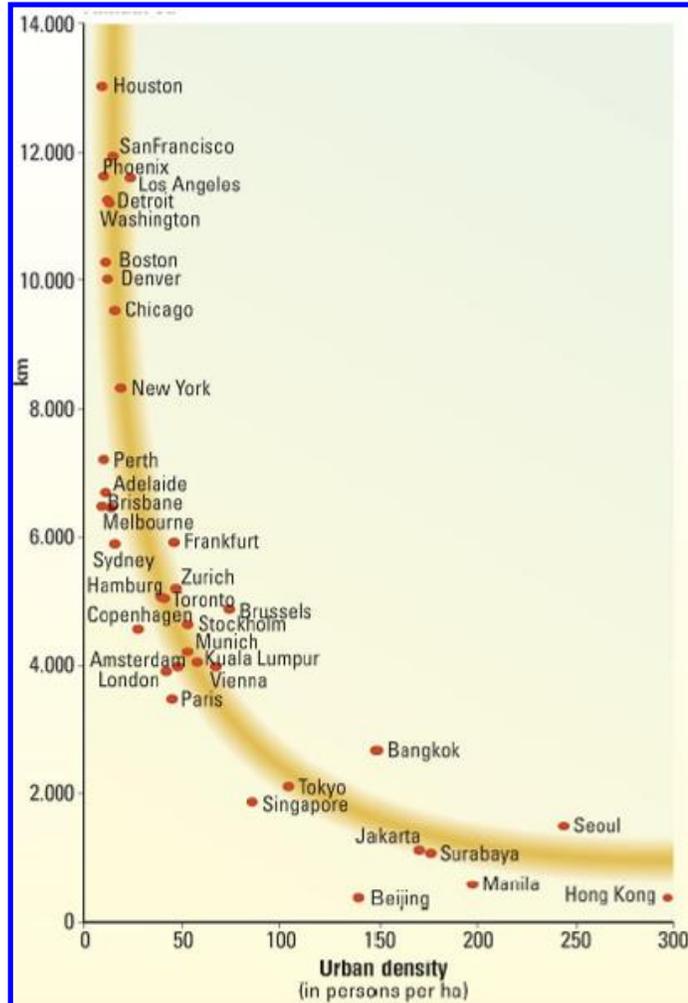
# Azioni per l'efficienza energetica dei trasporti nei diversi ambiti territoriali



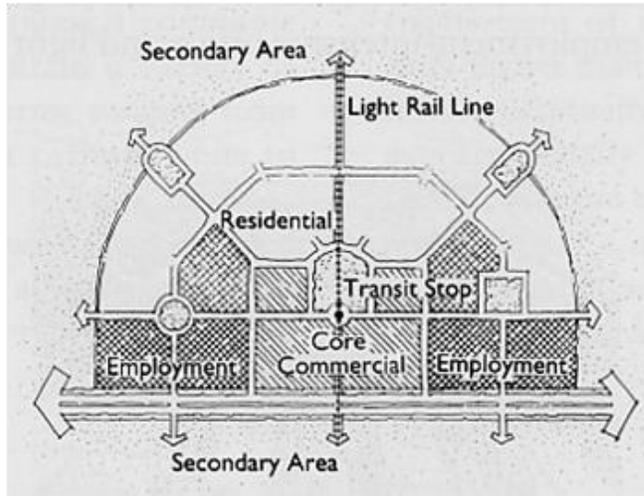
# Classificazione delle azioni (per la mobilità sostenibile in generale)



# PIANIFICAZIONE



Hammarby, Stoccolma



Smart Growth

Density, Diversity,  
Design,  
Destination,  
Density

Transit Oriented  
Development

Green  
Infrastructures

Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

# REGULATIONS



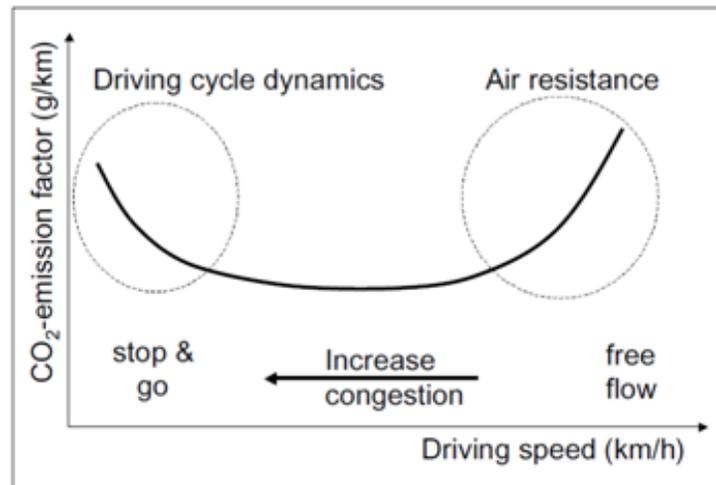
Aree pedonali

ZTL

Zone 30

Isole Ambientali

Parking management



Efficienz

Urbanistica e territoriale

# ECONOMIA



Internalizzare costi mobilità

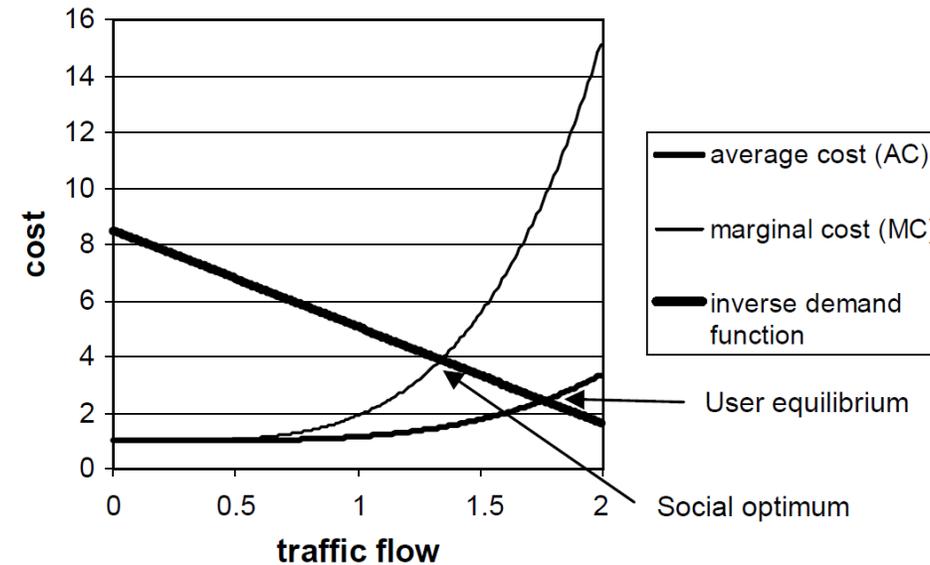
Road pricing

Park pricing

Carbon tax

Pay-as-you drive insurance

Chi inquina paga



# INFORMAZIONE



Campagne di sensibilizzazione



Partecipazione pubblica



Addestramento alla guida  
sicura ed ecosostenibile

# TECNOLOGIA

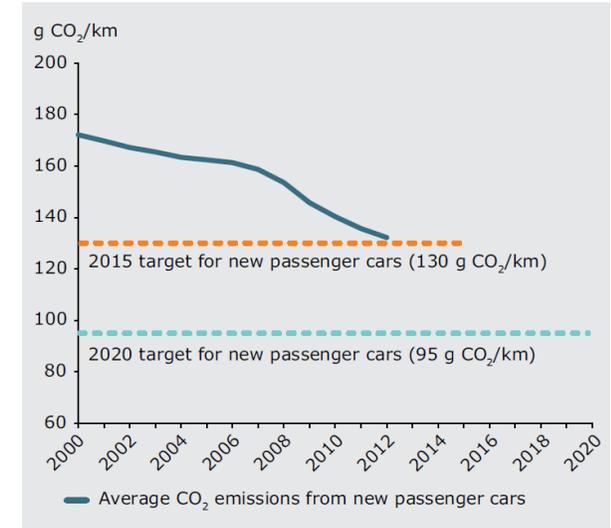
Efficienza energetica dei veicoli

- -20÷40% consumi entro il 2050



Qualità dei carburanti

- Ridurre le emissioni di CO2



## Box 11: Labelling – an option for promoting efficient vehicles?

Eco-labelling, which has become increasingly popular for food products and consumer electronics, is mutually beneficial, as customers can (in theory) be confident they are buying environmentally friendly products while, at the same time, a label makes a product more attractive, which is beneficial for the producing company. On the down side, it is possible for companies to practise 'greenwashing', to invent their own new labels, or to lower the standard of the awarding organisation.

More recently the concept of labelling has been introduced for private motorised vehicles, especially passenger cars. Here, the labels are awarded according to the cars' fuel efficiency. This approach has been taken in the USA, where the labels are graded from A+ to D, and in the European Union, where Directive 1999/94/EC promotes the use of the eco-label shown here.

Vehicle Information		CO <sub>2</sub> emissions (g/km)
100	A	100
120+ to 140	B	120+ to 140
140+ to 160	C	140+ to 160
160+ to 180	D	160+ to 180
180+ to 200	E	180+ to 200
220+	F	220+

Fuel use (normalised for 10,000 kilometres)	774 litres
CO <sub>2</sub> emissions (normalised for 10,000 kilometres)	€100
Vehicle Registration Tax (VRT) Rate	14%

Figure 48: Irish car label. Sources: EC 2009

# Well-To-Wheel

- Analisi energetica dal pozzo alla ruota.
- I veicoli elettrici (Evs) riducono i consumi energetici del 50% e le emissioni di CO2 del 60%
- Naturalmente queste stime dipendono dalla fonte primaria per la produzione di energia elettrica. Il grafico riflette la situazione USA con 50% di energia prodotta in centrali a carbone. In Europa la situazione è migliore.

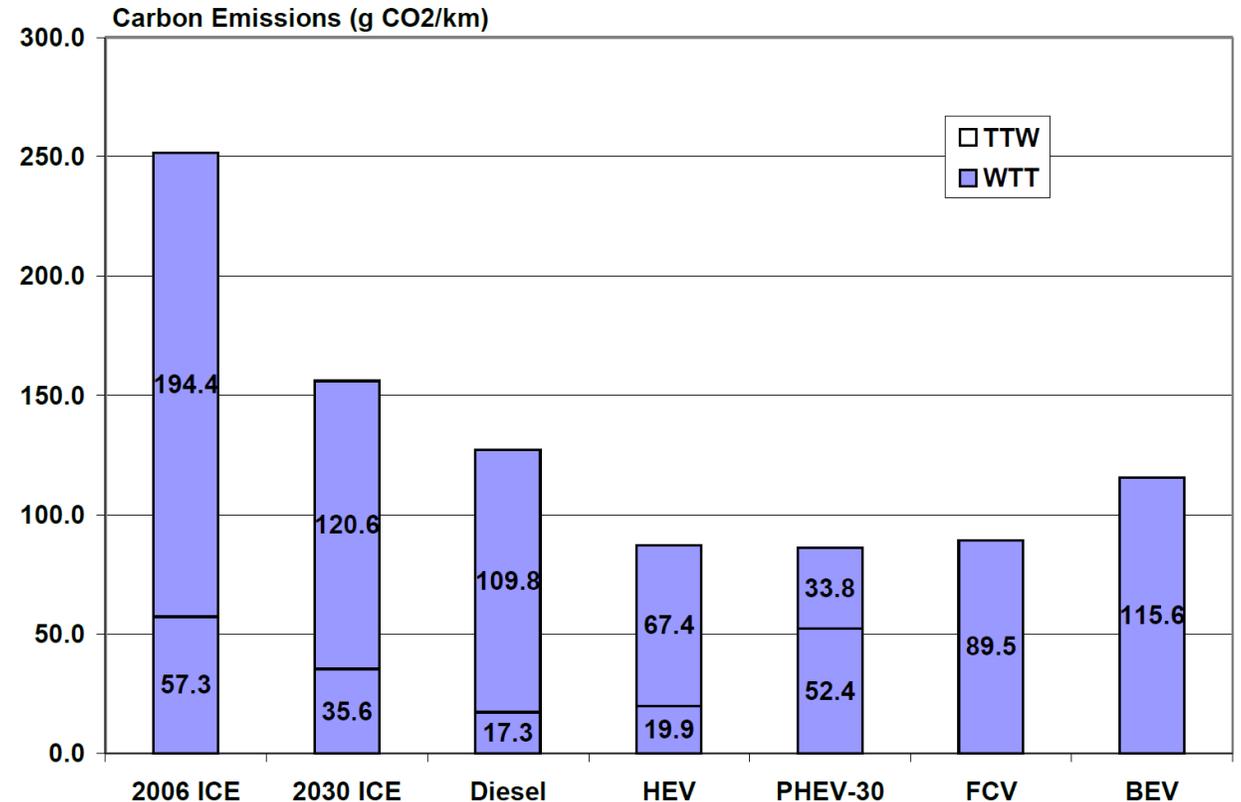
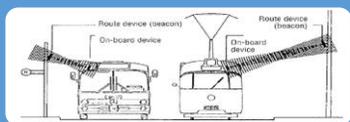


Figure 1: Well-to-wheels (WTT) and Tank-to-wheels (TTW) analysis of carbon emissions for conventional and advanced vehicles [Kromer 2007]

# TECNOLOGIE ITS



la gestione del traffico e della mobilità (*gestire e ottimizzare, non costruire*)



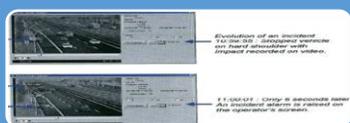
la gestione del trasporto pubblico



l'informazione all'utente (*essere informati per scegliere bene*)



il controllo avanzato del veicolo (aumento della sicurezza e della capacità di traffico)



la gestione delle emergenze

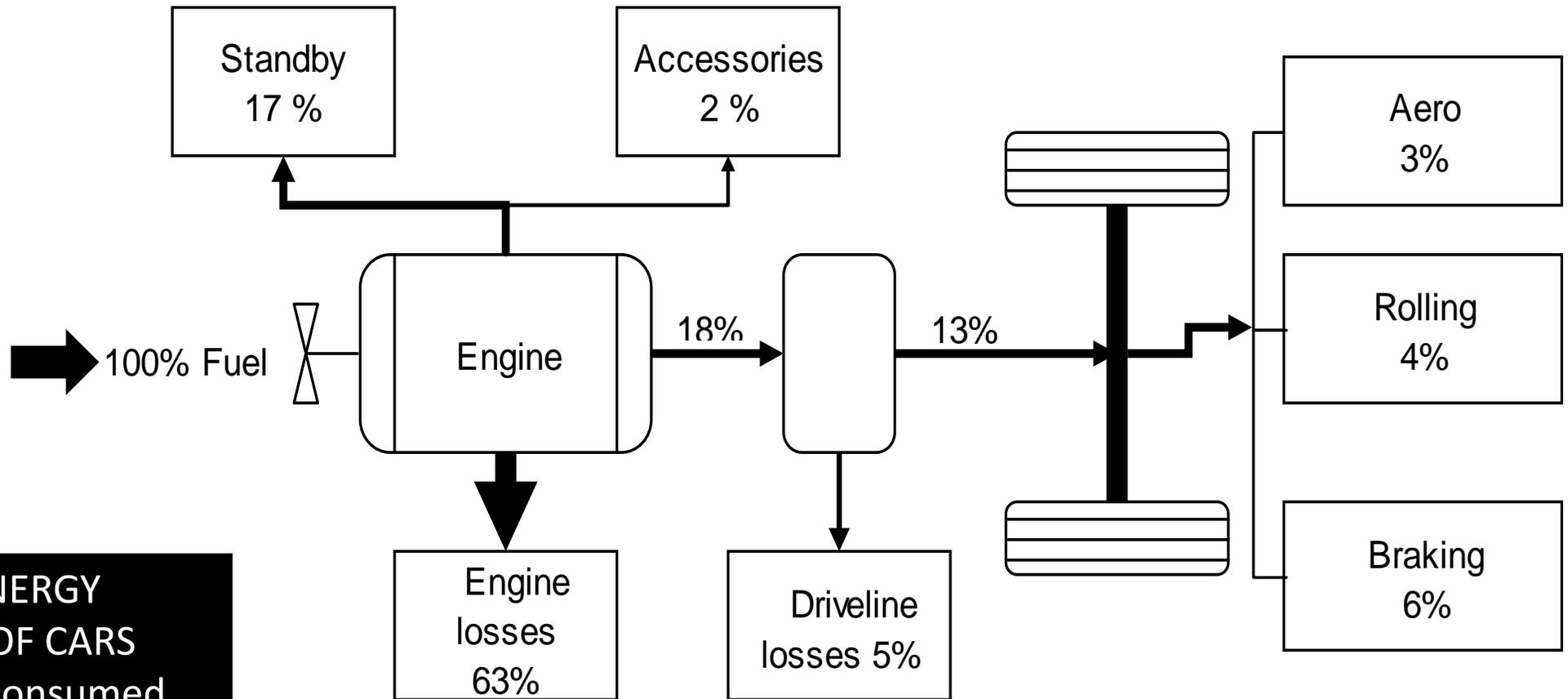


la gestione delle flotte e del trasporto merci

# Efficienza energetica dei veicoli stradali



# Perché l'auto a combustione interna è energeticamente inefficiente



**INTRINSIC ENERGY  
INEFFICIENCY OF CARS**  
less than 2% of consumed  
energy is used by the payload

# Stima del consumo di energia di un' automobile

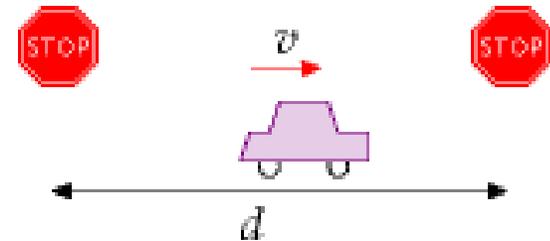
- Un'auto che percorre 100 km usa circa 80 kWh di energia.
- Dove finisce quest'energia?
- In che misura dipende dalle caratteristiche dell'auto?

# Consumo di energia dell'auto nelle fasi di moto vario

- Supponiamo di accelerare sino ad una velocità di crociera  $v$ , e di mantenere tale velocità per una distanza  $d$ , che è la distanza tra i semafori, i segnali di stop o due blocchi di traffico. A questo punto arrestiamo il veicolo e tutta la sua energia cinetica si trasforma in calore di frenatura.
- L'auto accelera e rallenta ogni intervallo di tempo  $d/v$ . La frequenza con cui l'energia si trasforma in calore di frenatura è pari all'energia cinetica diviso il tempo tra due frenature

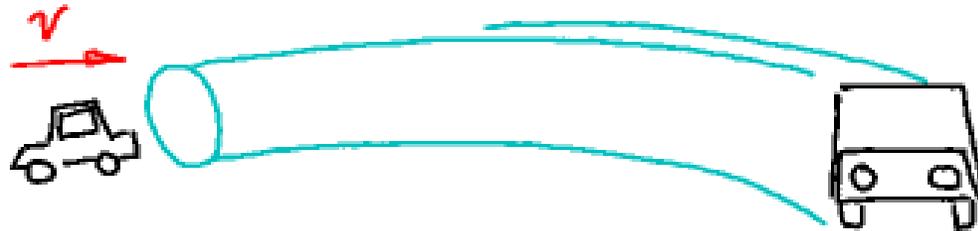
$$\frac{\frac{1}{2}m_c v^2}{d/v} = \frac{\frac{1}{2}m_c v^3}{d}$$

- $m_c$  è la massa dell'auto



# Consumo di energia dell'auto nella fase di moto uniforme

- L'energia non viene dissipata solo durante la frenatura, perchè durante il moto l'auto provoca la turbolenza dell'aria. L'auto lascia dietro di sè un tubo di aria turbolenta che si muove ad una velocità simile a  $v$ .



# Consumo di energia dell'auto nella fase di moto uniforme

- Il tubo di aria generato nel tempo  $t$  ha un volume  $Avt$ , dove  $A$  è la superficie della sezione trasversale del tubo, che è simile alla sezione trasversale frontale dell'auto.
- Per auto con forma aerodinamica,  $A$  è generalmente un pò più piccola della sezione frontale dell'auto  $A_{car}$ , e il rapporto tra le due aree è il coefficiente aerodinamico  $c_d$ . ( $A = c_d A_{car}$ )
- Il tubo ha una massa  $m_{air} = \rho Avt$  ( $\rho$  è la densità dell'aria) e si muove alla velocità  $v$ , con una energia cinetica:
- Il tasso di generazione dell'energia cinetica dell'aria è :
- Il tasso totale di uso dell'energia dell'auto è:

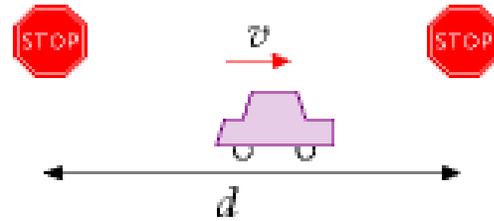
$$\frac{1}{2} m_{air} v^2 = \frac{1}{2} \rho Avt v^2$$

$$\frac{\frac{1}{2} \rho Avt v^2}{t} = \frac{1}{2} \rho Av^3$$

$$\frac{1}{2} m_c v^3 / d + \frac{1}{2} \rho Av^3$$

# Consumo di energia totale dell'auto

- Tasso di energia consumata nella distanza percorsa  $d$  tra una partenza ed un arresto
- Tasso di energia usata per la resistenza dell'aria
- Tasso di energia totale

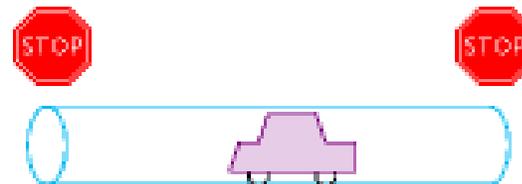


$$\frac{\frac{1}{2}m_c v^2}{d/v} = \frac{\frac{1}{2}m_c v^3}{d}$$



$$\frac{1}{2}m_{\text{air}}v^2 = \frac{1}{2}\rho A v t v^2$$

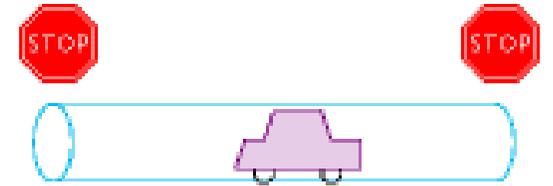
$$\frac{\frac{1}{2}\rho A v t v^2}{t} = \frac{1}{2}\rho A v^3$$



$$\frac{1}{2}m_c v^3 / d + \frac{1}{2}\rho A v^3$$

# Consumo di energia dell'auto

- Vediamo se è maggiore l'energia consumata nei freni o quella per smuovere l'aria
- Entrambe le due forme di energia crescono con  $v^3$ .
- Dimezzando la velocità  $v$ , la potenza impegnata si reduce di 8 volte
- Lo spostamento richiede il doppio del tempo, dunque l'energia consumata è 4 volte inferiore.
- Il consumo di energia dipende più dalla dissipazione di energia cinetica nei freni se la massa dell'auto è maggiore della massa del tubo di aria tra due arresti del veicolo, e viceversa.



$$\frac{1}{2}m_c v^3 / d + \frac{1}{2}\rho A v^3$$

$$(m_c / d) / (\rho A)$$

$$m_c > \rho A d$$

# Consumo di energia dell'auto

- Calcoliamo il valore della distanza  $d^*$  tra due arresti, al di sotto della quale il consumo di energia è legato più alle fasi di moto vario e al di sopra alla resistenza aerodinamica.
- Nelle ipotesi seguenti:
- $A_{\text{car}} = 3 \text{ mq}$ ,  $c_d = 1/3$ ,  $m_c = 1000 \text{ kg}$

$$d^* = \frac{m_c}{\rho c_d A_{\text{car}}} = \frac{1000 \text{ kg}}{1.3 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{3} \times 3 \text{ m}^2} = 750 \text{ m}$$

# Consumo di energia dell'auto

- Dunque la “**guida urbana**” è dominata dalla dissipazione dell'energia cinetica in frenatura, se la distanza tra due arresti è inferiore a 750 m. Per ridurre i consumi di energia conviene:
  - **Ridurre la massa del veicolo (auto piccole e con materiali compositi);**
  - **Recuperare l'energia di frenatura (auto elettriche) e**
  - **Ridurre la velocità (eco-driving).**
- La “**guida extraurbana,**” quando la distanza tra gli arresti è molto maggiore di 750 m, è dominata dalla dissipazione di energia per la resistenza aerodinamica. In queste condizioni il peso del veicolo non è rilevante. La resistenza non cambia con il numero di passeggeri a bordo. Per ridurre i consumi di energia conviene :
  - **Ridurre il coefficiente aerodinamico**
  - **Ridurre la sezione trasversale; or**
  - **Ridurre la velocità.**

# Consumo di energia dell'auto

- I tipici motori a combustione interna hanno un'efficienza energetica del 25%, 3/4 dell'energia chimica del combustibile è sprecata in riscaldamento del motore e del radiatore, e solo 1/4 si trasforma in energia utile: :

$$\text{total power of car} \simeq 4 \left[ \frac{1}{2} m_c v^3 / d + \frac{1}{2} \rho A v^3 \right].$$

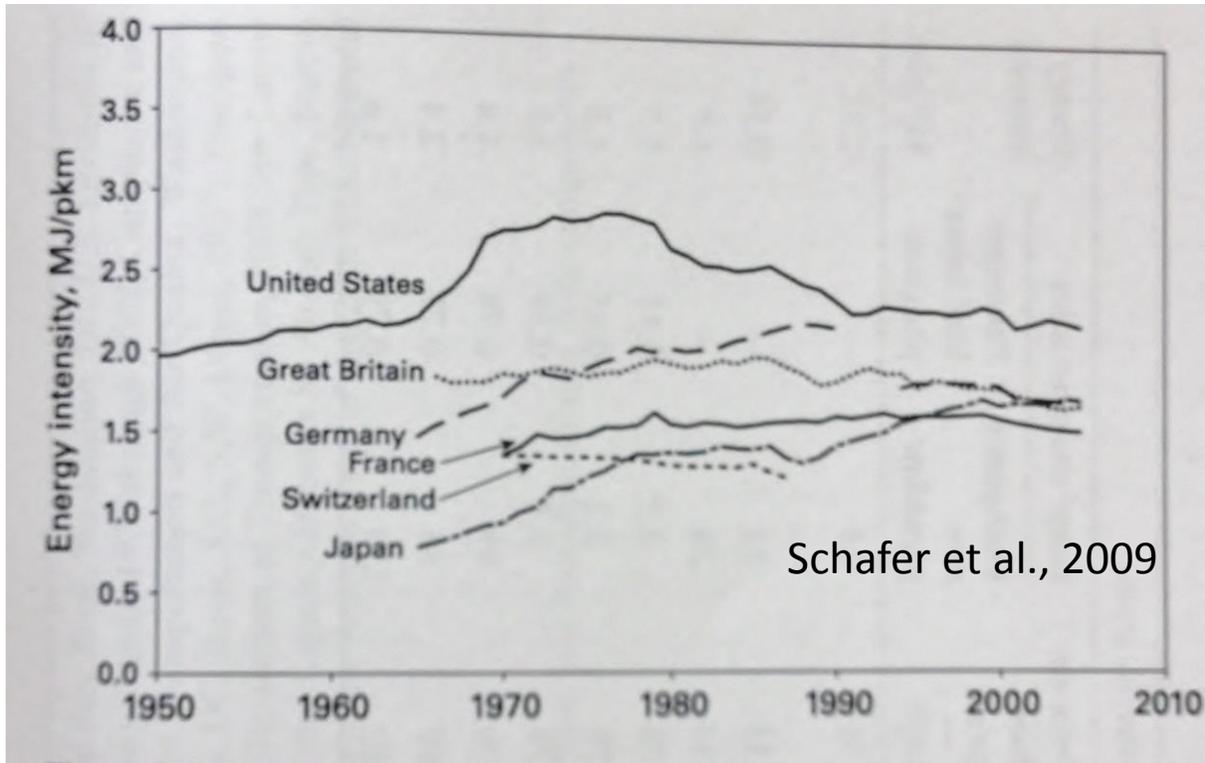
- Ipotizzando  $v = 110 \text{ km/h} = 31 \text{ m/s}$  e  $A = c_d A_{\text{car}} = 1 \text{ m}^2$ .
- La potenza necessaria è circa:

$$4 \times \frac{1}{2} \rho A v^3 = 2 \times 1.3 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m}^2 \times (31 \text{ m/s})^3 = 80 \text{ kW}.$$

# Consumo di energia dell'auto

- Viaggiando a 110 km/h per un'ora si consuma 80 kWh di energia.
- Dimezzando la velocità, si viaggia per due ore con 1/8 della Potenza. Il consumo di energia è dunque 20 kWh .
- Consumi unitari
  - Auto a 110 km/h 80 kWh/100 km
  - Bicicletta a 20 km/h 2.4 kWh/100 km
  - A380 a 900 km/h 27 kWh/100 posti-km

# Evoluzione storica del consumo energetico delle auto



- Nonostante il progresso tecnologico del settore dei trasporti, la quantità di energia utilizzata con tutti i modi di trasporto divisa il numero totale di pax-km è rimasta pressoché costante, per le seguenti ragioni:
  - Riduzione dell'uso del trasporto pubblico a bassa velocità a favore dell'uso di auto e aeroplani ad alta velocità
  - Uso di veicoli più grandi, pesanti e potenti, ma di pari capacità di trasporto



1909

1320

2970

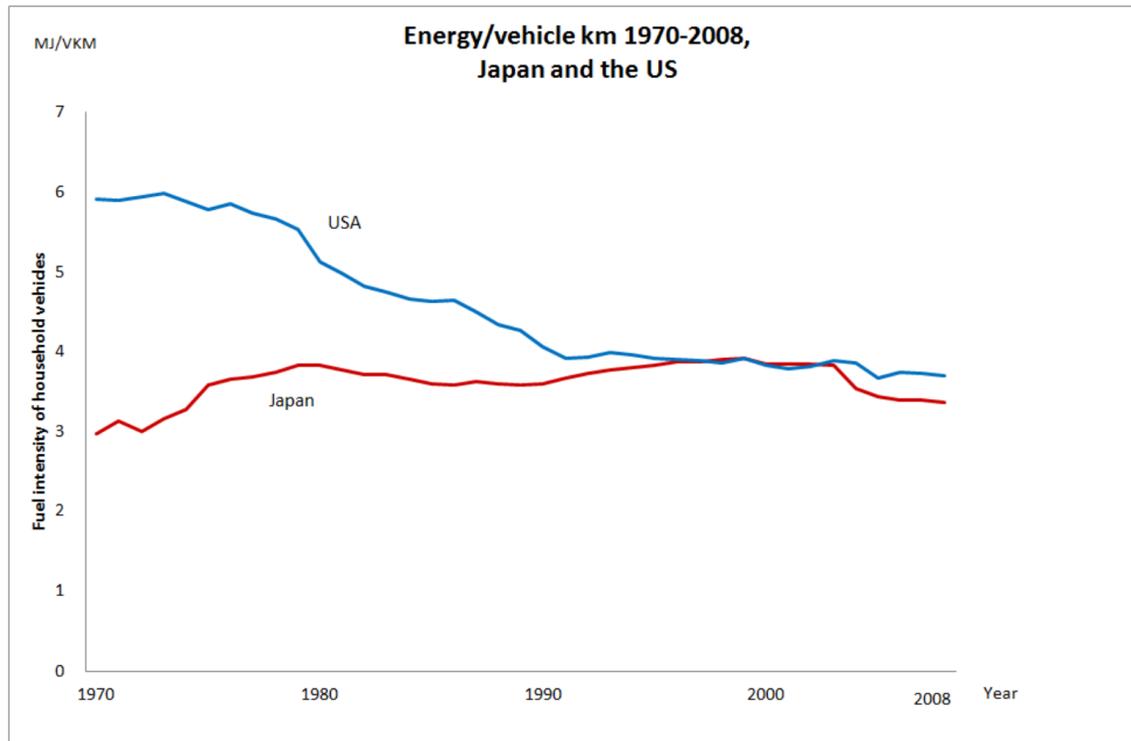
4807

1320

1784

# Evoluzione storica del consumo energetico delle auto

Lipscey, Schipper



modello	Peso, t	Potenza, kW	Potenza unitaria, kW/t	Consumo, (l/100km)
Ford model T 1908	0.550	15	27	15
1950	1.710	90	53	15
1973	1.860	110	60	18
1980	Oil crisis			8.7
2005			85	10

Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

# Evoluzione storica del consumo energetico delle auto



Ford Model T 1910  
550 kg, 15 kW,  
15 l/100km



Toyota Camry 1983  
1110 kg, 69 kW,  
7.5 l/100km



Toyota Camry 2007  
1500 kg, 118 kW,  
9 l/100km

- Sebbene il consumo di una Ford Model T all'inizio del ventesimo secolo era quasi doppio di quello di un'auto di oggi, tenendo conto dell'aumento del peso delle auto, questo rapporto avrebbe potuto essere 5 a 1.
- Il Model T consumava 5 volte di carburante per unità di peso, ma abbiamo sacrificato il potenziale risparmio di energia per guidare veicoli più pesanti (e più veloci)

# Evoluzione delle caratteristiche di un'auto media

	1910-1920	2005	2020-2030
<b>Spark-ignition engine</b>			
Rapporto di compressione	4:1	10:1	12:1
Rapporto potenza/cilindrata, kW/L	5	50	65
Rapporto potenza/peso, W/kg	<0.1	22	27-33
Emissioni HC/Nox, g/km	10/2	0.03/0.13	0.01/0.02
<b>Vehicle</b>			
Coefficiente aerodinamico	0.8	0.33	0.25
resistenza specifica rotolamento	0.02	0.009	0.007
Massa veicolo per posto, kg	136	320	200-300
Metalli leggeri e plastica, %	0	15	20-50
consumi, L/100 km	15	10	4-8



# Mobilità elettrica

# Auto elettrica

- **L'auto elettrica** è un mezzo di trasporto dotato di un motore elettrico per la trazione che utilizza energia chimica immagazzinata in un “serbatoio” costituito da una o più batterie.
- **Nell'auto ibrida (MCI-elettrica)** invece coesistono due tipologie di motori, quello elettrico e quello termico, che possono avere funzioni differenti.

# Benefici dell'auto elettrica

Riduzione energia

Riduzione emissione gas serra

Riduzione dipendenza energetica dal petrolio

Riduzione inquinamento atmosferico nelle città,  
soprattutto le polveri sottili

# Benefici dell'auto elettrica

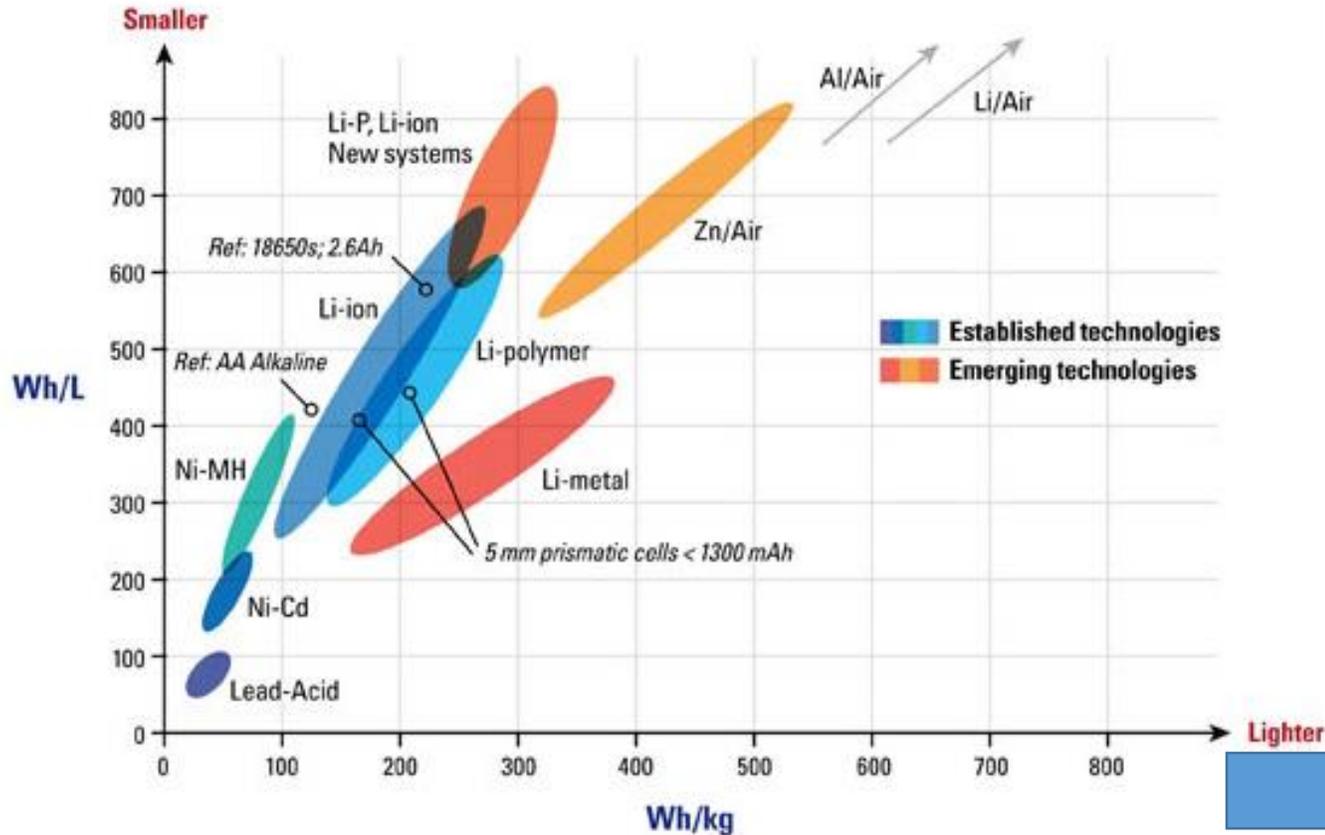
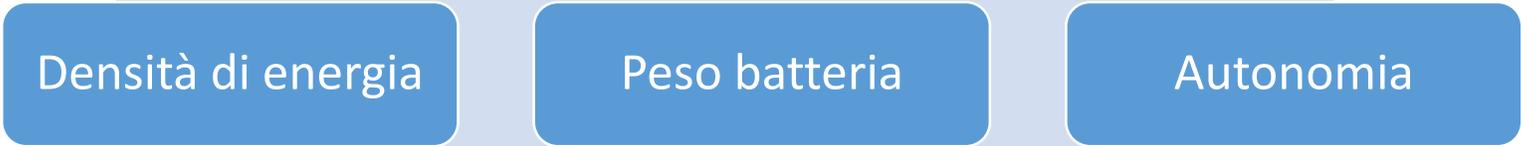
## ELETTRICA VS COMBUSTIONE INTERNA

- Meno rumore
- Meno puzza
- Meno vibrazioni
- Niente cambio
- Assenza consumi a veicolo fermo
- Alta coppia
- Bassa manutenzione
- Ma, **MINORE AUTONOMIA**

## PRESTAZIONI DI UN'AUTO ELETTRICA

- Consumo Unitario 150 Wh/km
- Batteria di capacità di 25 kWh
- Autonomia 160 km (25000/150)
- La capacità della batteria contiene l'energia di 3 litri di benzina; è come se un'auto a benzina percorresse 53 km con un litro di benzina
- Bassa densità di energia ma alta efficienza energetica

# La densità di energia sta crescendo



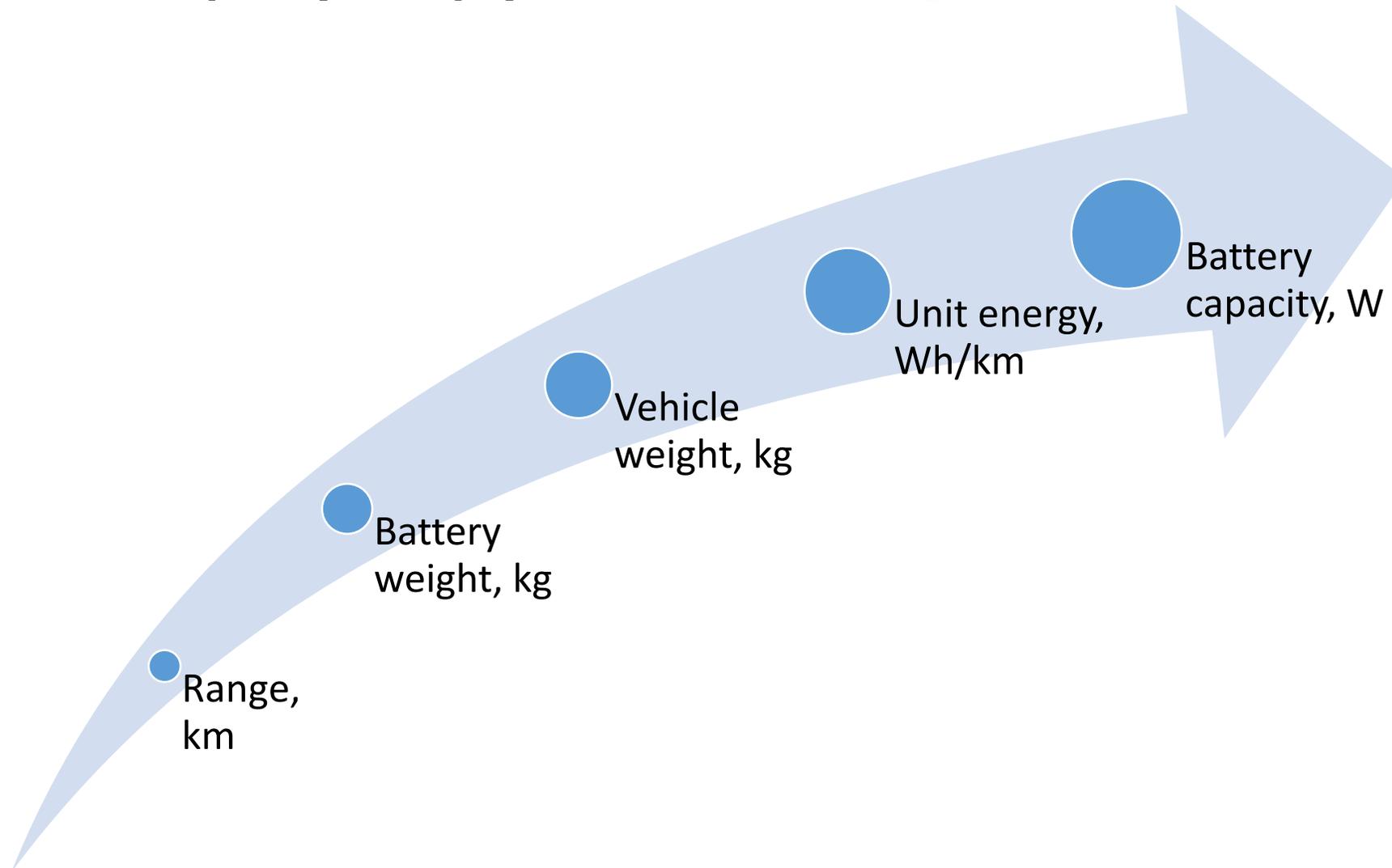
benzina 12500 Wh/kg

Efficie

# But density of energy is still a problem

- If we want an all-electric vehicle to give a driving range comparable to that of a gasoline-powered car, using a 100 Wh/kg battery (Li-ion):
  - Range 600 km
  - Average unit energy use 150 Wh/km
  - Total battery capacity  $(600 \text{ km} \times 150 \text{ Wh/km}) = 90.000 \text{ Wh}$
  - Battery weight  $(90.000 \text{ Wh} / 100 \text{ Wh/kg}) = 900 \text{ kg}$
- The vehicle weight would approximate twice that of an ICE vehicle

# More battery capacity per unit of weight is needed

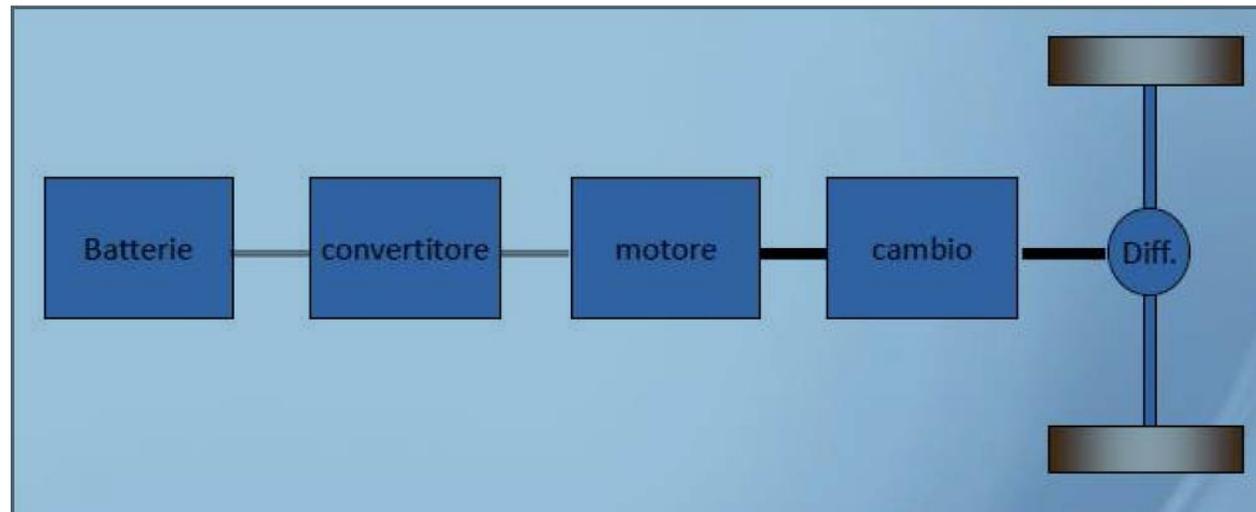


# Classification of electric vehicles

- Veicoli **puramente elettrici** (EV, PEV o FEV, *Full Electric Vehicles*).
- HEV (*Hybrid Electric Vehicle*): veicoli ibridi tradizionali, nei quali si ha l'abbinamento della trazione termica a quella elettrica in modalità seriale, parallela e in alcuni casi mista.
- PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*): come i precedenti ma è possibile procedere alla ricarica delle batterie, oltre che attraverso l'azione del motore termico, anche collegando il veicolo alla rete elettrica.

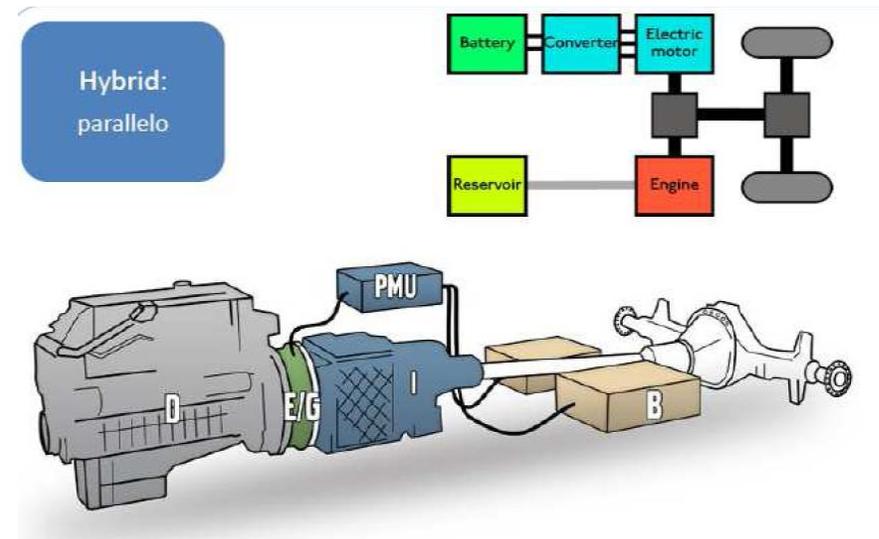
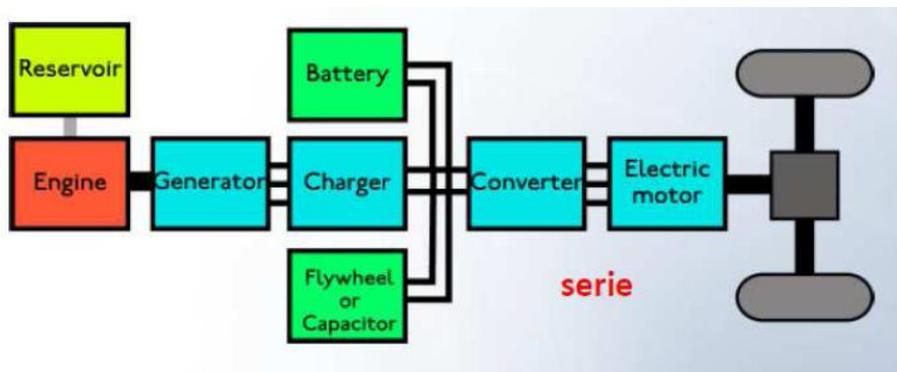
# PURE ELECTRIC VEHICLE - PEV

- I motori elettrici hanno una grande efficienza energetica
- Rendimento motore elettrico 90% (30% benzina, 40% diesel)
- Inoltre, a differenza di quelli termici, i motori elettrici sono più silenziosi e non producono fumi nocivi.



# HYBRID ELECTRIC VEHICLE - HEV

- An electric motors assists a downsized ICE.
- **ICE** is mostly used when **cruising at higher speed** or act as generator to produce electricity, exploiting its good efficiency at constant operating regimes.
- The **electric motor** typically propels the vehicle **during most stop-and-go** (urban) driving, uses its high torque at low speed and acts as generator during braking.

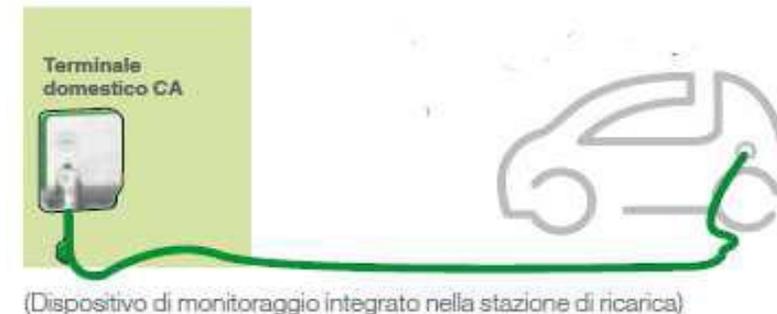


# HYBRID ELECTRIC VEHICLE — HEV - benefits

- Combine advantages of ICE (high density energy)
- and the electric drivetrain (high motor efficiency and zero idling losses)
- ICE turning off during standstill                      17% energy saving
- Regenerative braking                                      6%
- More efficient regimes of ICE                            15-20%
- Continuously variable transmission                  5-10%
  
- Total HEV consumption 30-40% less than a ICE counterpart

# Conductive recharge

- **Ricarica lenta** in ambiente domestico
  - Monofase: a 230 V AC, 16 A,  $t = 6 \div 8$  h
  - Trifase: a 380 V AC, 16 A,  $t = 2 \div 3$ h
- **Ricarica rapida** in impianti pubblici
  - Corrente continua: 400 ÷ 500V, 100 ÷ 125 A,  $t = 20 \div 10$  min o meno



# Inductive recharge

- L'impianto è annegato sotto la pavimentazione
- Il riconoscimento del veicolo è automatico durante la sosta
- Non è necessario il contatto fisico tra veicolo e infrastruttura.
- E' possibile procedere anche alla ricarica in movimento.



Esempio di ricarica induttiva per autobus di linea urbana (linea Star di GTT, Torino, 2013)

# Market evolution

- The price of Litium battery is expected to reduce 50% in 2020 and 75% in 2025.
- By 5 years the price of an Electric Car will equal that of Internal Combustion Engine cars
- 10% could be the market share of electric vehicles
- 2000 € will be the average saving in a year of operation
- Are we sure this will be good?
  - Occupation of space in urban areas is still the same, even if the car is electric
  - Actual emission characteristics of an EV depends on the fuel mixture used by each country to generate electricity
  - The ideal situation is when electricity for battery re-charge comes from renewable energy sources (wind, photovoltaic, etc.)

# Interazione trasporti-territorio-energia







PARIGI

# Car use and residential density

**Table 4: Vehicle usage by residential density**

Housing units per square mile in Census block group	0 to 50	50 to 250	250 to 1K	1K to 3K	3K to 5K	Over 5K	
Annual mileage of all household vehicles	25786	24553	22218	18897	14982	13431	When urban density increases Travelled distance decreases
Annual fuel consumption in gallons	1308	1217	1067	895	717	599	Fuel consumption decreases
Vehicles per household	1.95	1.97	1.86	1.63	1.34	0.79	Less cars
Average number of drivers	1.79	1.81	1.78	1.59	1.40	0.85	Less drivers
Household income (\$10000)	4.57	5.56	6.30	5.50	4.67	4.42	Same income

Source: 2001 NHTS, average across estimation sample (4992 observations)



# Urban density and transport energy

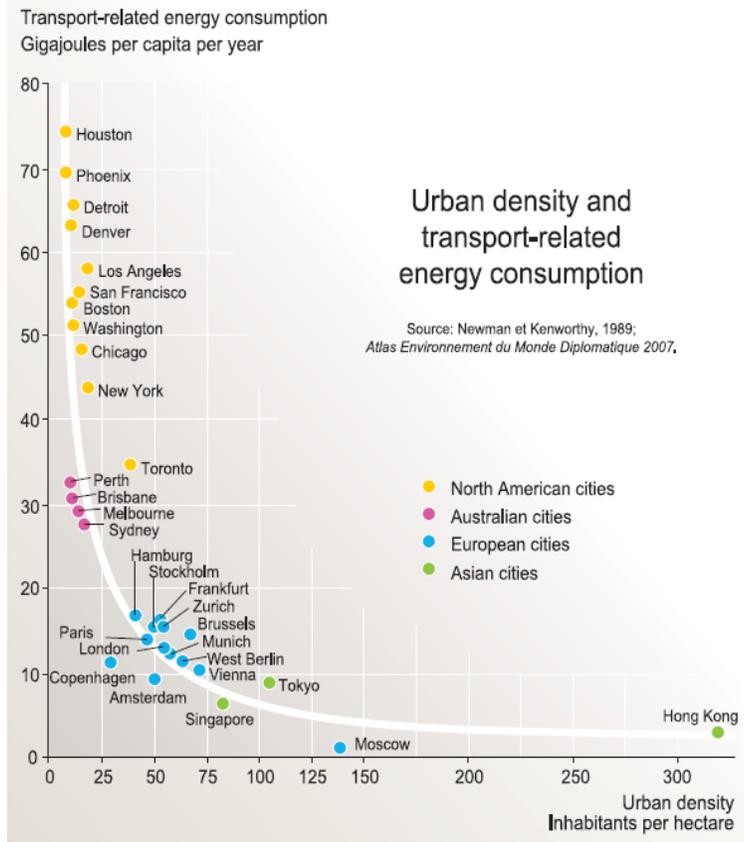


Figure 1 : The Newman and Kenworthy hyperbola: Urban density and transport-related energy consumption



mixed use,  
transit oriented  
compact cities

against



low density,  
car dependent  
and sprawled  
cities

Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

# Average density vs Spatial Dynamics

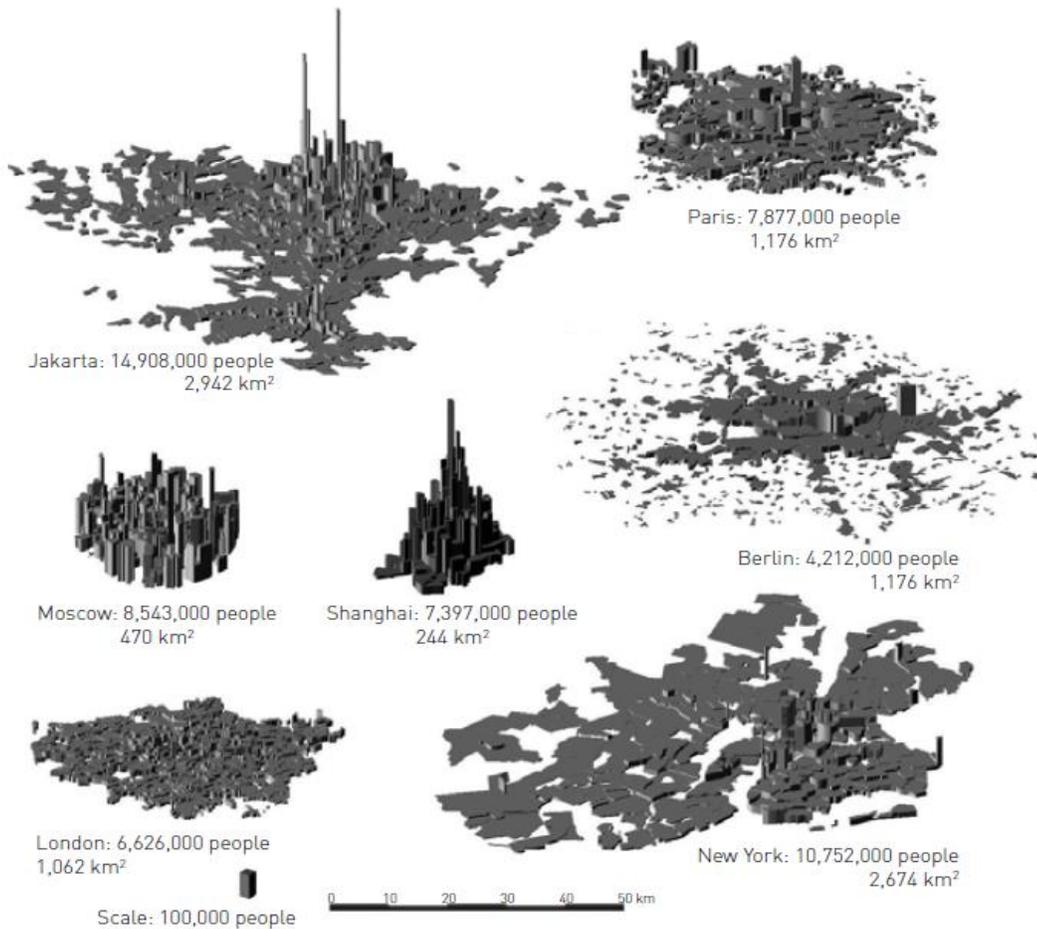
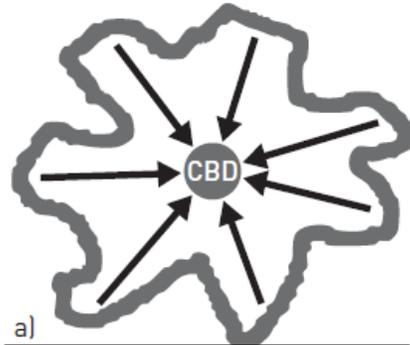


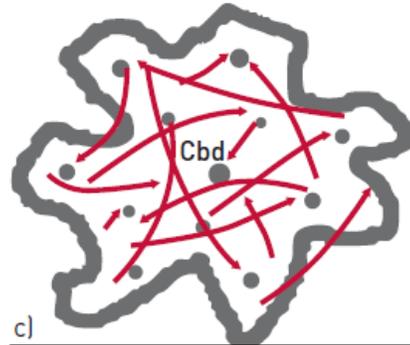
Figure 3. Residential density distribution in several cities. Source: [Bertaud, 2001].

- Un gradiente di densità negativo è generato dalla competizione economica per localizzazioni centrali.
- È influenzato dalle politiche urbanistiche, tassazione e infrastrutture.
- Un gradiente positivo aumenta il consumo di energia dei trasporti (addensamento origini spostamenti in periferia)

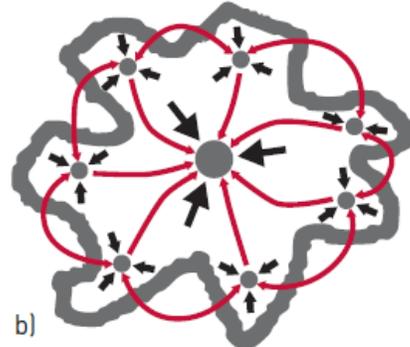
# Average Density vs Spatial Dynamics



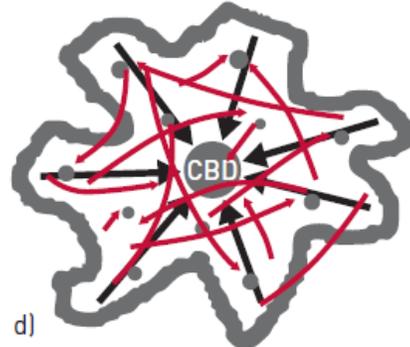
a)  
Radial monocentric



c)  
Random polycentric



b)  
Urban village  
polycentric



d)  
Random and radial  
mono-polycentric

- a) Londra
- b) Stoccolma
- c) Los Angeles
- d) Evoluzione di una città monocentrica in una megalopoli

# Which model: Barcellona o Atlanta?

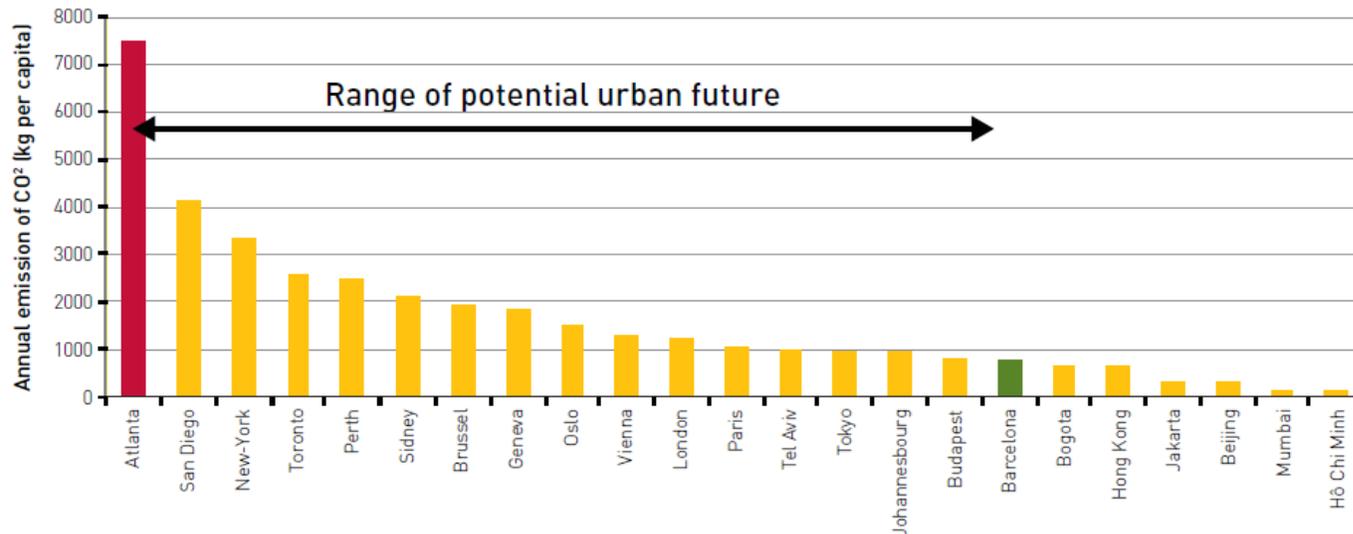


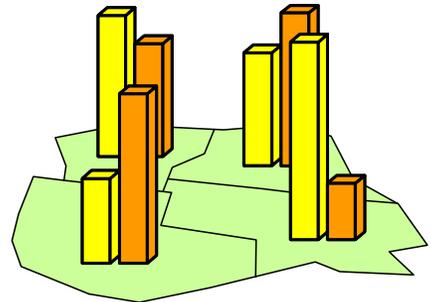
Figure 6. Atlanta or Barcelona, the range of possible urban futures. Source : Adapted from (Newman and Kenworthy, 1999).

# Urban modelling

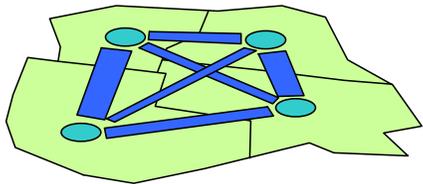
- Modelli complessi di interazione trasporti territorio per i ricercatori
- La pianificazione urbanistica e dei trasporti ha bisogno di modelli semplici per indirizzare lo sviluppo lungo i percorsi della sostenibilità

# Transport energy dependence urban model

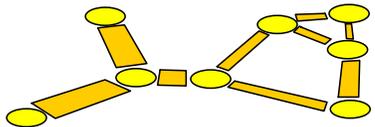
# Land Use- Transport – Energy model



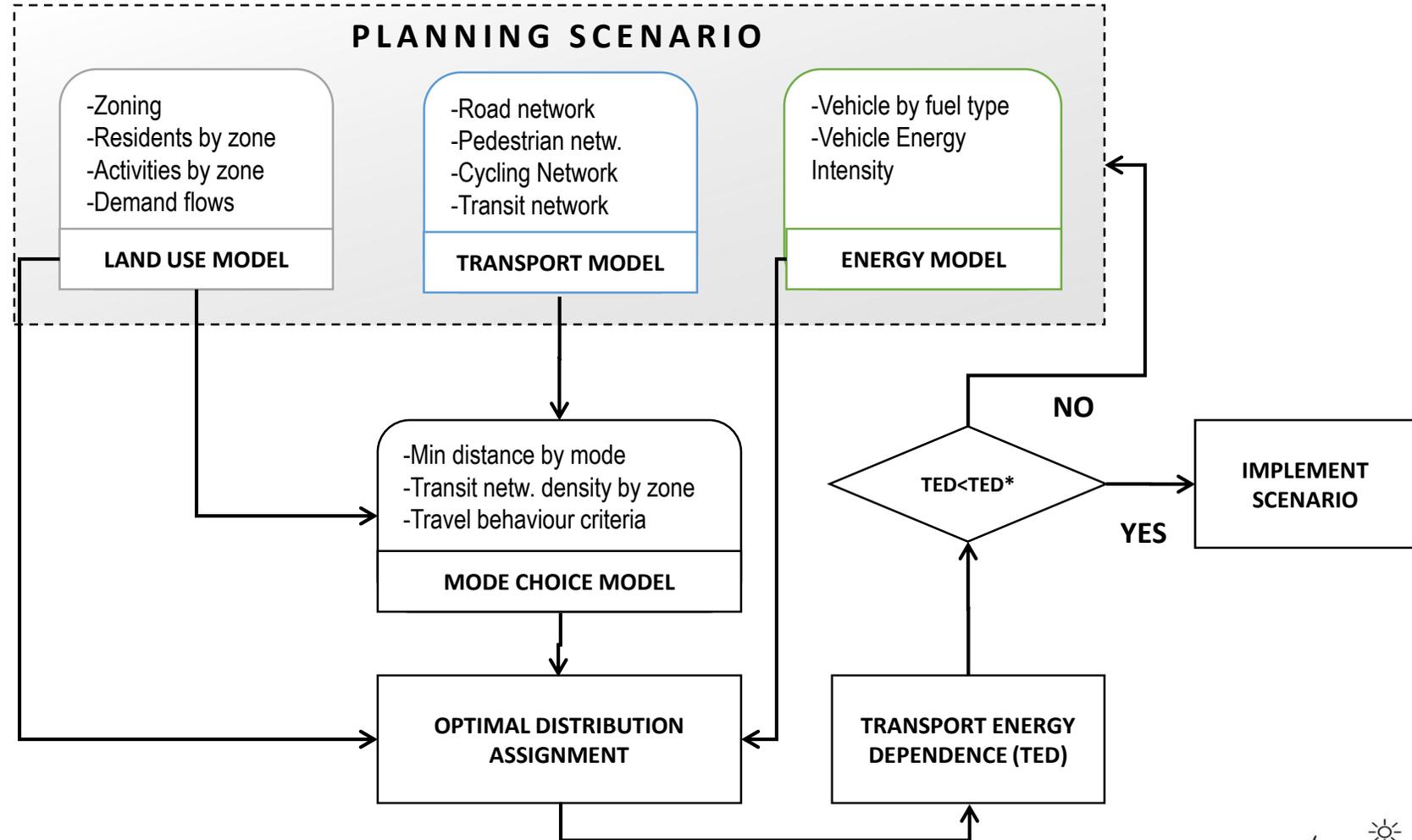
Land Use



Spatial Interactions

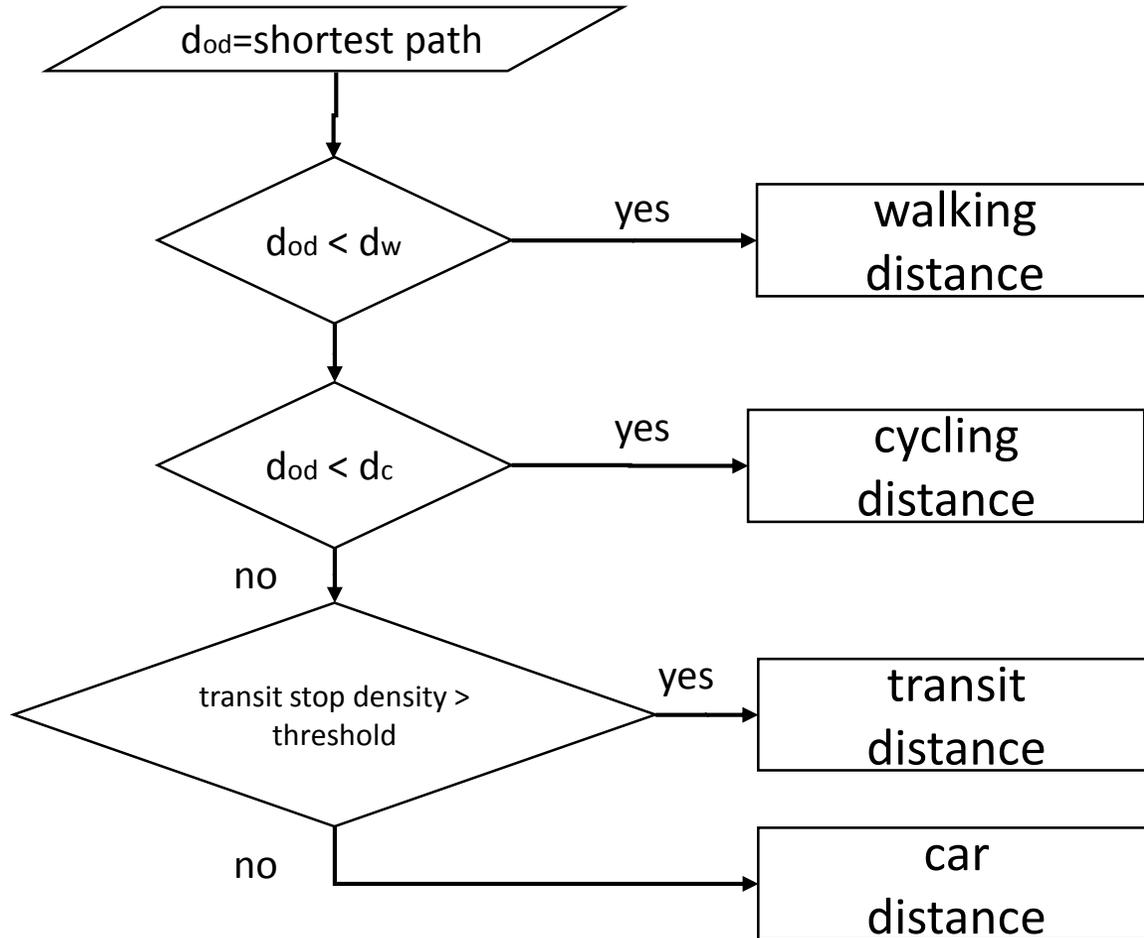


Transportation Network



Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

# Transport mode choice model



TRANSIT DENSITY THRESHOLD		
BUS	6.67	Km/km <sup>2</sup>
LRT	3.30	Km/km <sup>2</sup>
METRO	2.50	Km/km <sup>2</sup>

Choice	Distance	
WALKING	<500m	dod
CYCLING	<1000m	dod
BUS	<300+300m	Stop access/egress
LRT	<600+600m	Stop access/egress
METRO	<800+800m	Stop access/egress

# Optimal demand flows assignment

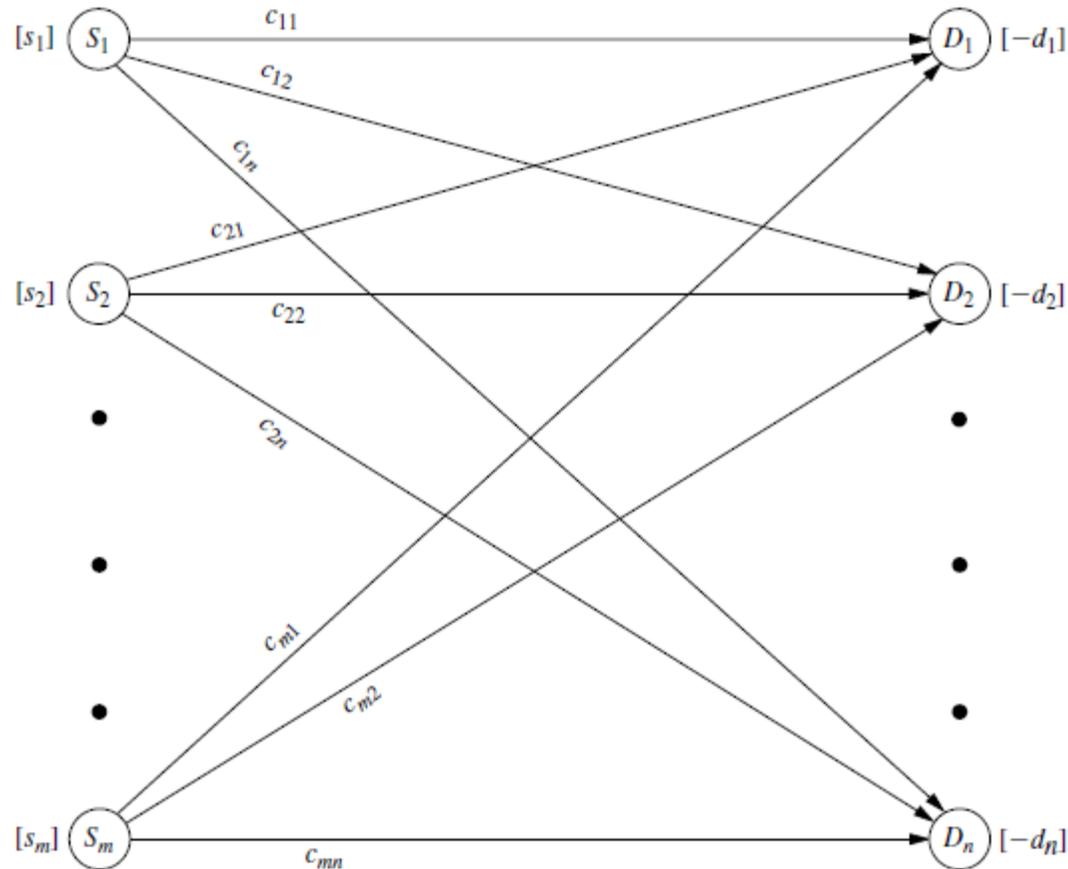
$$\min(Z) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = s_i$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j$$

$$x_{ij} \geq 0$$

THE TRANSPORTATION PROBLEM



Hillier and Lieberman, 2001

# Transport Energy Dependence

$$TED_s = \sum_o \sum_d \boxed{t_{od} \cdot l_{od} \cdot \frac{e_v}{c_v \cdot LF_v}} \cdot c_{ij} \cdot x_{ij}^{opt}$$

$t_{od}$  number of trips assigned from zone  $o$  to zone  $d$  to minimize  $Z$  (passengers)

$l_{od}$  shortest distance between zone  $o$  and zone  $d$  (km)

$e_v$  unit energy consumption of the chosen transport mode (kWh/km)

$c_v$  capacity of the vehicle (spaces)

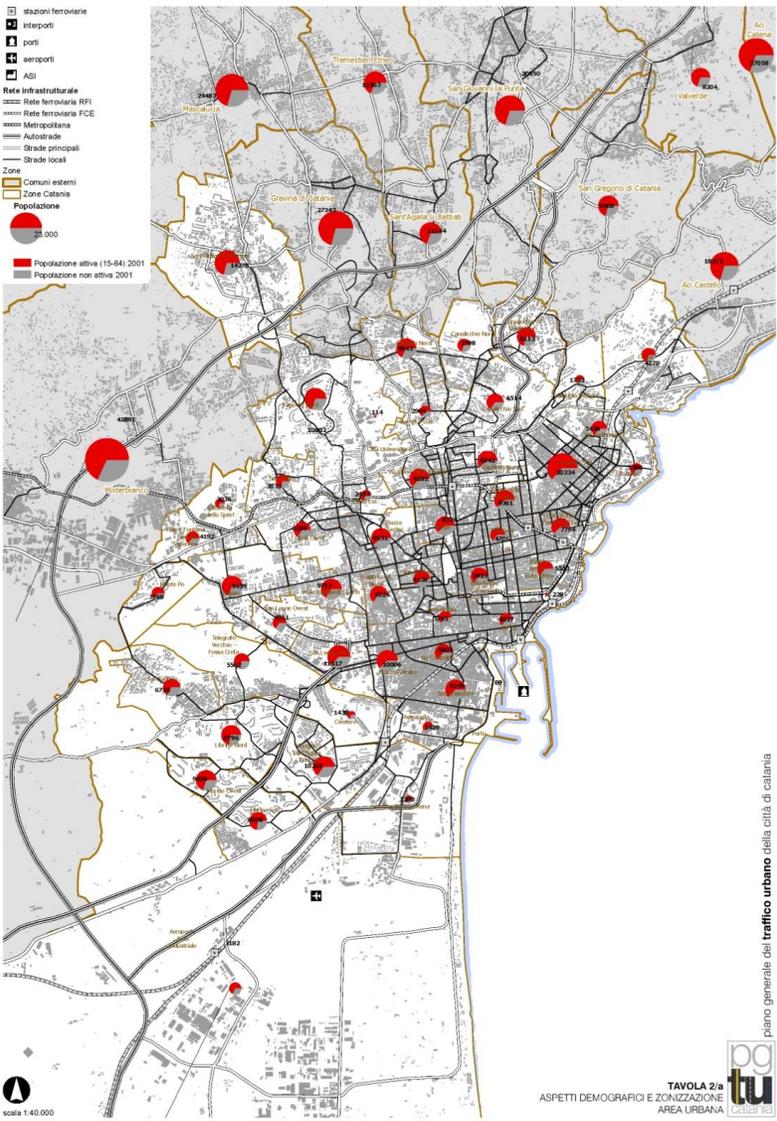
$LF_v$  load factor (passengers/spaces)

Mode of transport	Unit energy consumption kWh/pax-km
Private Car	0.71-0.57
Regular Bus Transit	0.325
Bus Rapid Transit	0.192
Metro Transit	0.133

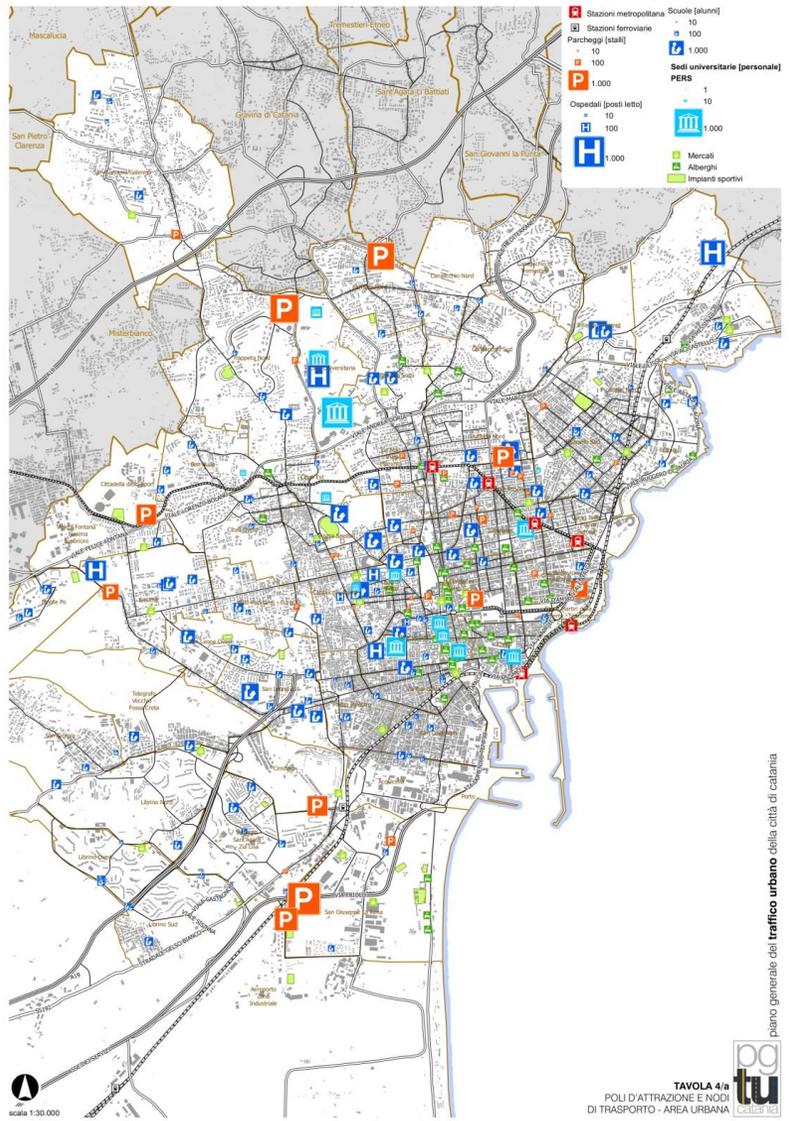
Kenworthy (2003)

# Case Study - Catania

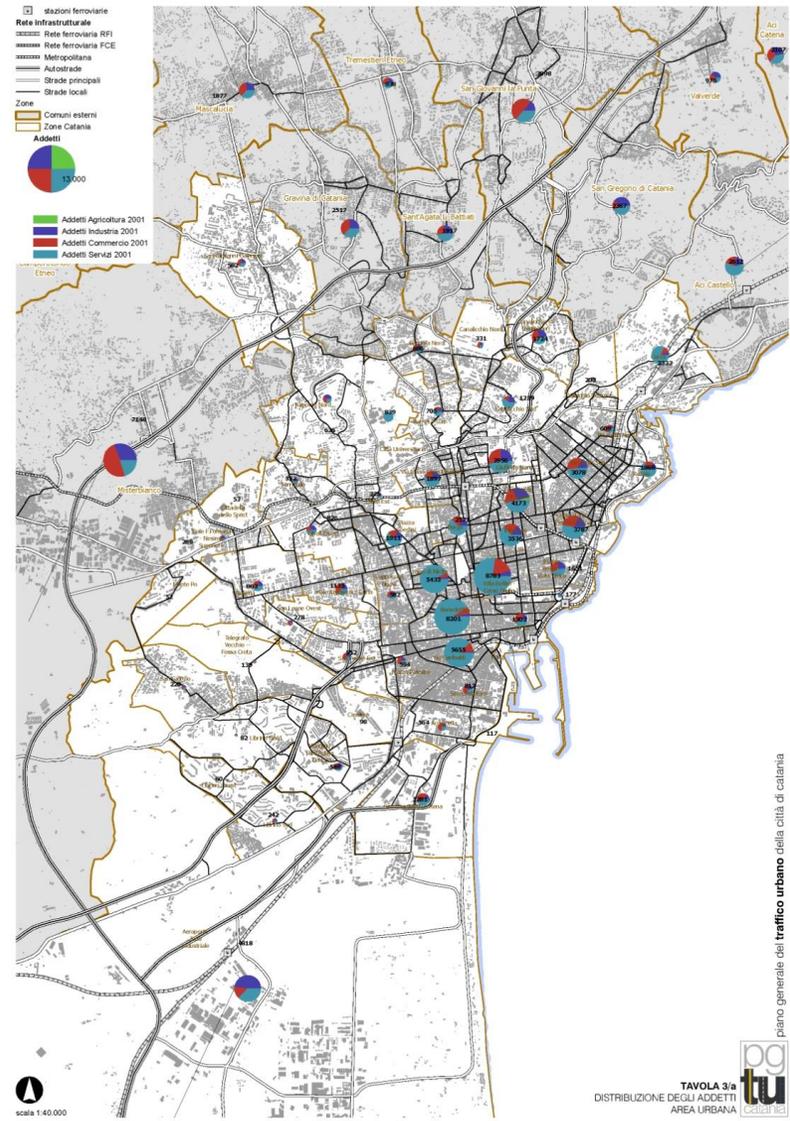




population



public services

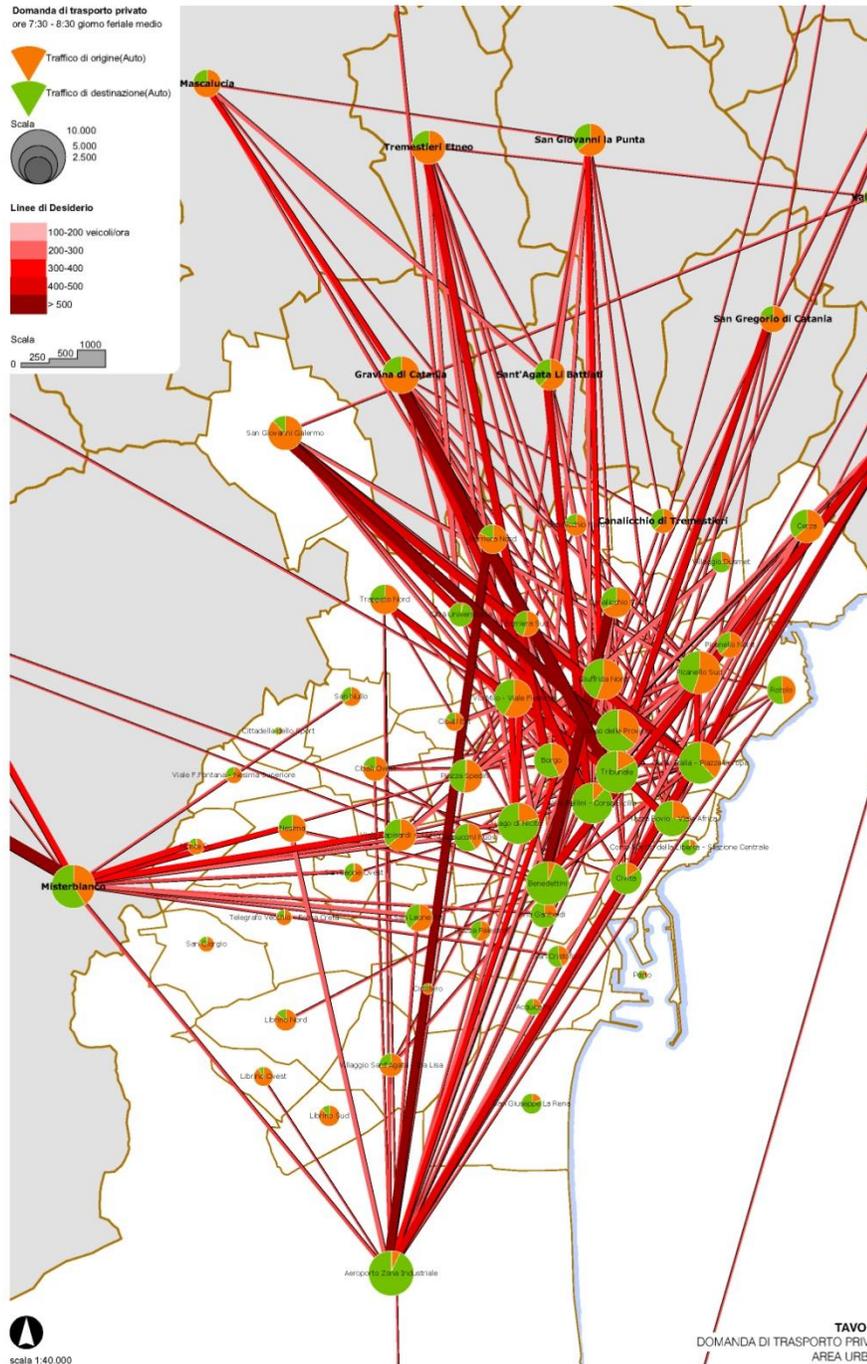


jobs

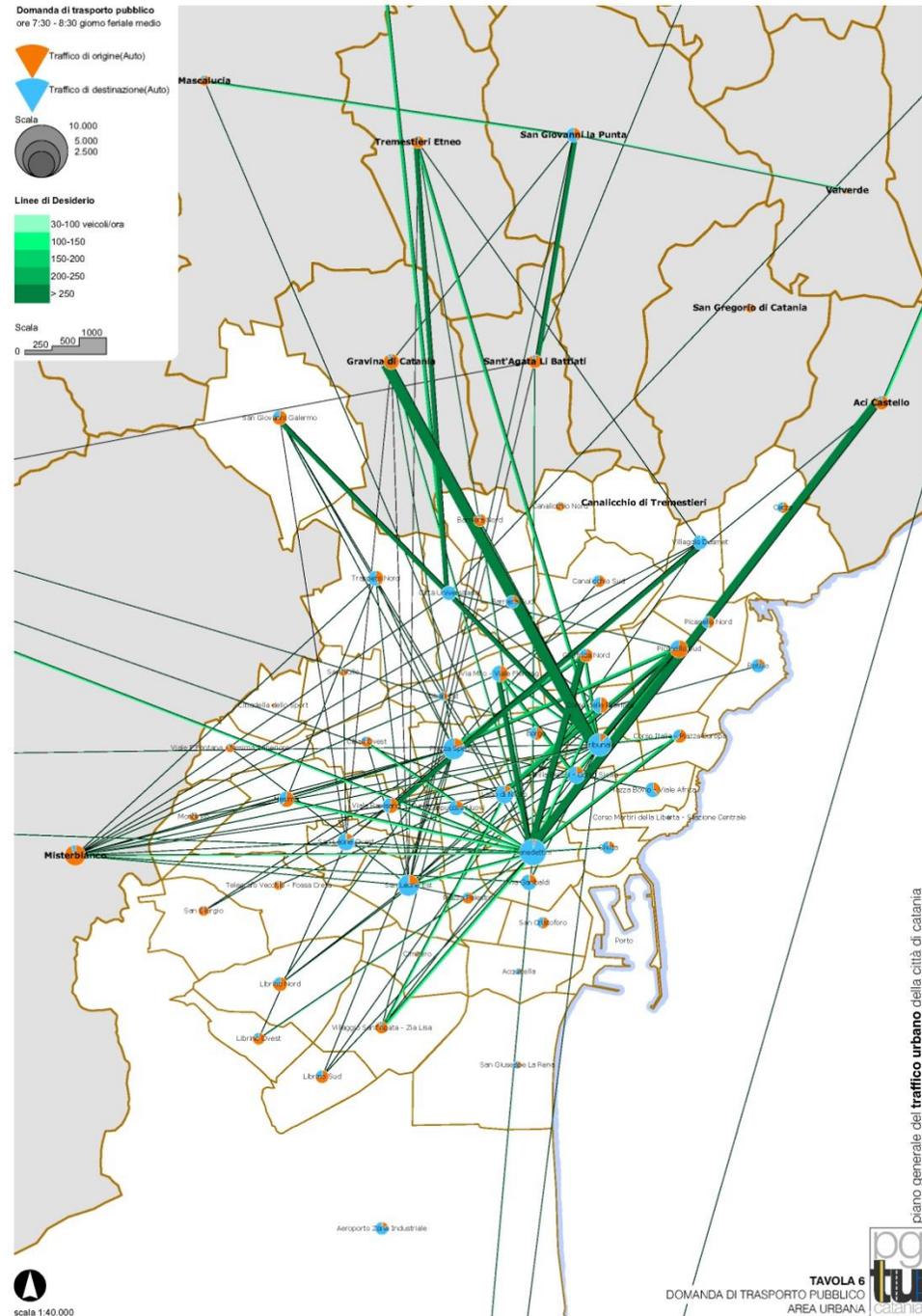
Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale



Private transport demand



Efficie

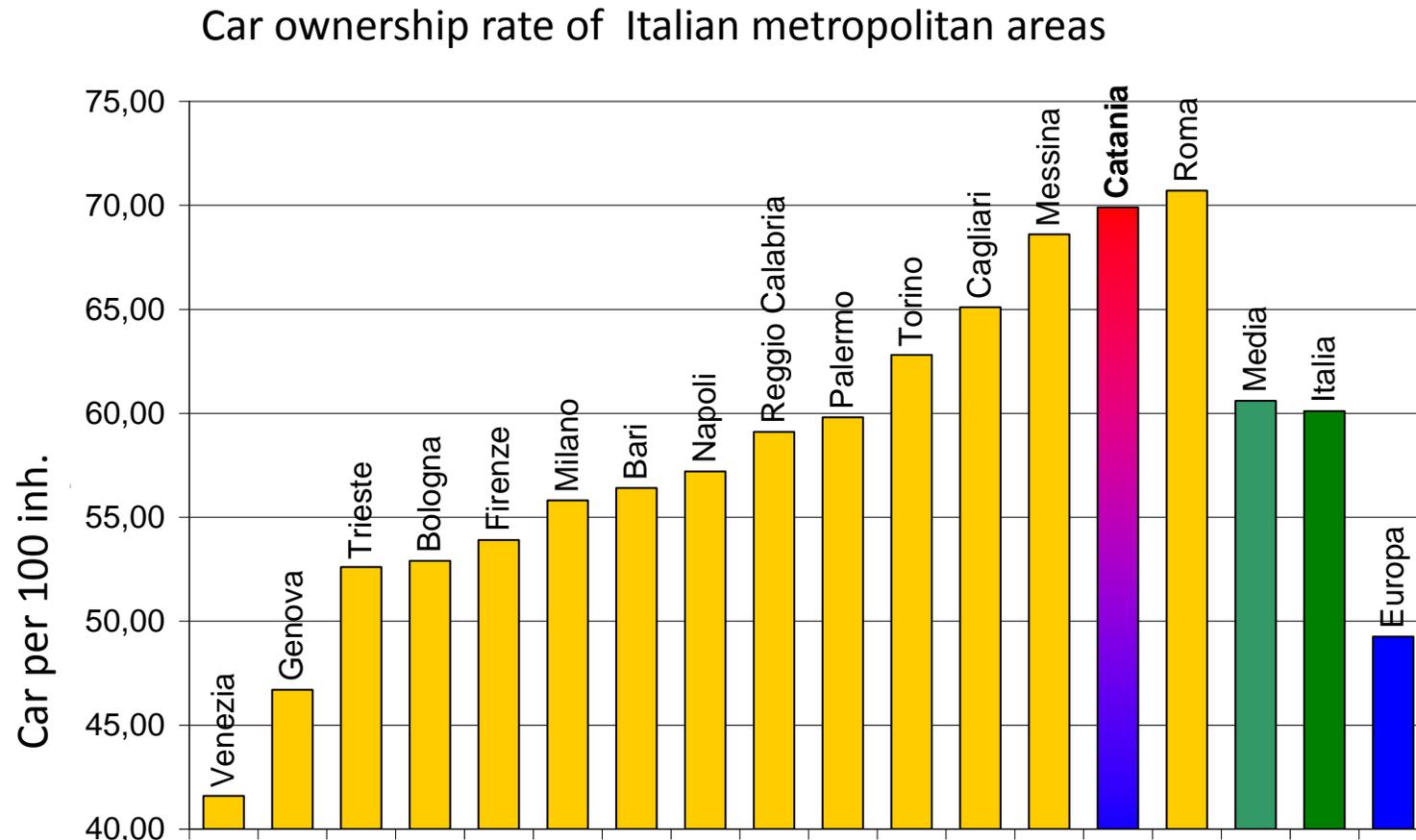


Public transport demand

piano generale del traffico urbano della città di catania



# Car ownership rate (cars per 100 inh.)



Volumi traffico 7.30-8.30 GFM

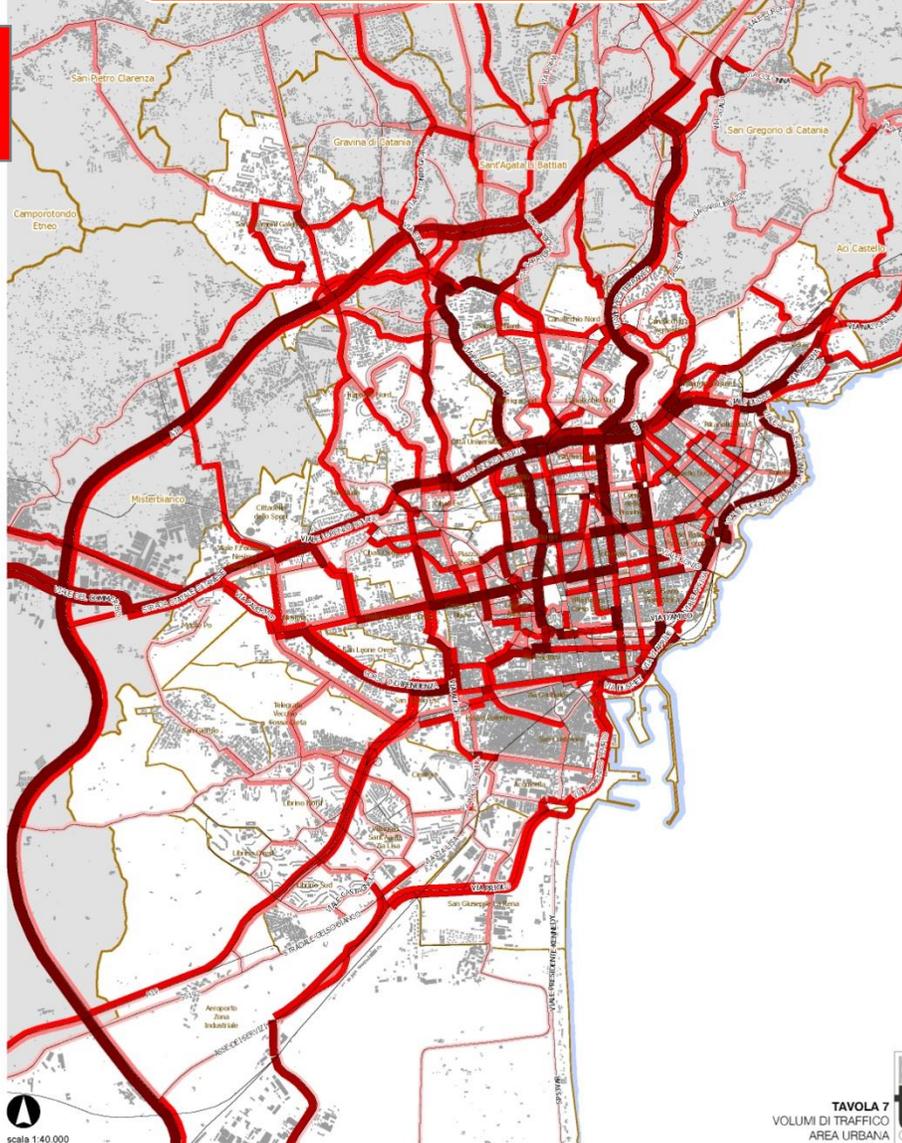
- 0 - 200
- 201 - 500
- 501 - 1000
- 1001 - 1500
- 1501 - 2000
- 2001 - 3000
- 3001 - 10000

Zone

- Comuni esterni
- Zone Catania

Ingoing flows 20.000 veh/h

50% of internal flow



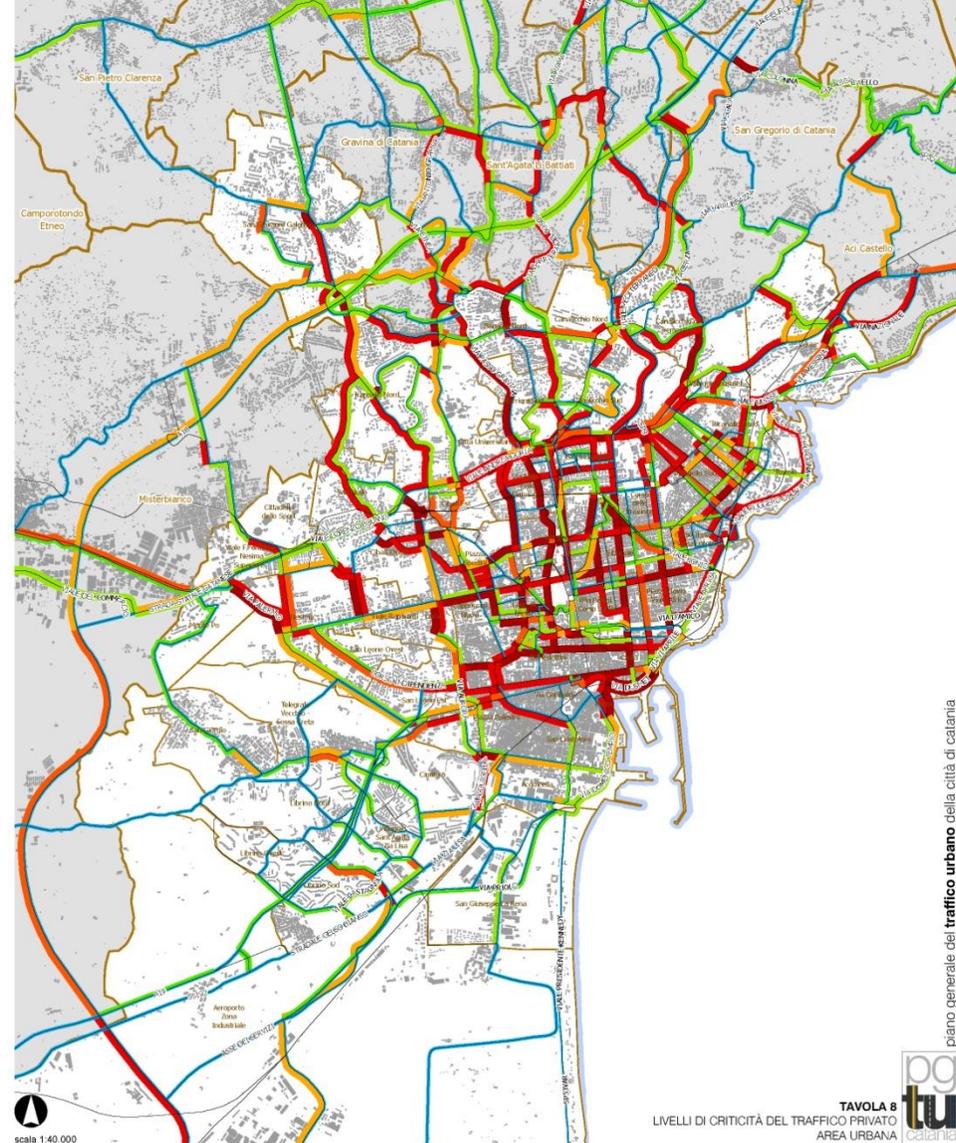
Peak hour traffic flow

Livelli di criticità

- < 35%
- 35% - 50%
- 50% - 75%
- 75% - 90%
- 90% - 100%
- 100% - 150%
- > 150%

Zone

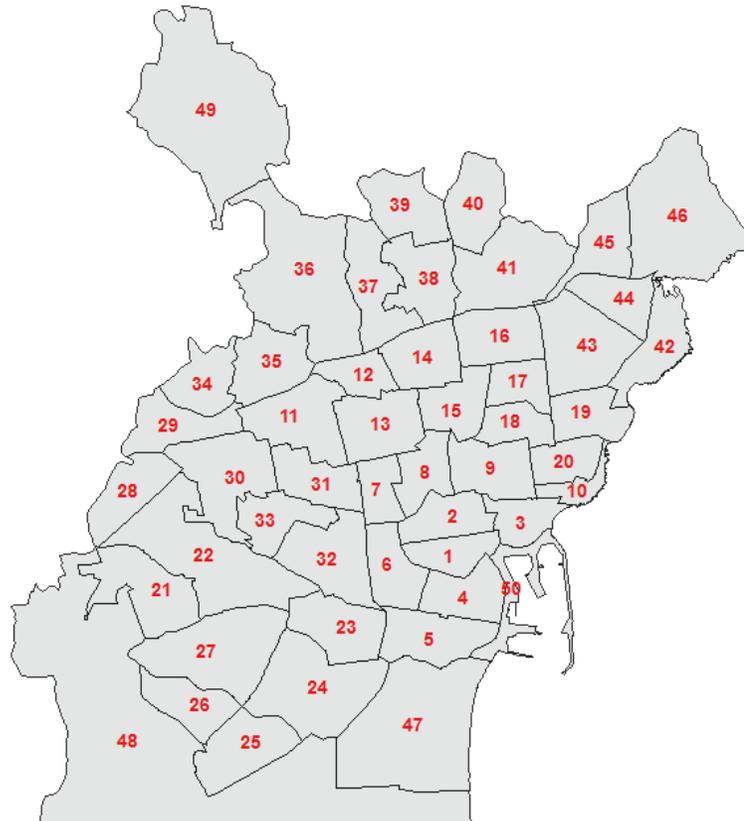
- Comuni esterni
- Zone Catania



Road capacity saturation

# Catania Land use Model

## Zoning

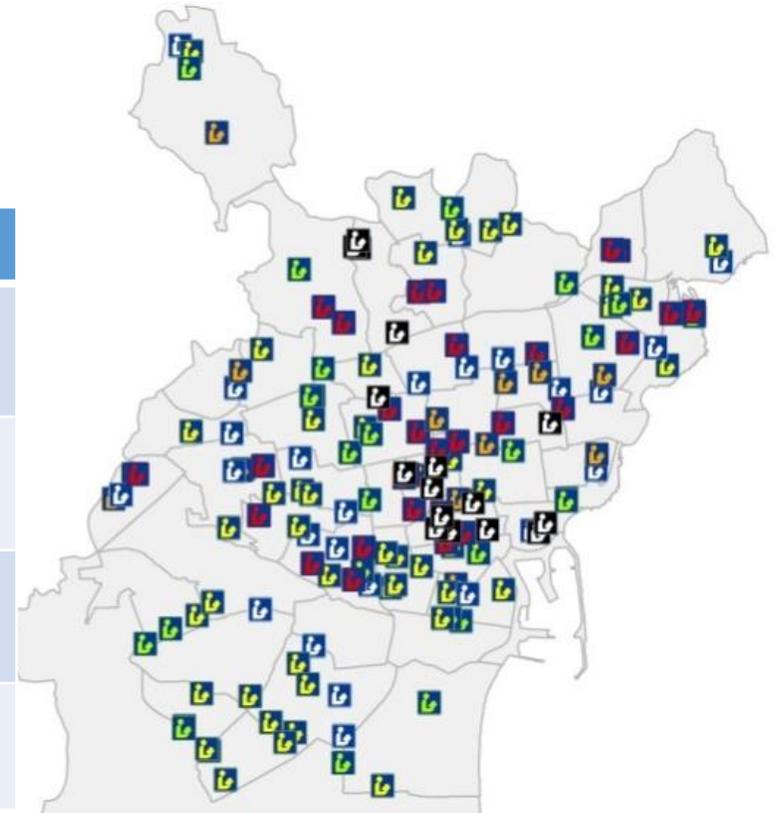


## Schools (blue) and university sites (black)

- kindergarten
- primary school
- lower secondary school
- upper secondary school

### Student population

Residents aged 3-18	82,000
University students	44,000
N of school sites	148
University sites	16



# Catania Transport Model

- **Transport demand:**
  - Only students' flows (5 trips/week)
- **Transport supply:**
  - road network
    - 516 nodes
    - 1122 links;
  - transit network
    - 49 bus lines
    - 4 BRT lines
    - 1 metro line.
- **PTV VISUM** software package:
  - ✓ **shortest paths** between each OD by each mode of transport
  - ✓ **transit intermodality included**

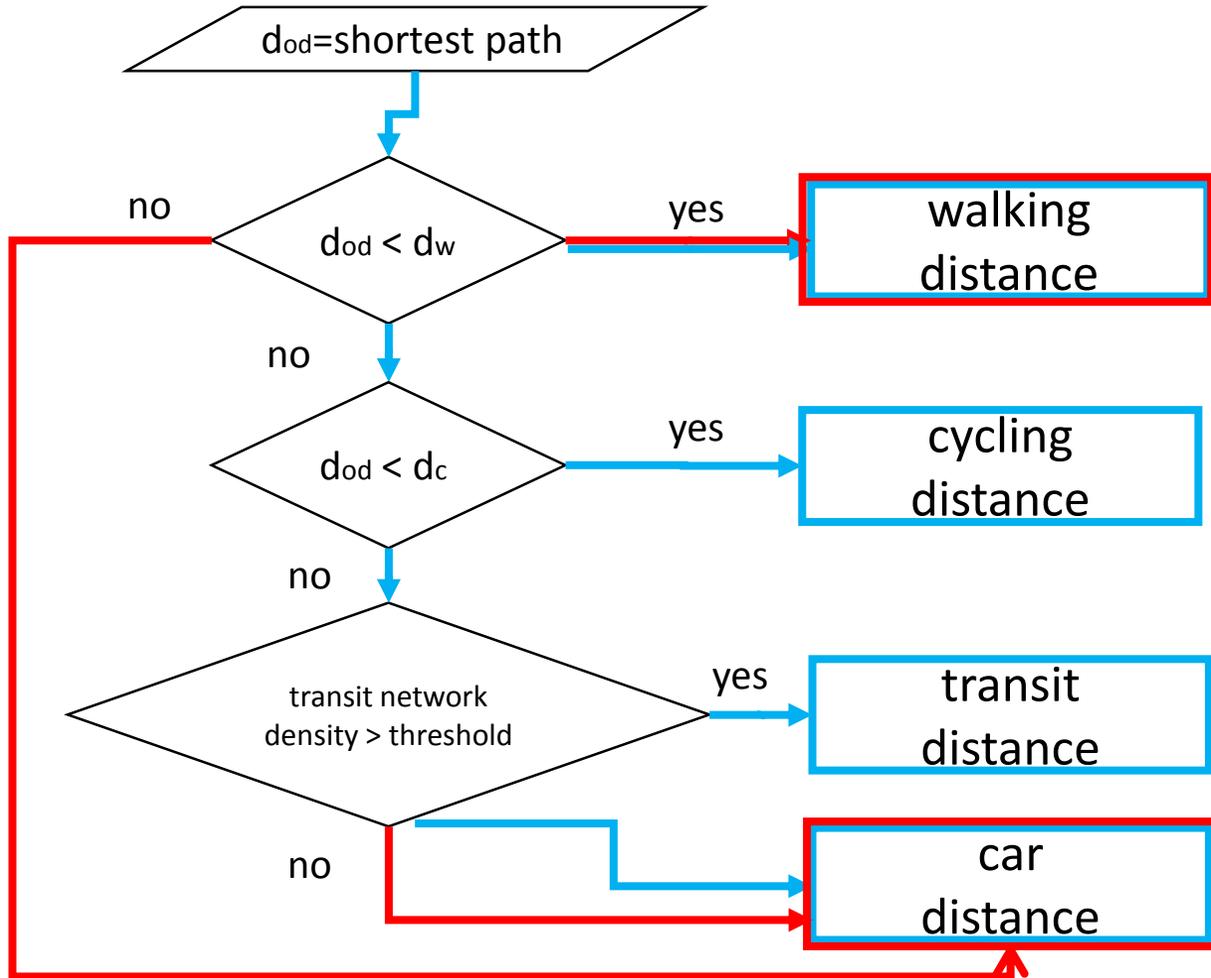
Shortest path by car



Shortest path by transit



# Transport mode choice model



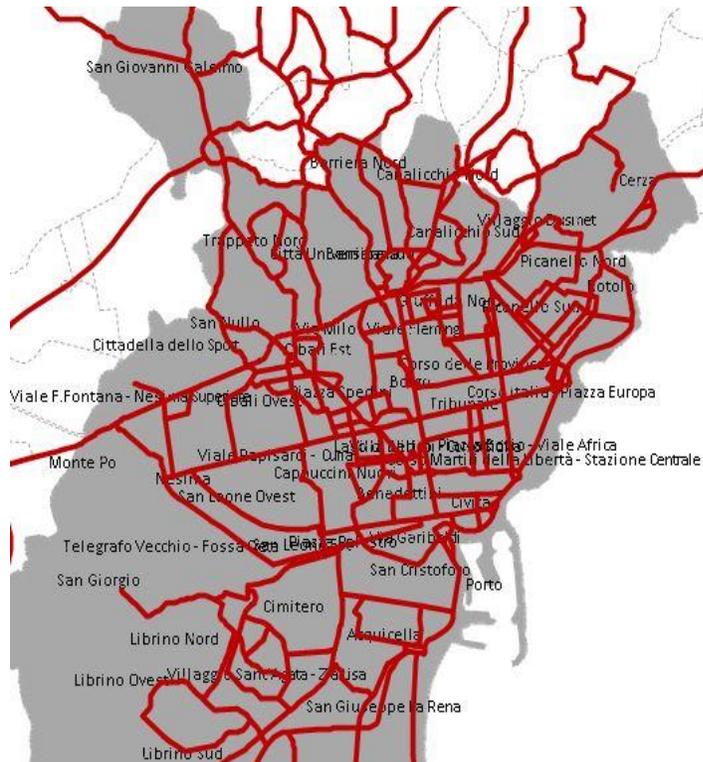
→ Kindergarten and primary school  
→ Lower and upper secondary school, university

Choice	Distance	
Walking	<500m	dod
Cycling	<1000m	dod
Regular Bus Transit	<300+300m	Stop access/egress
Bus Rapid Transit	<600+600m	Stop access/egress
Metro Transit	<800+800m	Stop access/egress

Transit network	Maximum walking distance (m)	Transit density threshold (km/km <sup>2</sup> )
Regular Bus Transit	300	6.67
Bus Rapid Transit	600	3.30
Metro Transit	800	2.50

# Scenario 0 - Reference scenario

## Transit network



## Road network



Research Question

Methodology

Case Study

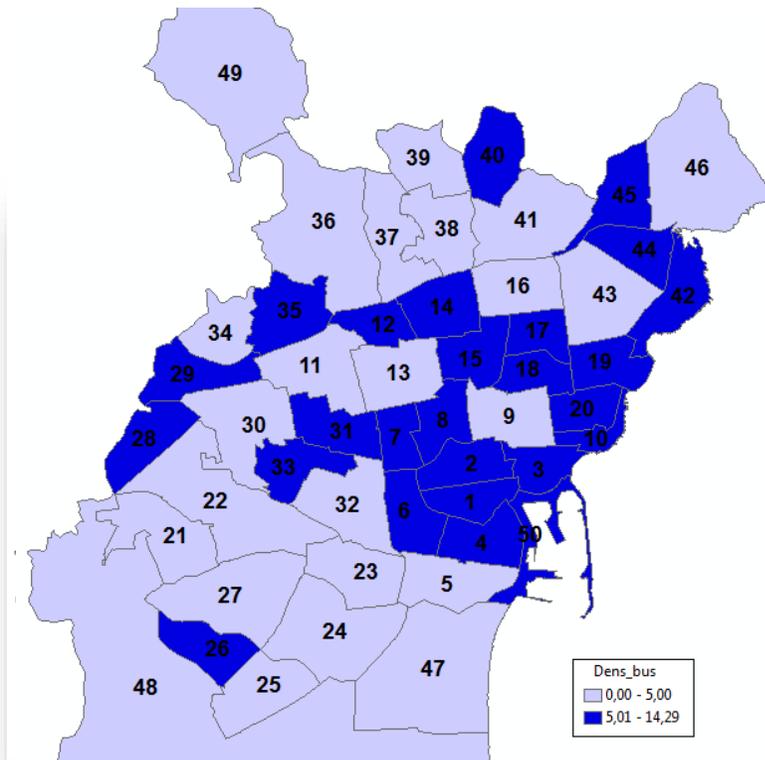
Results

Conclusions

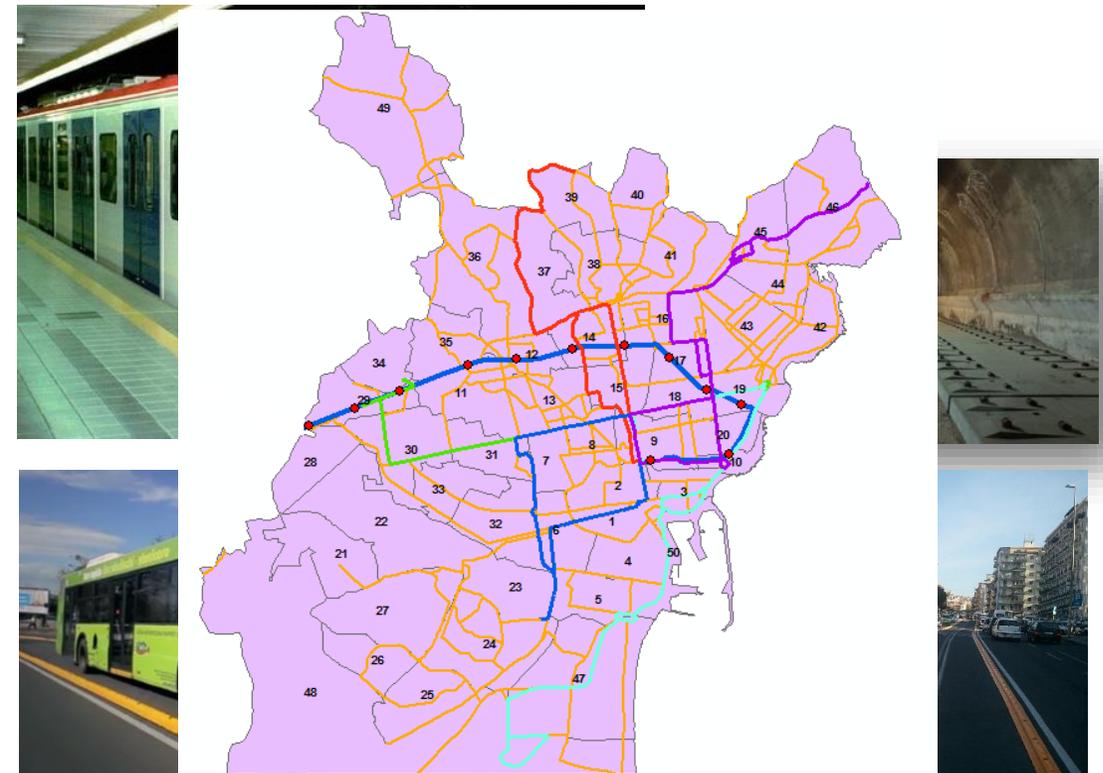


# Scenarios 1,2 - Transport Policies

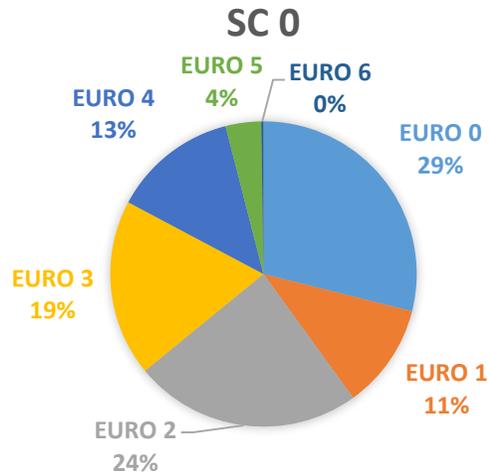
## Sc.1: improving walking accessibility to PT



## Sc.2: enhancing PT (BRT and Metro)

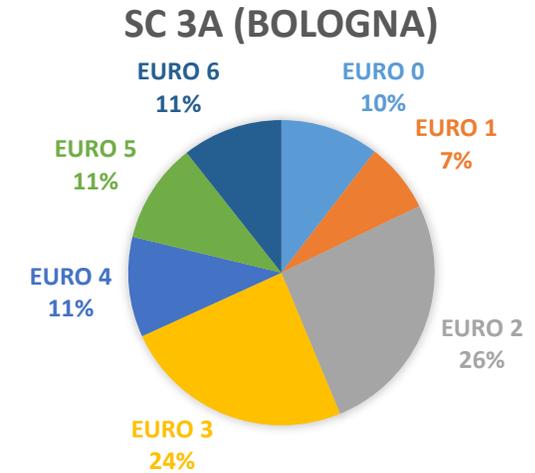


# Scenarios 3 - Energy Policies

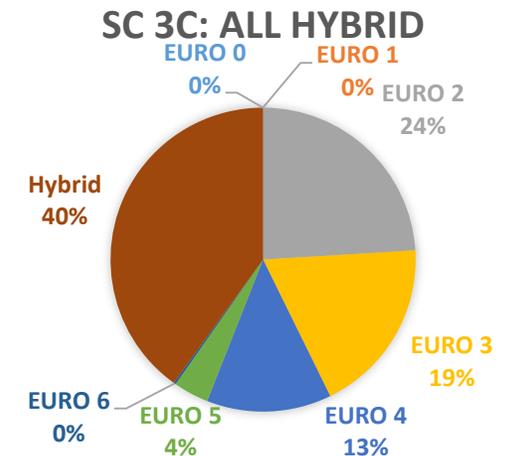
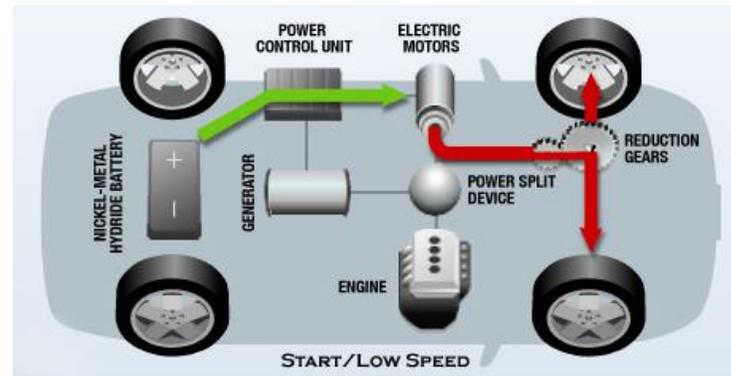
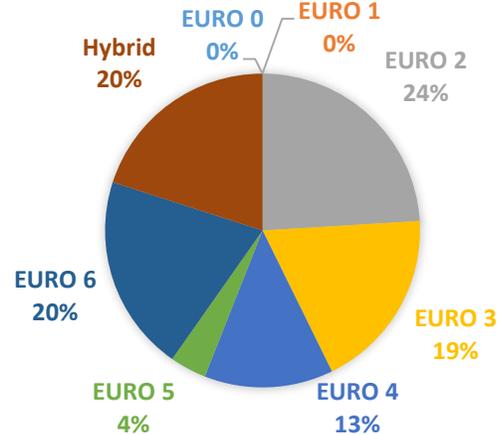


	Composizione del parco autovetture per standard emissivo (valori %)						Totale
	Euro 4 e 5	Euro 3	Euro 2	Euro 1	Euro 0	Altro	
Bari	23,6	25,8	26,2	9,1	15,3	0,0	100
Bologna	31,8	24,4	25,9	7,4	10,4	0,0	100
Cagliari	25,7	24,8	26,2	8,1	15,1	0,1	100
Catania	17,2	18,7	24,0	11,1	28,9	0,1	100
Firenze	31,6	26,7	23,6	6,6	9,5	0,0	100
Genova	28,4	25,3	27,9	8,4	10,0	0,0	100
Messina	21,0	22,6	26,6	9,9	19,8	0,1	100
Milano	29,4	24,6	25,1	7,8	13,2	0,0	100
Napoli	14,6	16,2	24,8	11,1	33,1	0,2	100
Palermo	22,1	22,1	26,3	9,8	19,6	0,1	100
Reggio Calabria	21,3	24,5	26,3	9,6	18,3	0,1	100
Roma	32,5	23,1	21,0	10,2	13,1	0,1	100
Torino	31,2	24,0	25,7	6,6	12,4	0,1	100
Trieste	25,8	22,1	29,4	9,7	13,0	0,0	100
Venezia	27,2	23,7	28,7	9,1	11,2	0,0	100
Media 15 città	27,6	22,9	24,3	9,2	15,9	0,1	100
Media Italia	23,0	24,1	27,3	9,6	16,0	0,1	100

Nota: "Altro" comprende le autovetture per le quali lo standard emissivo è "non identificato" o "non contemplato"  
Fonte: elaborazione Cittalia su dati Istat e Aci, 2009



## SC 3B: 50% HYBRID 50% EURO 6



Research Question

Methodology

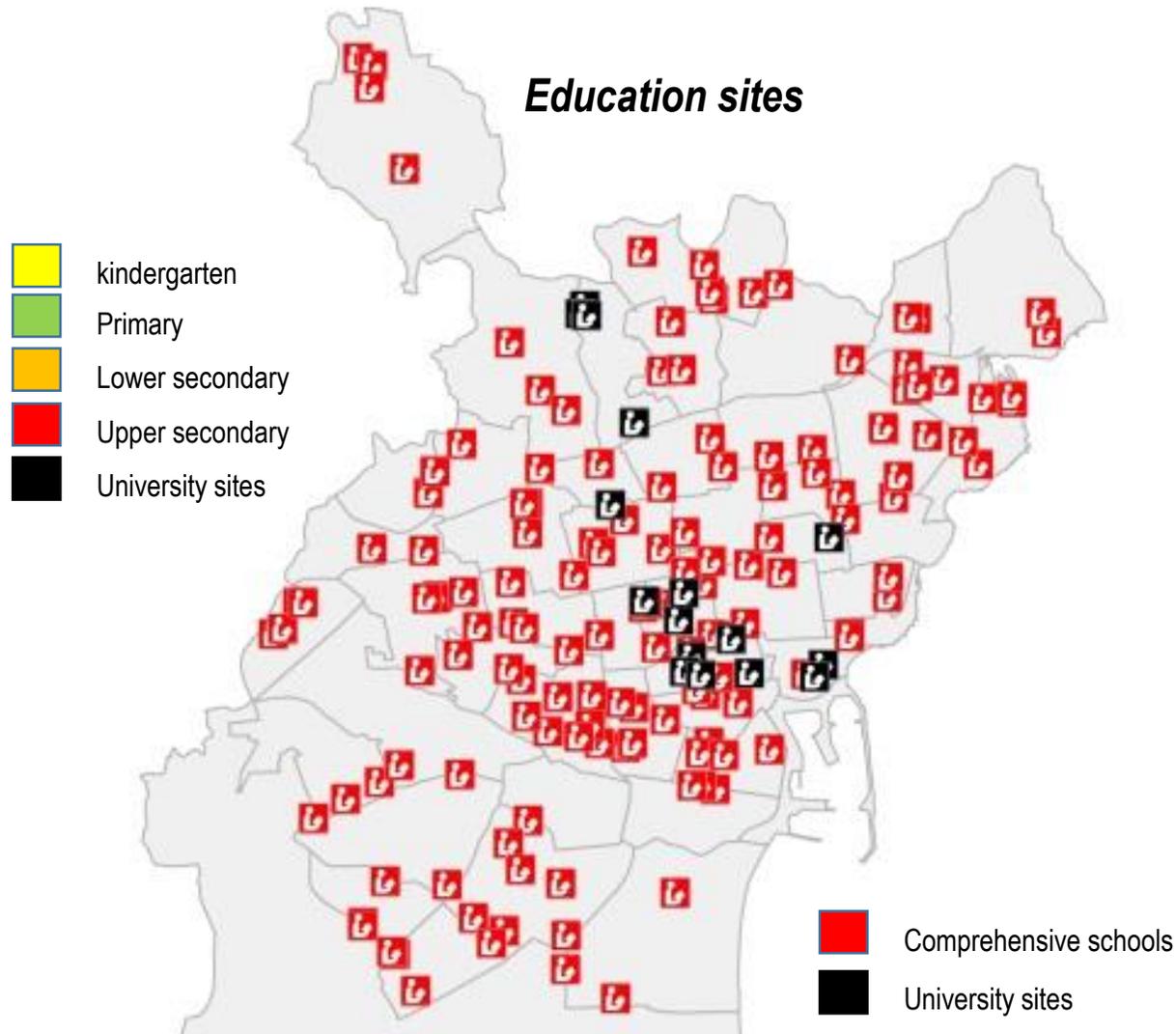
Case Study

Results

Conclusions



## Scenarios 4 – Land use Policies



## Scenario 5 – 1,2,3c,4 all in one



Research Question

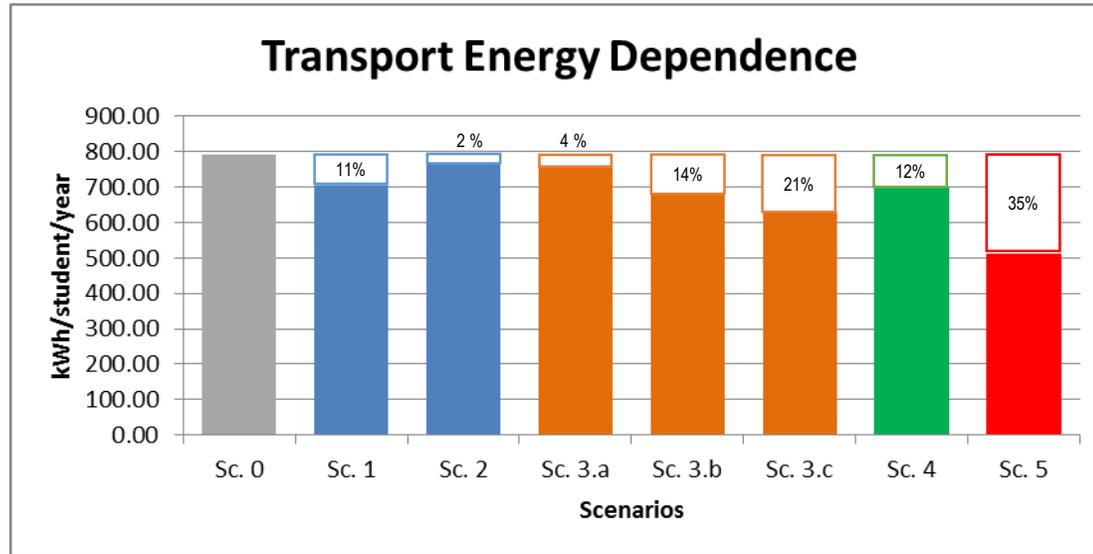
Methodology

Case Study

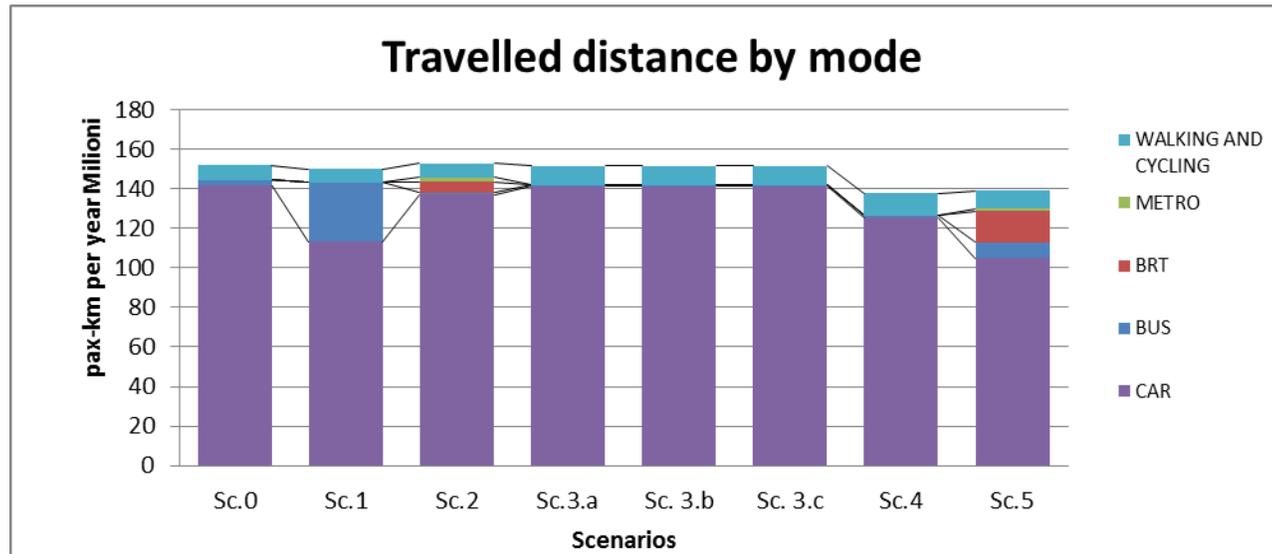
Results

Conclusions

# Results (1/3)



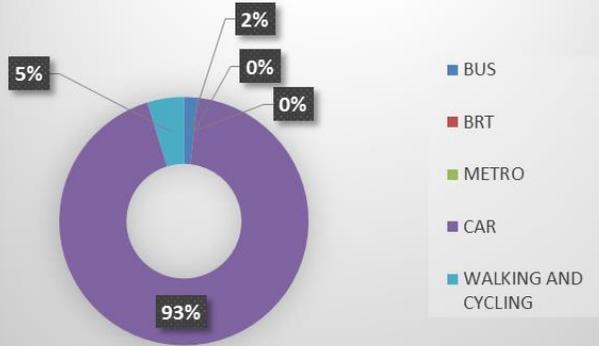
- Transport policies
- Energy policies
- Land Use policies
- All in one policies



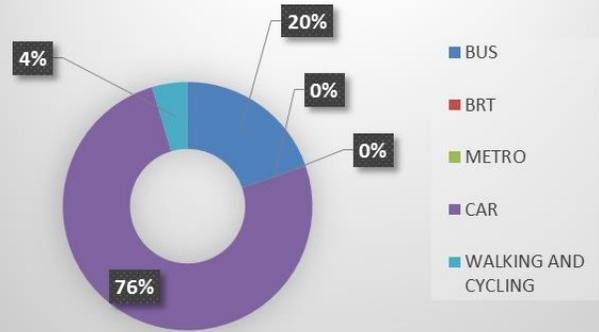
Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

# Results (2/3)

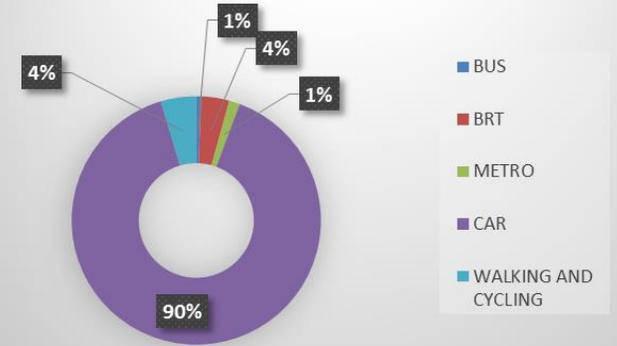
### Sc. 0: reference scenario



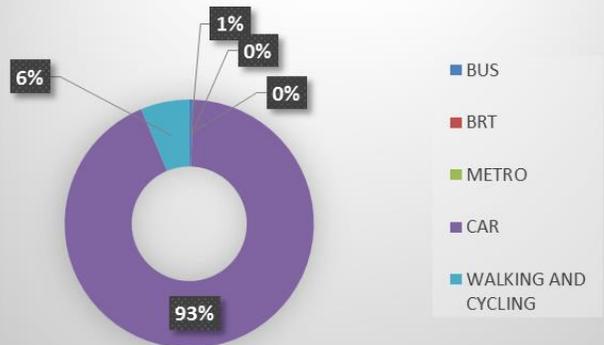
### Sc. 1: PT accessibility



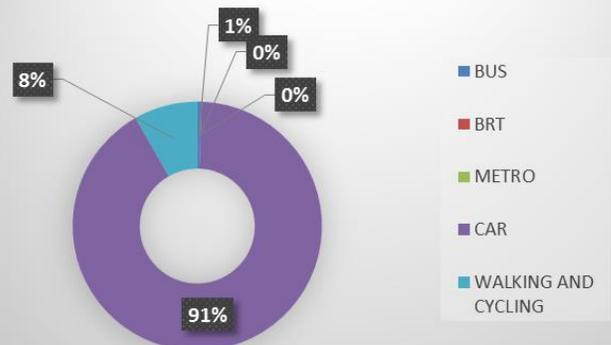
### Sc. 2: BRT+Metro



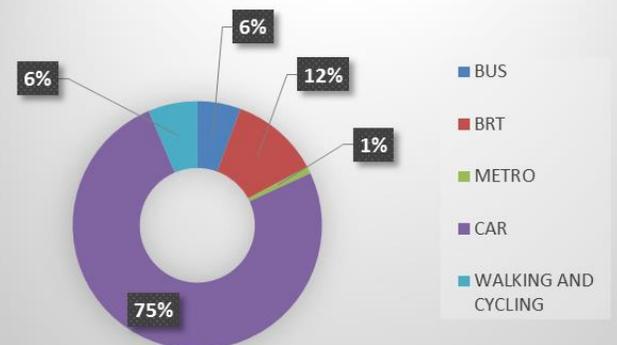
### Sc. 3a: no Euro 0 and 1



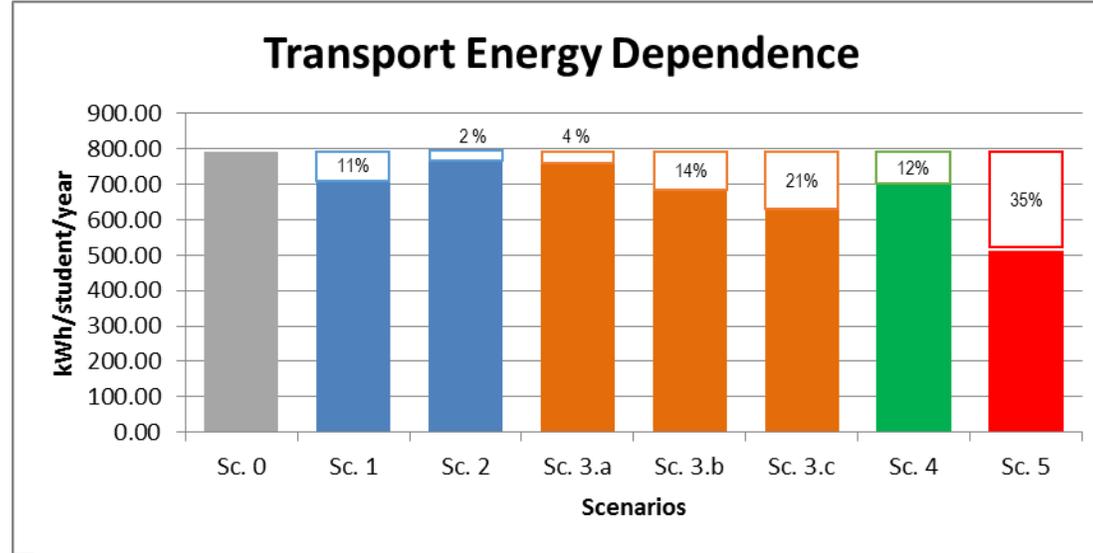
### Sc. 4: land use



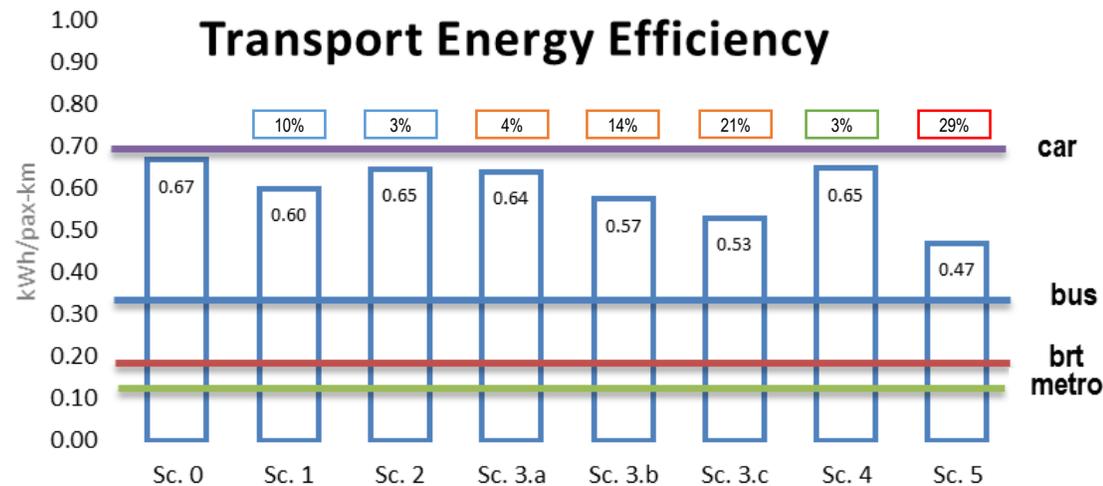
### Sc. 5: all



# Results (3/3)

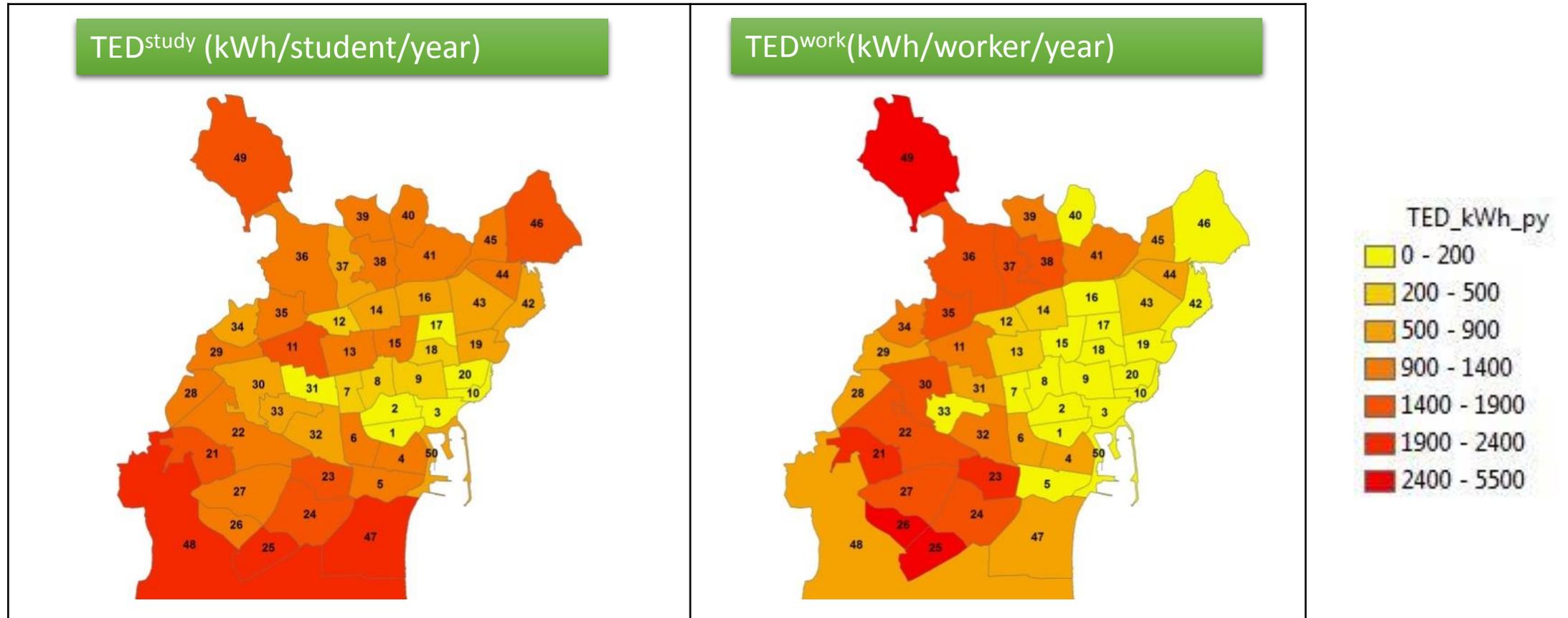


- Transport policies
- Energy policies
- Land Use policies
- All in one policies



Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

# Transport Energy Dependence for different purposes



Research Question

Methodology

Case Study

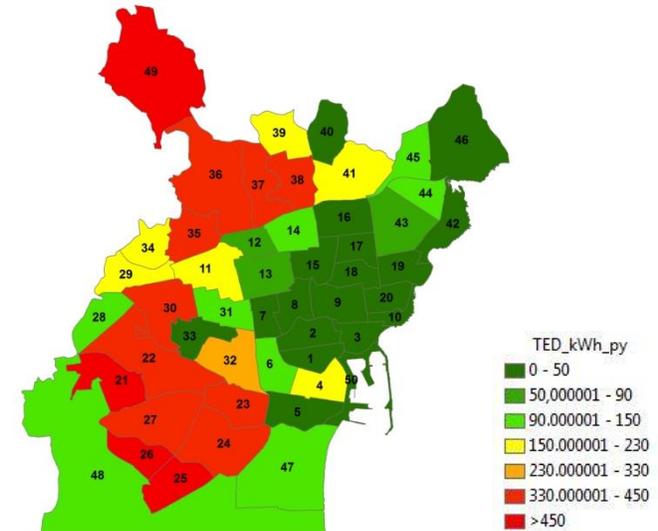
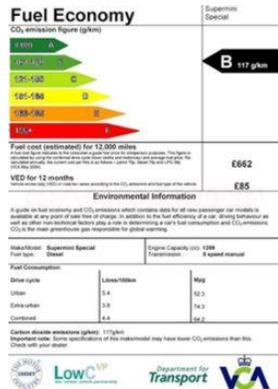
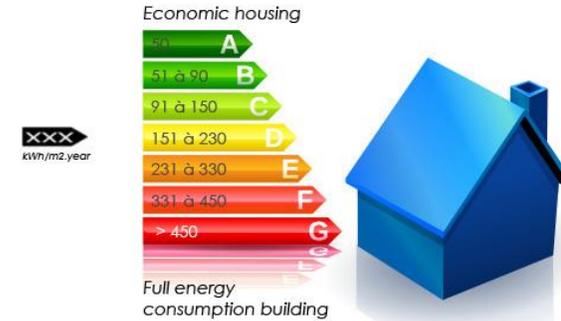
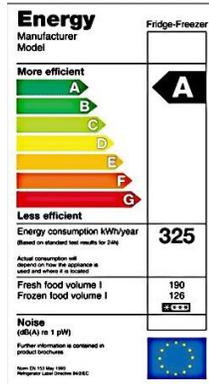
Results

Conclusions

# Conclusions (1/2)

- Method that integrates **land use, transport and energy models** to evaluate the Transport Energy Dependence (TED) of a city
- Case study of the urban area of Catania to evaluate the transport energy required for **home-to-school/university trips** and to assess the impacts of different planning scenarios
- Results show the sensitivity of the model to assess the cumulative effects of different policies: density, functional mix, public transport accessibility and performance or vehicle energy efficiency
- It does not calculate the actual transport energy consumption of a city or a neighborhood but if a planning scenario is consistent with the sustainability objectives
- The method could part of the Energy Assessment of urban plans (land use, transport or energy plans (e.g. SEAP)), where **TED standards** might have been fixed as target for their **approval**

# Conclusions (2/2)



Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

# ACKNOWLEDGMENTS



Co-funded by the Intelligent Energy Europe Programme of the European Union

## About SPECIAL

A European partnership - building the capacity of Town Planning Associations to plan and deliver sustainable energy solutions

Spatial planning has a key role to play in creating urban environments that support less energy-intensive lifestyles and communities. Spatial planning and urban planners have a pivotal role in developing energy strategies and actions plans, and the SPECIAL project has been set up to help bridge the gap between climate change/energy action planning and spatial and urban planning.

<http://www.special-eu.org/>

## SPECIAL's key objectives

- 1 To build the capacity of partner Town Planning Associations (TPAs), or their equivalent, to integrate sustainable energy solutions into spatial planning training, practice and delivery.
- 2 To foster the exchange of experience and competence-building among national and regional TPAs, to demonstrate the integration of sustainable energy into spatial planning strategies at local and regional levels.
- 3 To stimulate the improved energy-related competence of town planners working within local authorities, leading to good practice examples of integrated spatial planning strategies for low-carbon towns and regions.



## The SPECIAL partners

The SPECIAL partners represent the professional Town Planning Associations of their respective countries:

### Austria

Provincial Government of Styria, Department of Spatial Planning Law

### Germany

German Institute of Urban Affairs

### Greece

Organisation for the Master Plan and Environmental Protection of Thessaloniki (ORTH)

### Hungary

Hungarian Urban Knowledge Centre

### Ireland

Irish Planning Institute

### Italy

National Centre for Town Planning Studies

### Sweden

Swedish Society for Town and Country Planning

### UK

Town and Country Planning Association (TCPA)



## SPECIAL...

To find out more about SPECIAL, visit [www.special-eu.org](http://www.special-eu.org) or contact:

### Alex House

Projects and Policy Officer, TCPA

17 Carlton House Terrace, London SW1Y 5AS

e: [alex.house@tcpa.org.uk](mailto:alex.house@tcpa.org.uk) t: +44 (0)20 7930 8903

Twitter: [@eu\\_special](https://twitter.com/eu_special)



Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

