

M3

**Mobilità, Trasporti
ed Energia**



**MODULI PER LA
FORMAZIONE A
LUNGO TERMINE**



Centro
Nazionale
Studi
Urbanistici



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

M3

Mobilità, Trasporti ed Energia



1. Trasporti urbani ed efficienza energetica (1/2)
2. Trasporti urbani ed efficienza energetica (2/2)
3. Integrazione fra sistemi di trasporto ed ambiente urbano
4. Comunità locali energeticamente autosostenibili



Centro
Nazionale
Studi
Urbanistici



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

M3

**Mobilità, Trasporti
ed Energia**



2 Trasporti urbani ed efficienza energetica (2/2)



Centro
Nazionale
Studi
Urbanistici



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

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

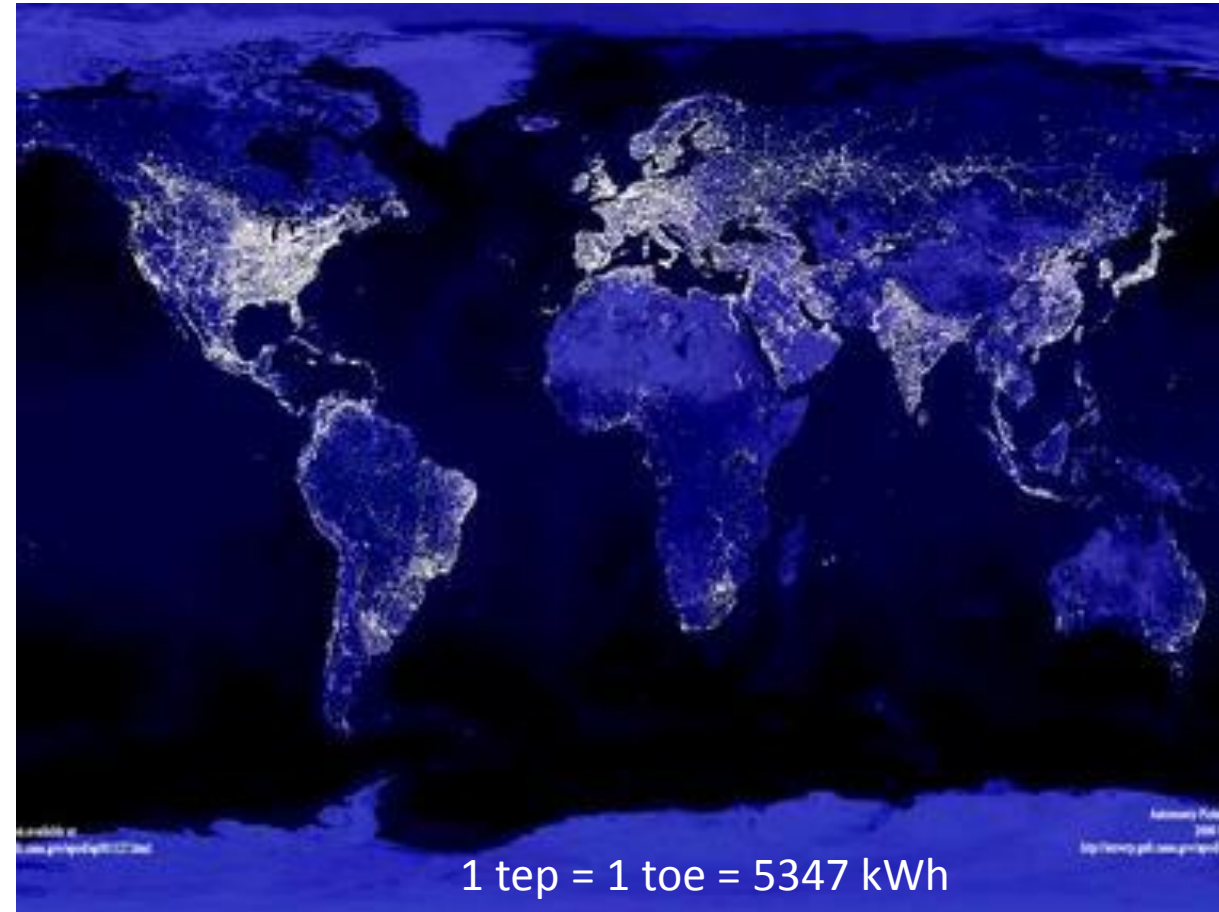
Trasporti, Energia e Cambiamento Climatico



Consumo di energia nel mondo — valori pro-capite

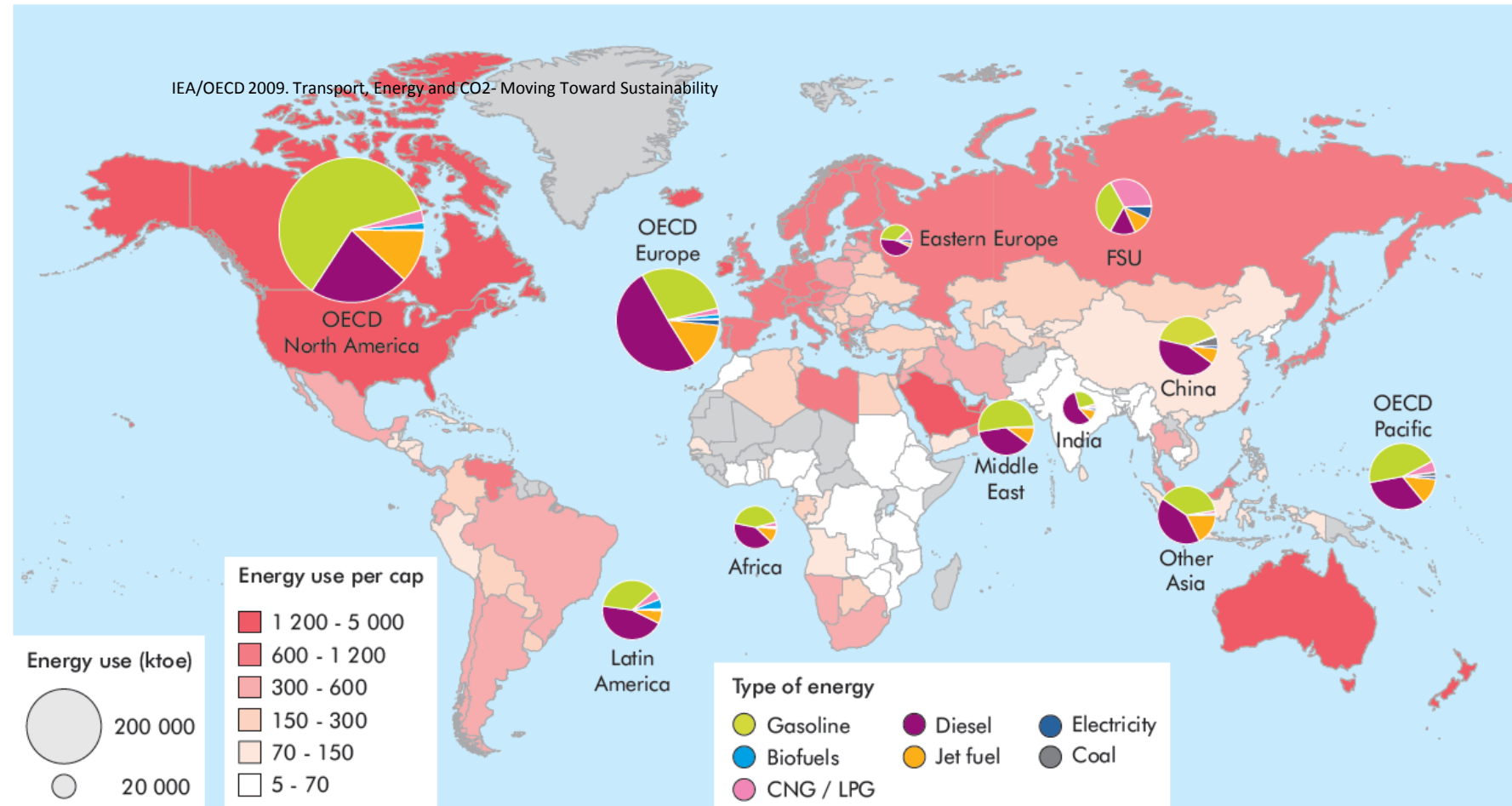
- Consumo medio annuo in tonnellate di petrolio equivalente

- 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.

Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

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

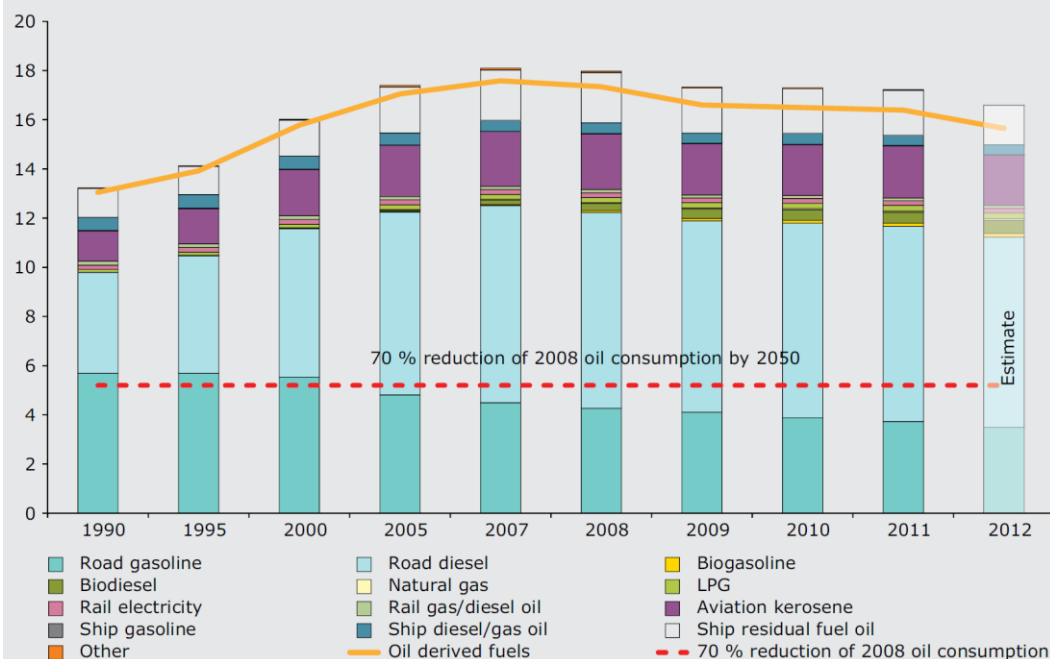
TERM 2013: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe

EEA Report 11/2013

Box 2.2 TERM 01: Transport final energy consumption by fuel

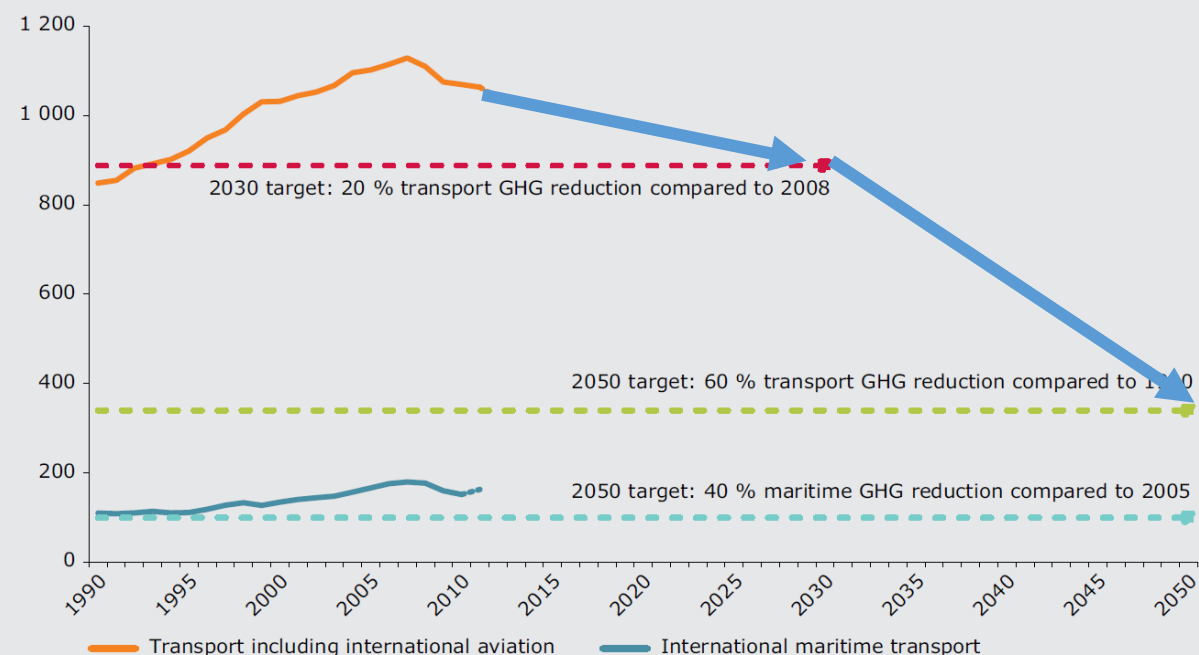
Transport energy consumption in the EU-28

Energy consumption (million terajoules)



EU-28 transport emissions of GHGs

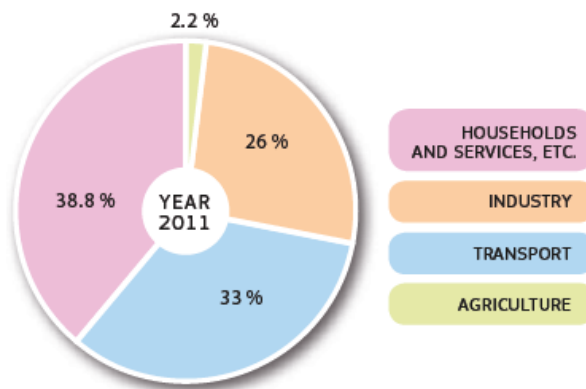
GHG emissions (million tonnes)



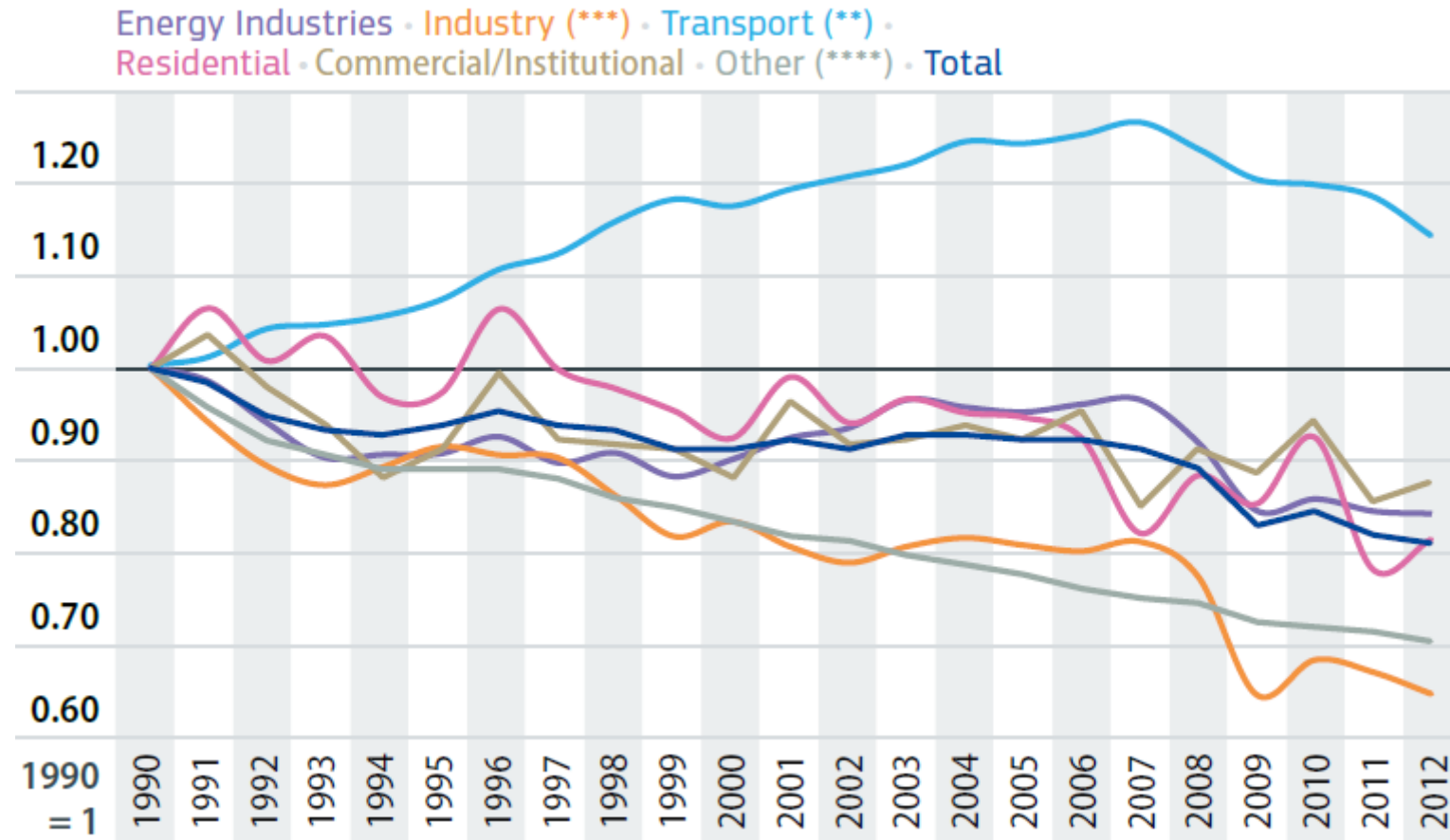
Evoluzione del consumo di energia per i trasporti in relazione agli altri usi

- 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)

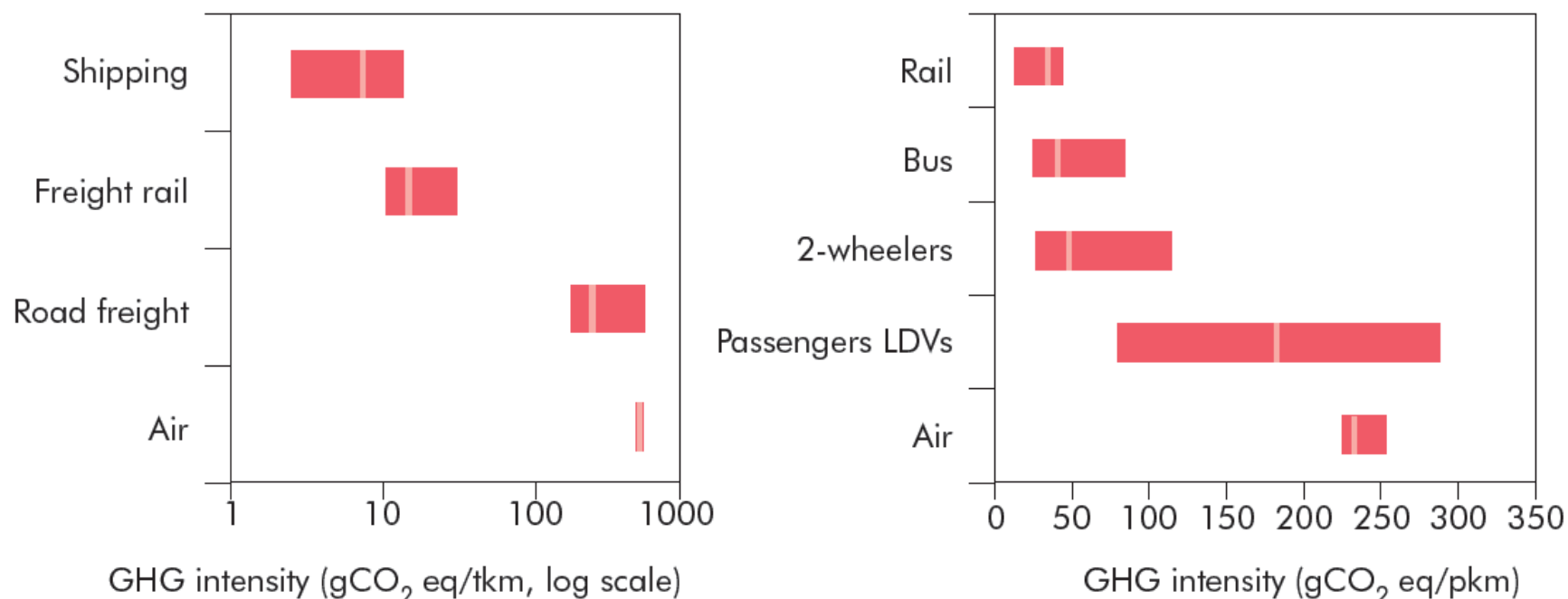


EU Energy and Transport in Figures
Statistical Pocket book 2013



Emissione unitaria di gas serra dei diversi modi di trasporto

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



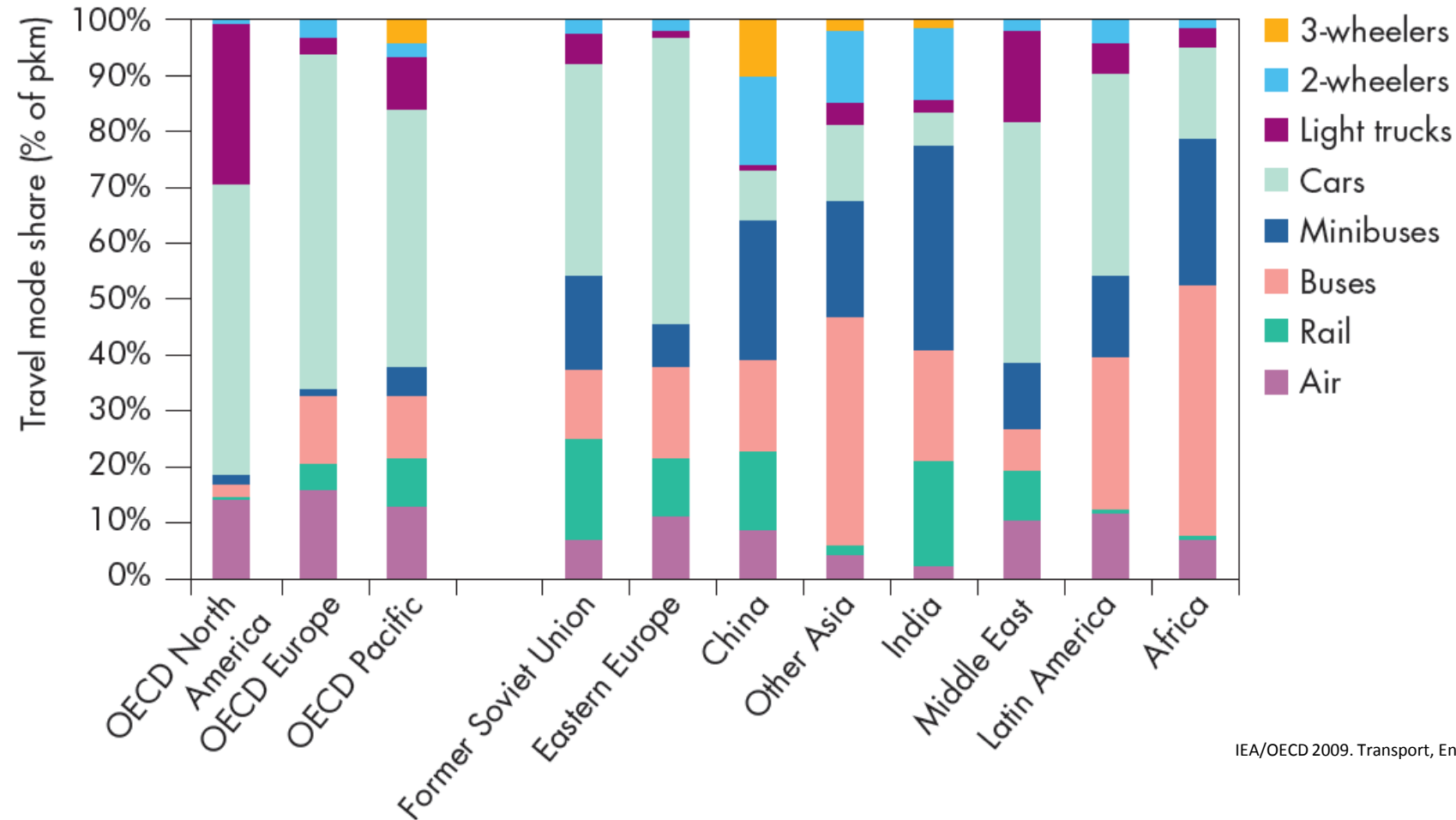
Note: The clear line indicates world average, the bar representing MoMo regions' discrepancy.

Sources: IEA Mobility Model database; Buhaua (2008).

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

Evoluzione del traffico passeggeri e merci e ripartizione modale in Europa

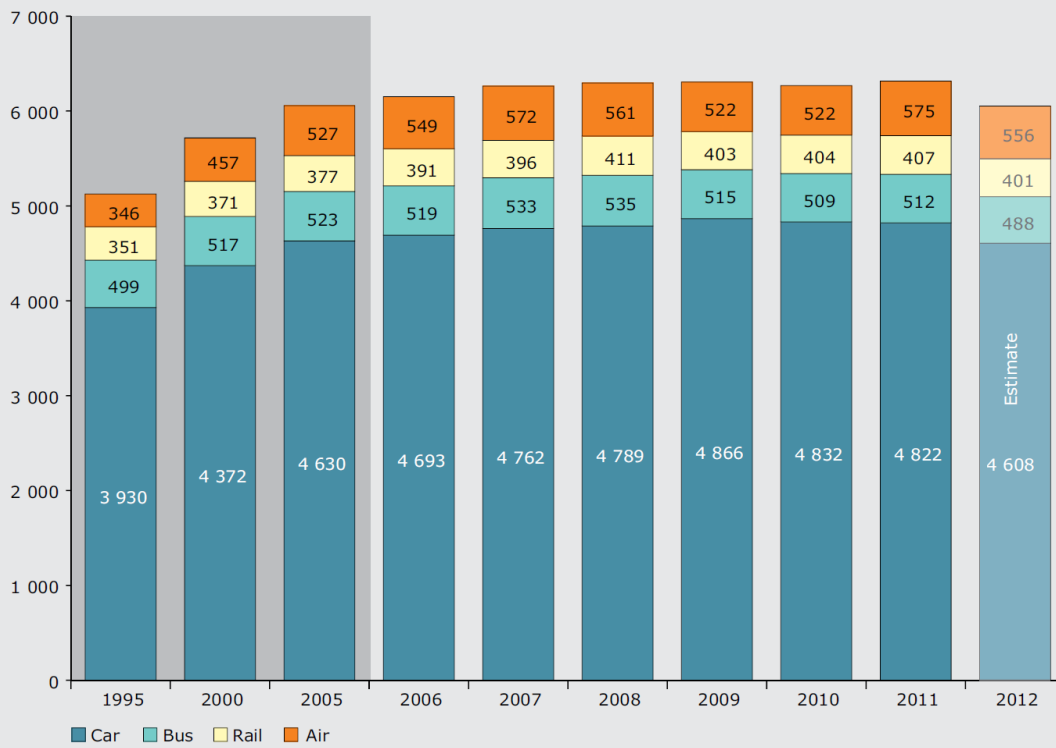
TERM 2013: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe

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

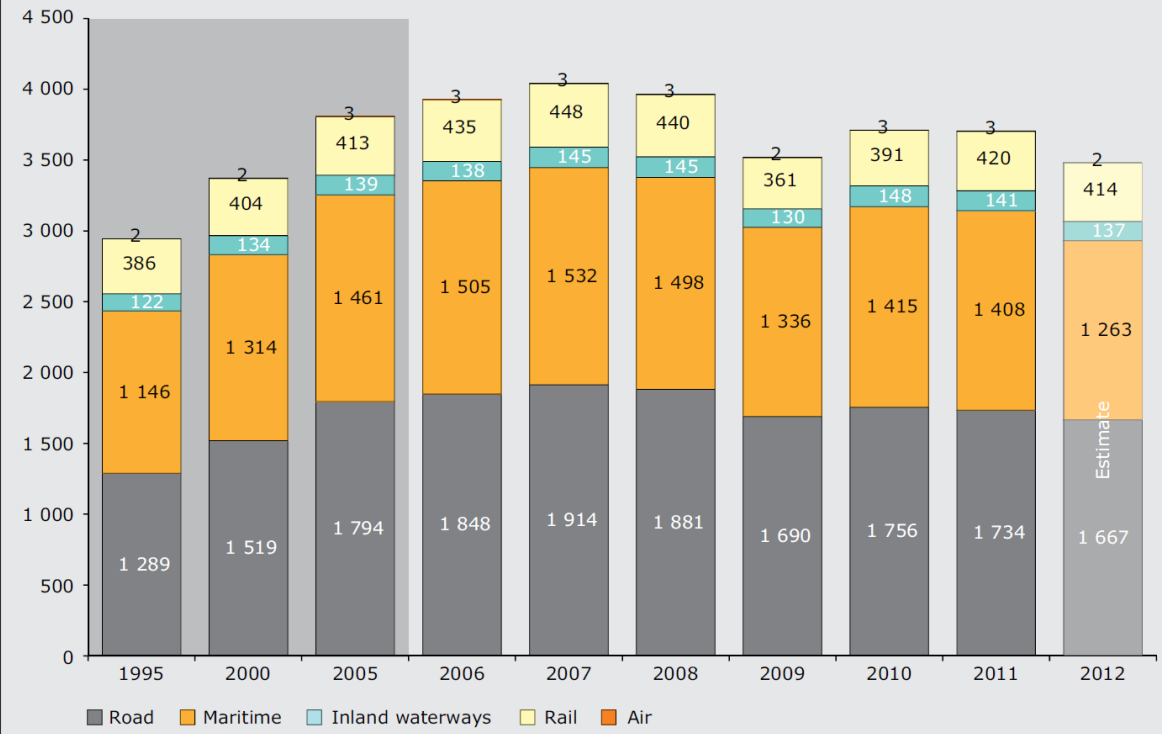
Billion passenger km (pkm)



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

Freight transport volume in the EU-27

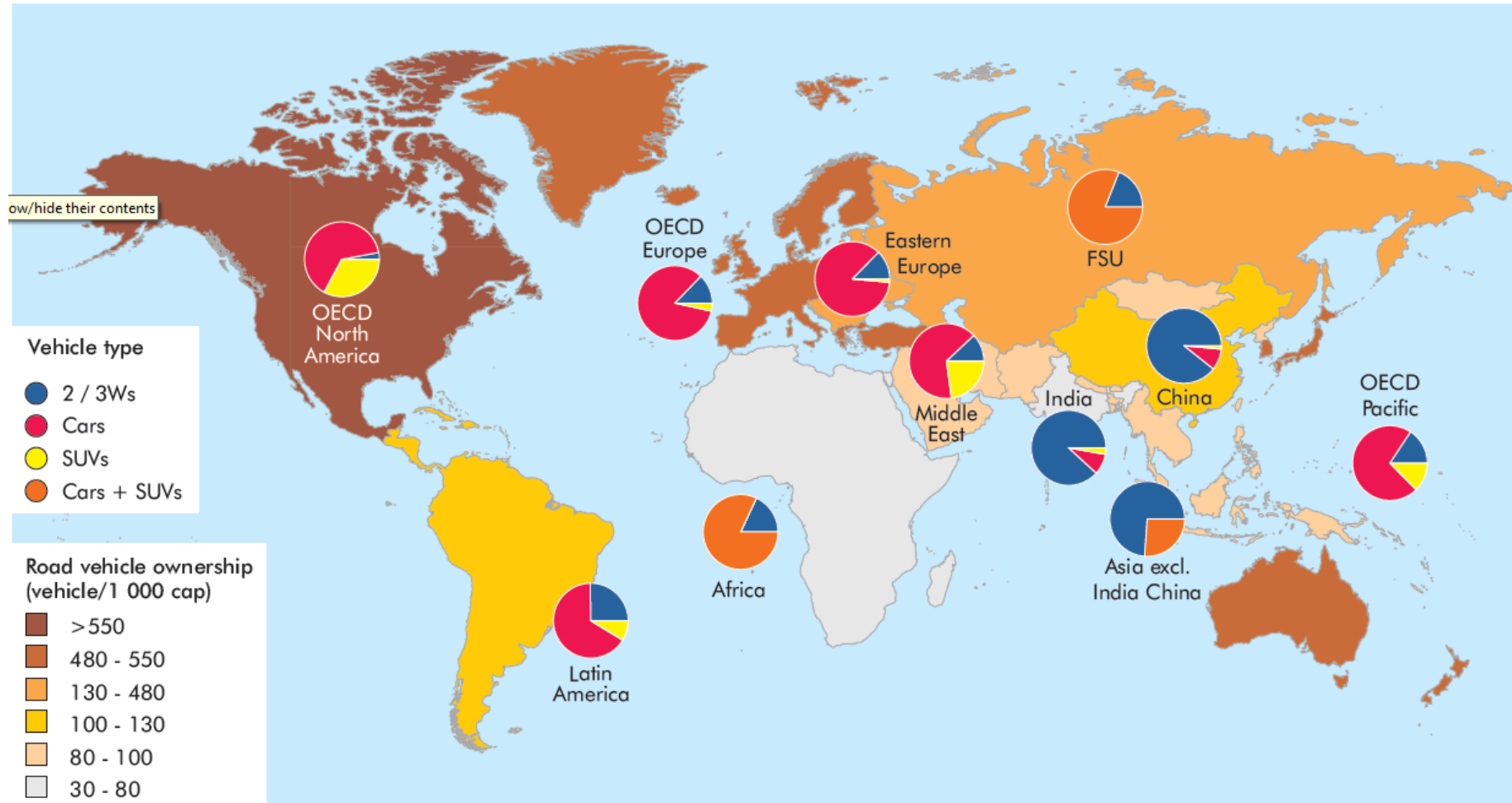
Billion tonne km (tkm)



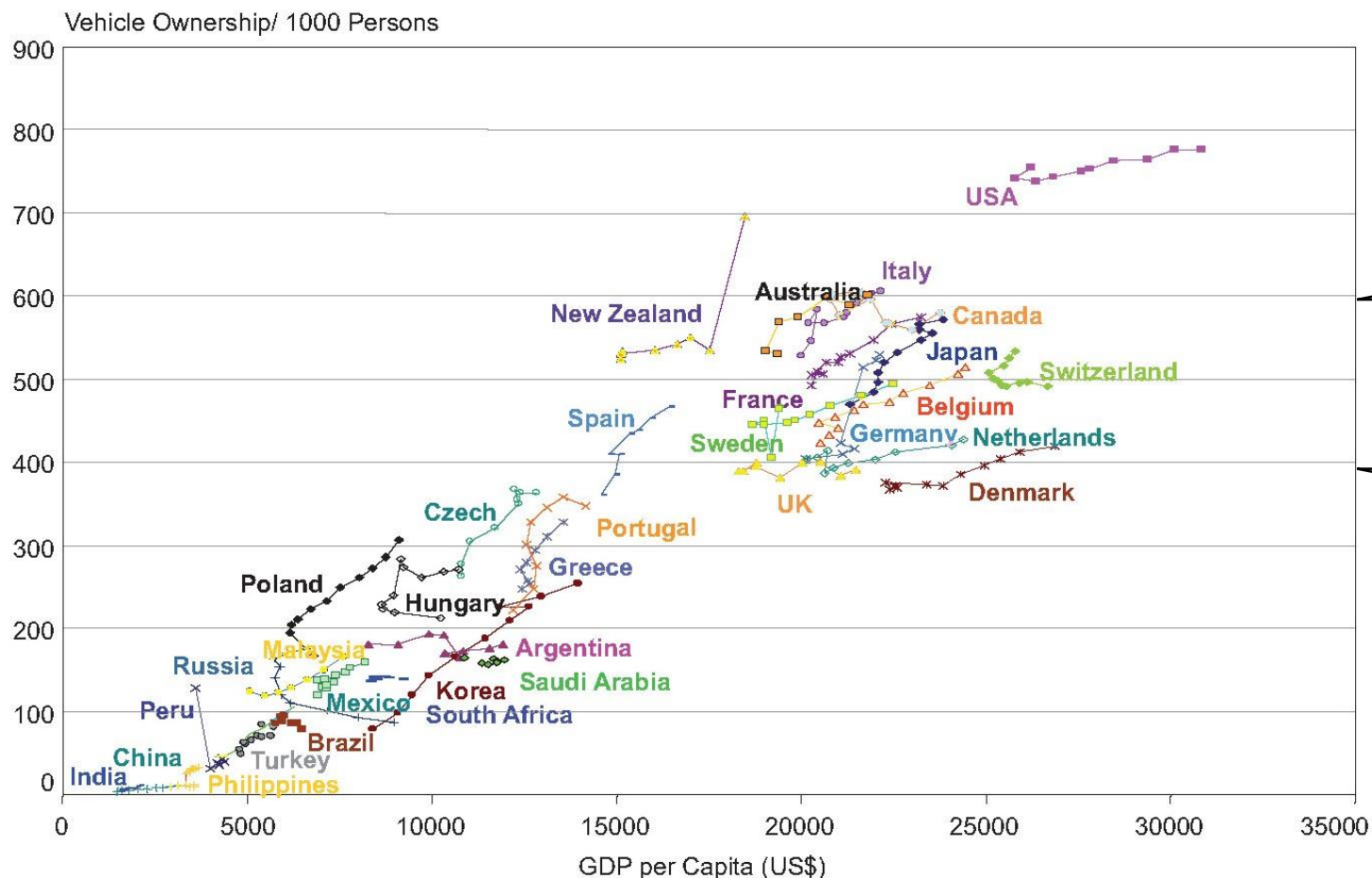
Tasso di motorizzazione nel mondo

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



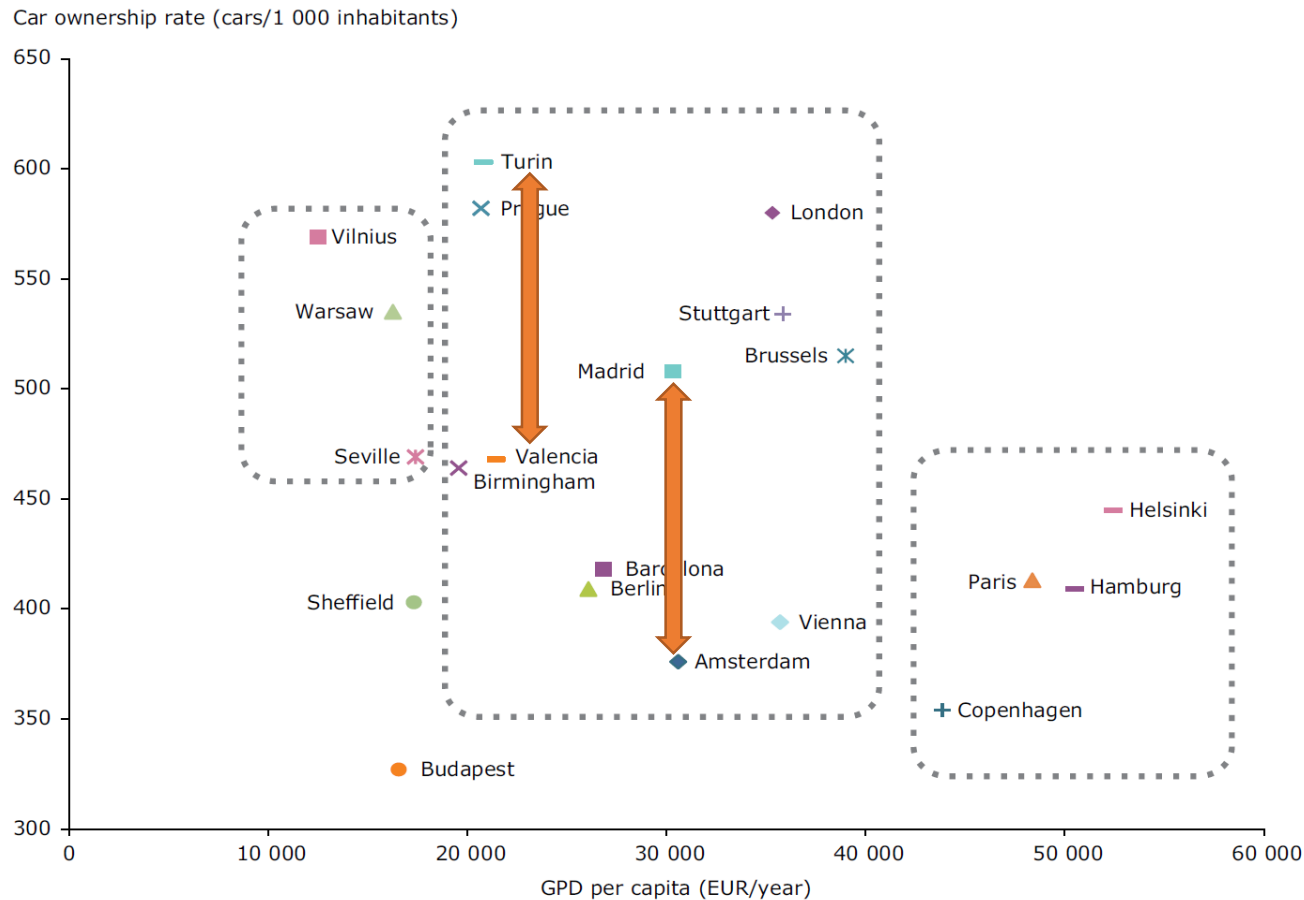
Reddito e
possesso
sono
debolmente
correlati

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.

Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale



Ich glaube an das Pferd.

Das Automobil ist eine vorübergehende Erscheinung.«

Kaiser Wilhelm II. (zugeschrieben)

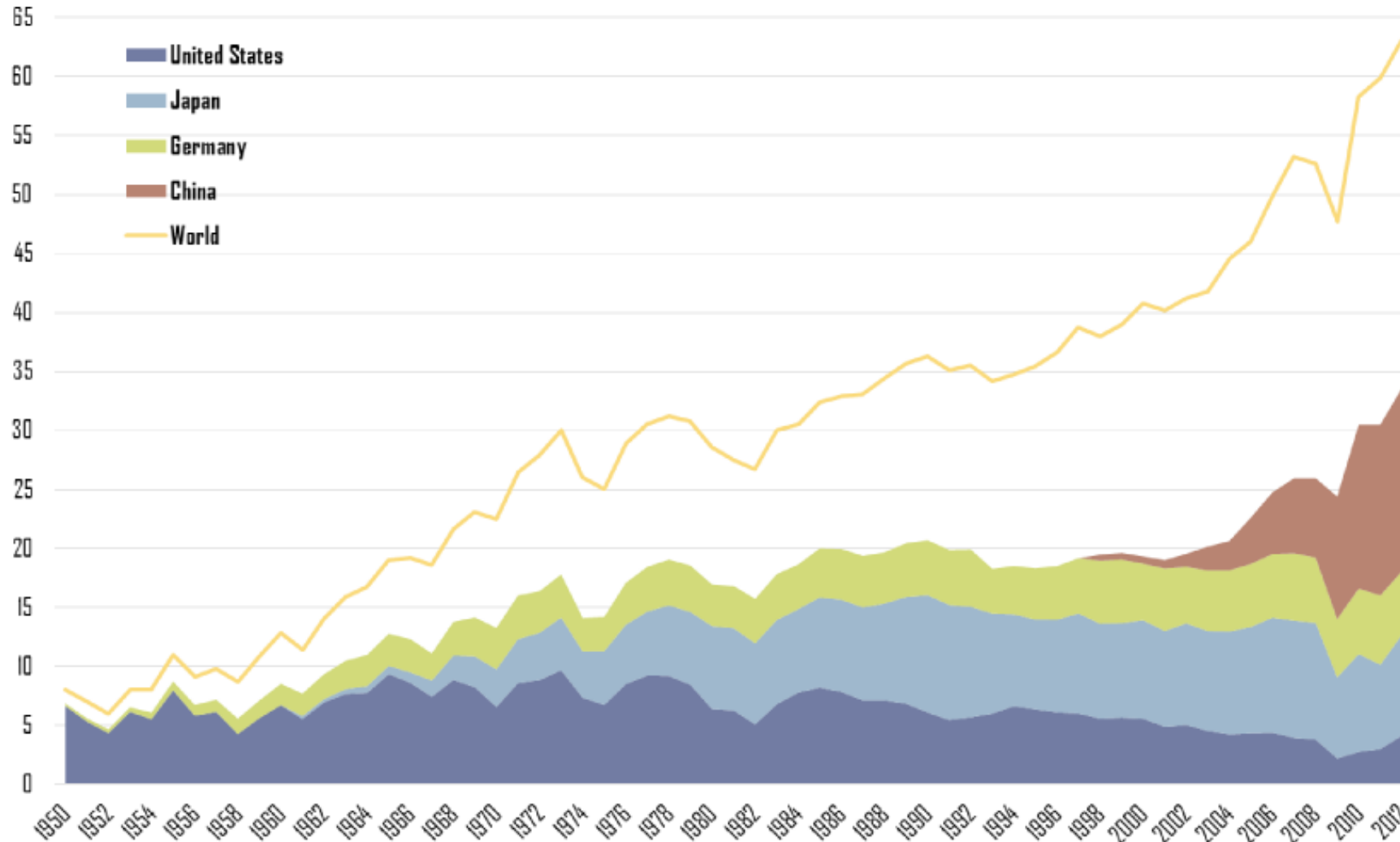
»I do believe in the horse.

The automobile is no more than a transitory phenomenon.«

Emperor Wilhelm II (attributed to)

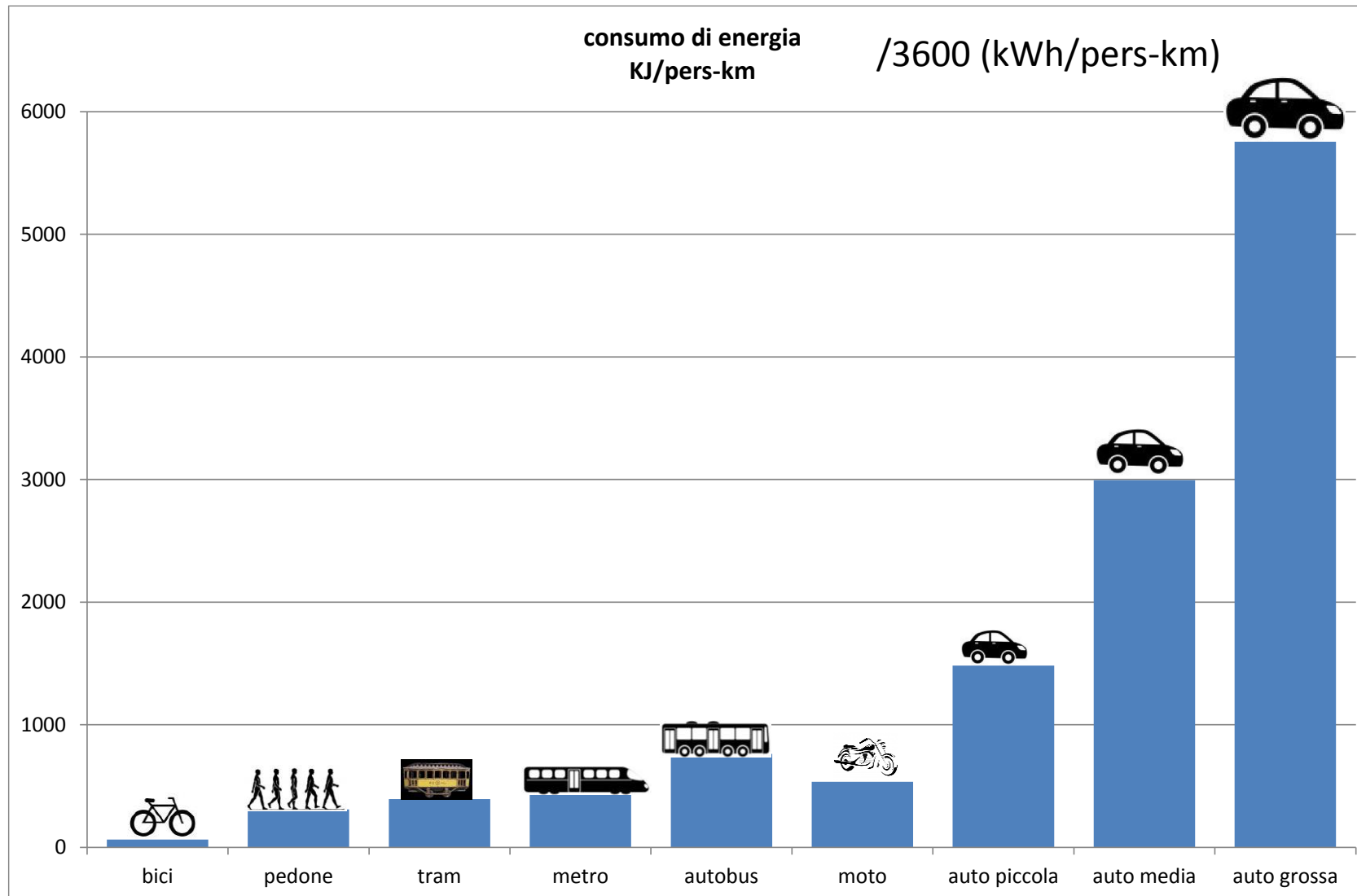
Yo sí creo en el caballo. Automóvil no es
más que un fenómeno transitorio.

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

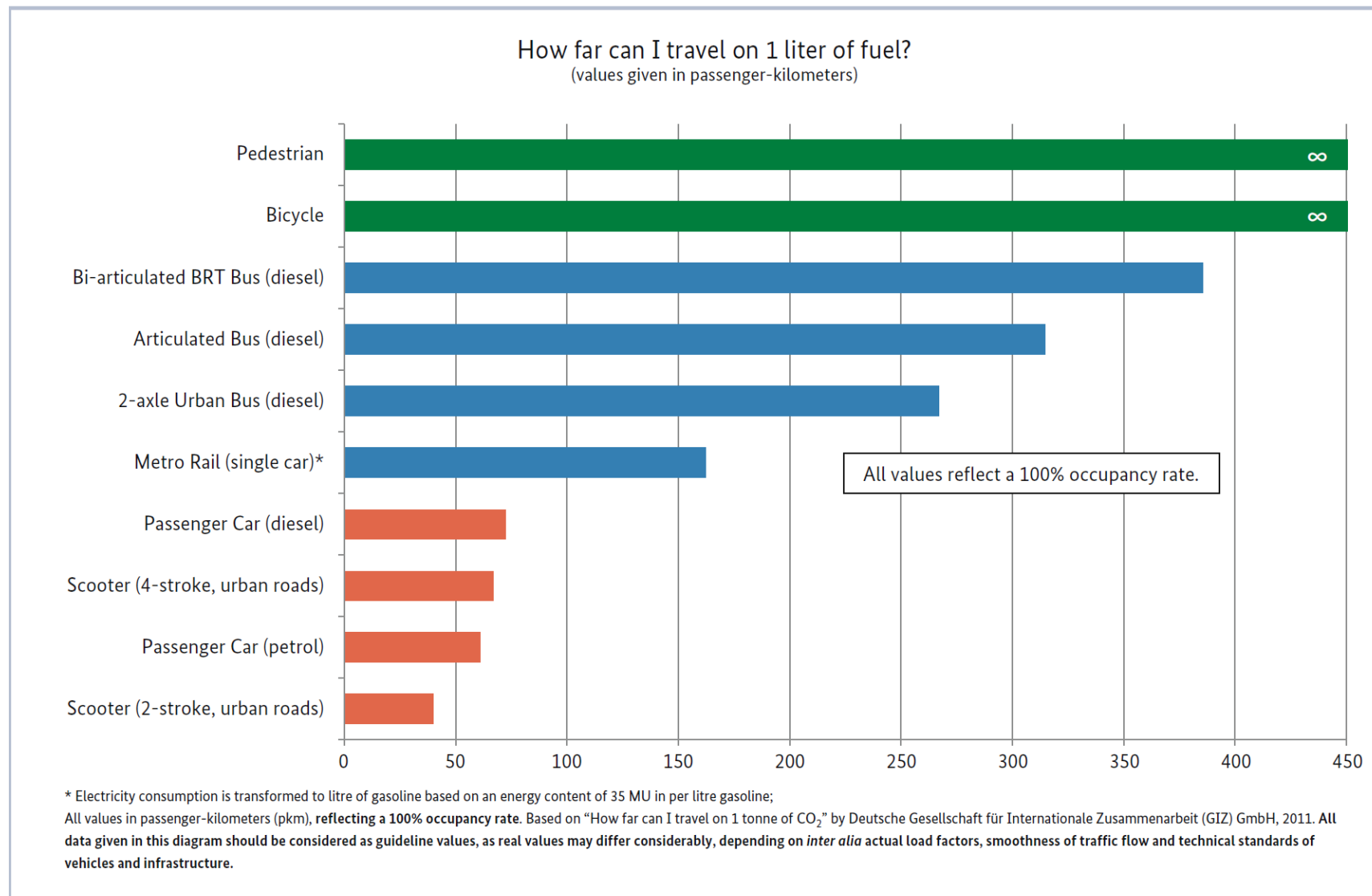


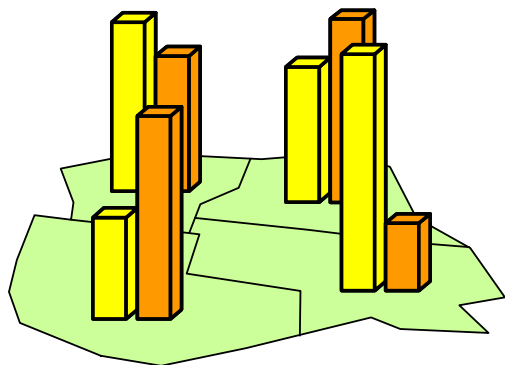
Figure 12: Energy efficiency of different modes of urban transport.

Source: Adapted from GIZ, 2011

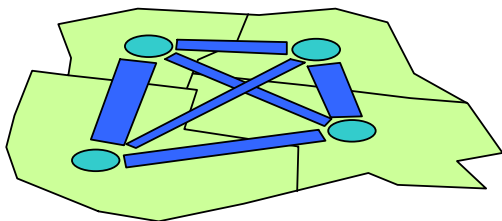
Strumenti e azioni per la sostenibilità energetica dei trasporti



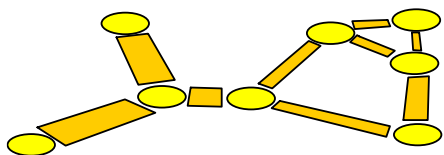
Come nasce il traffico



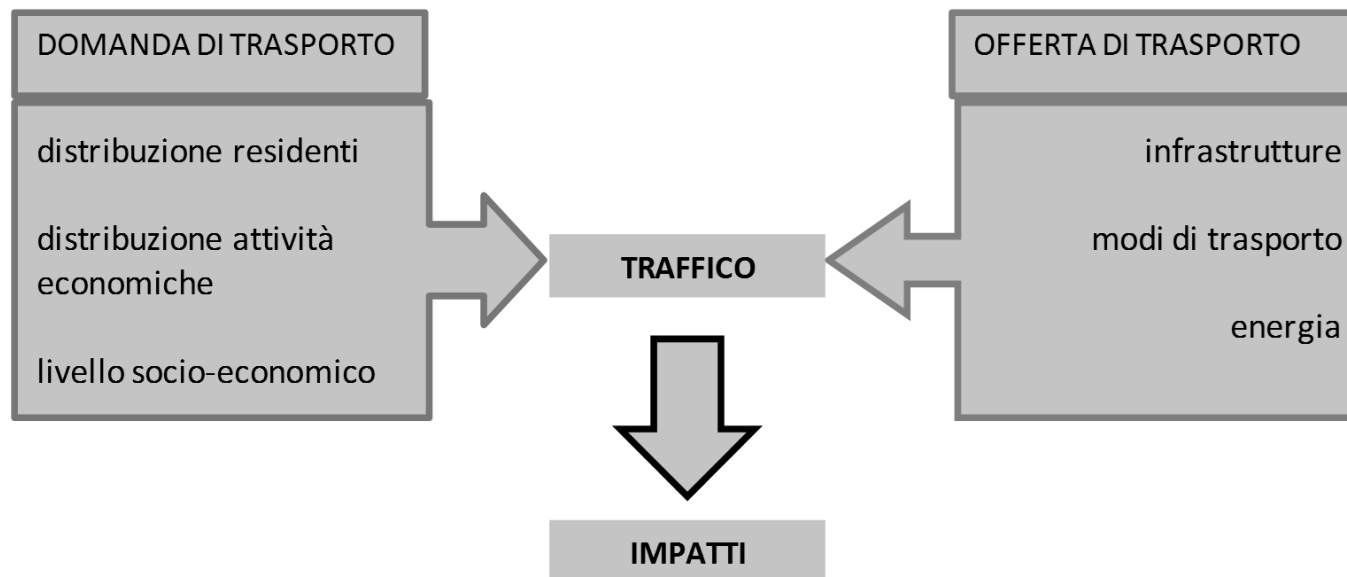
Land Use



Spatial Interactions



Transportation Network



Come calcolare l'energia utilizzata per i trasporti

Intensità demografica Distribuzione attività Intensità energetica


$$E_t[kWh] = \text{People}[pax] \times \text{Distance}[km] \times \frac{\text{Veh_consumption}[kWh/km]}{\text{Veh_capacity}[pax] \times \text{Load_Factor}[\%]}$$

Tecnologia Efficienza del trasporto



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
System efficiency					
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 ²)	1 490	5 490	15 030	7 470	5 990
Travel efficiency					
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
Vehicle efficiency					
Energy use in private passenger vehicle-kilometre (MJ/km) ^[1]	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

^[1] Note that the share of cars and two- or three-wheelers has an influence on this indicator.

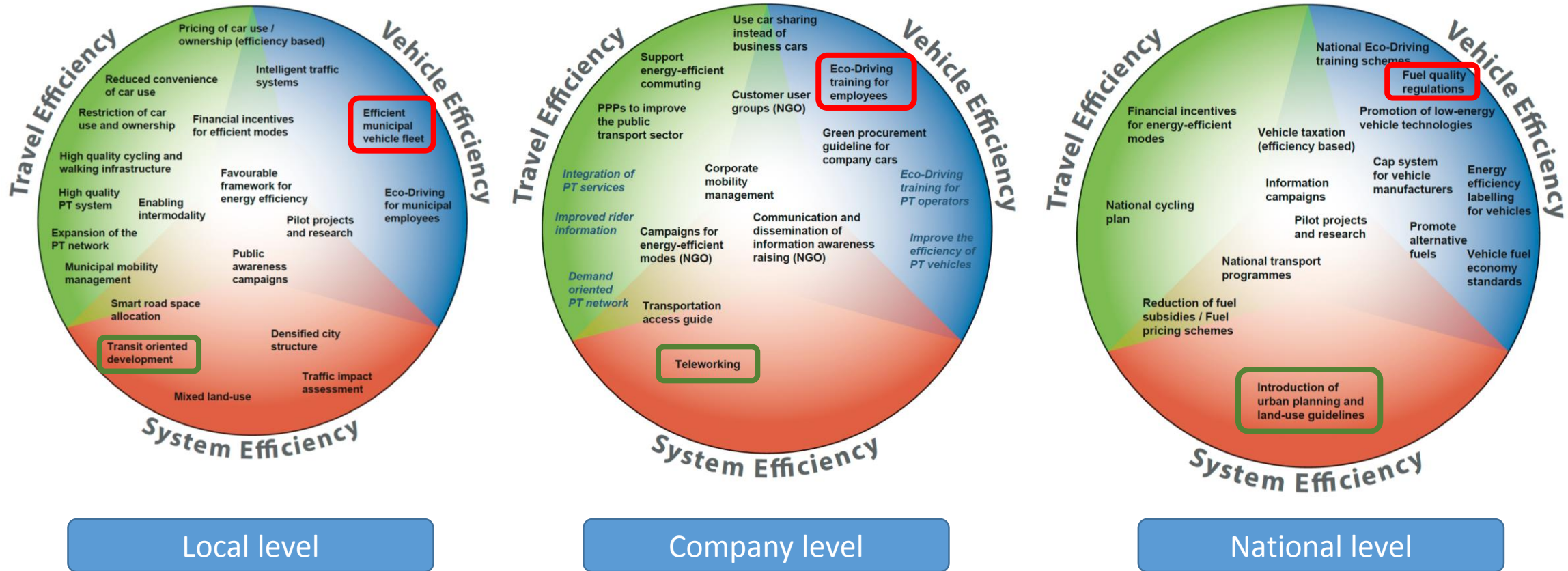
It is preferable to assess automobile and two- or three-wheeler vehicle efficiency separately

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

(adapted from Kojima and Ryan 2010)

Efficienza energetica p

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



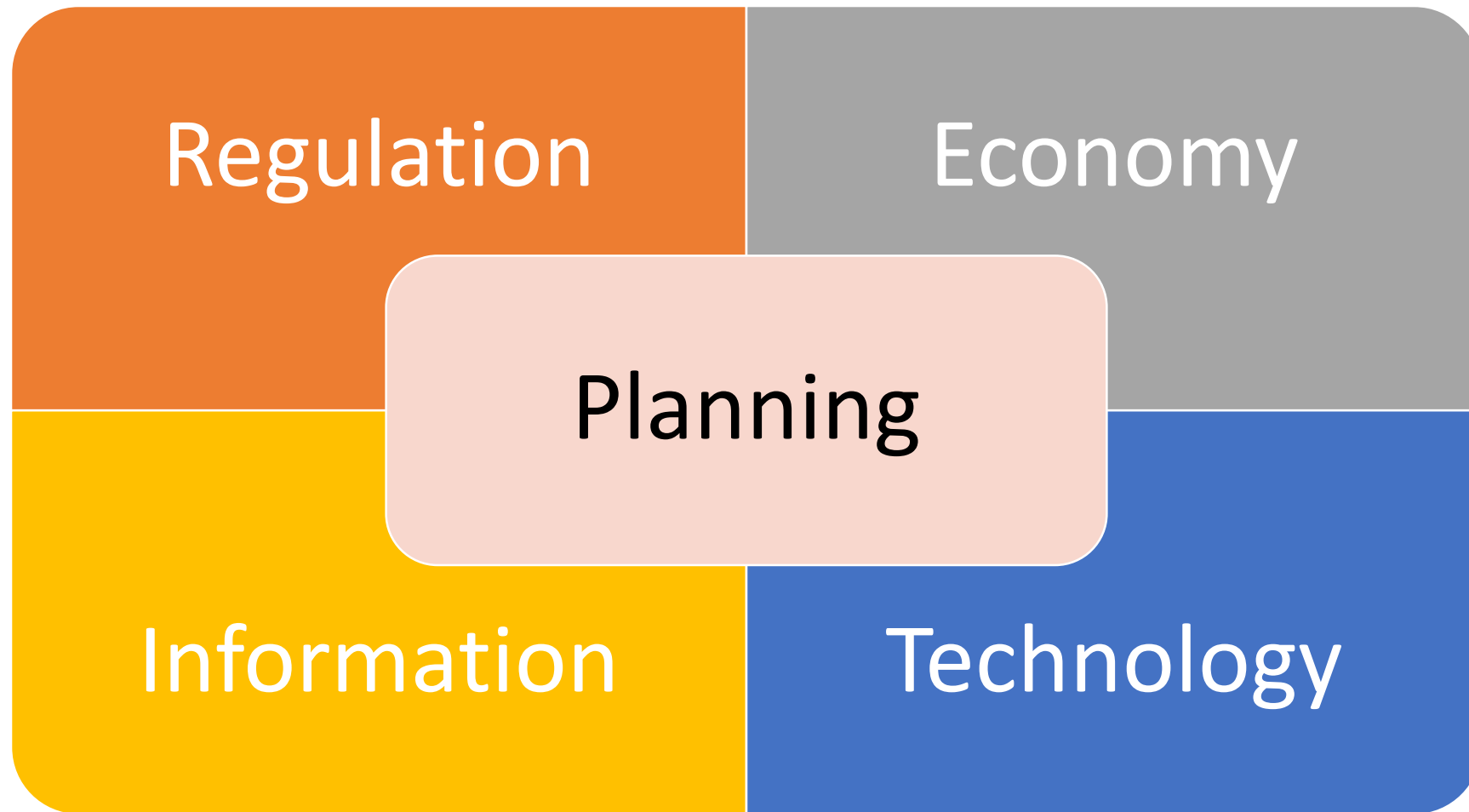
BMZ  Federal Ministry
for Economic Cooperation
and Development

Urban Transport
and Energy Efficiency
Module 5h
Sustainable Transport:
A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities

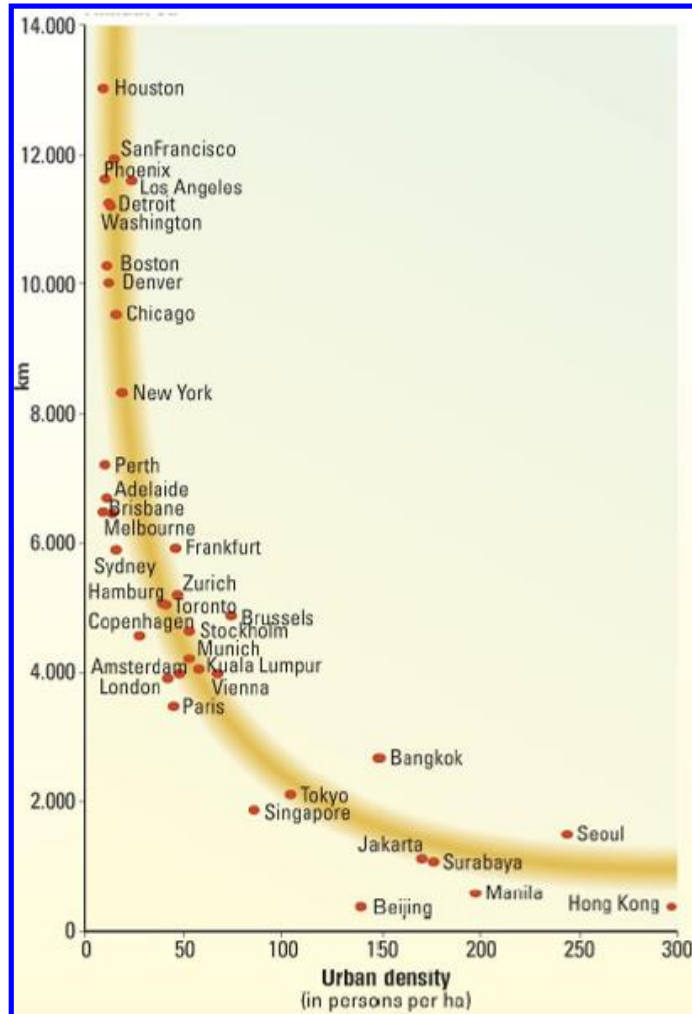

SPECIAL
SPATIAL PLANNING and ENERGY for
COMMUNITIES IN ALL LANDSCAPES

Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territo

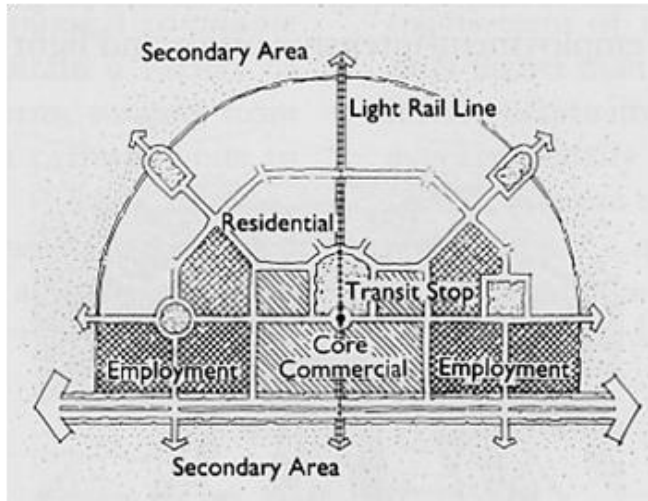
Classificazione delle azioni (per la mobilità sostenibile in generale)



PIANIFICAZIONE



Hammarby, Stoccolma



Smart Growth

Density, Diversity,
Design,
Destination,
Density

Transit Oriented
Development

Green
Infrastructures

Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

REGULATIONS



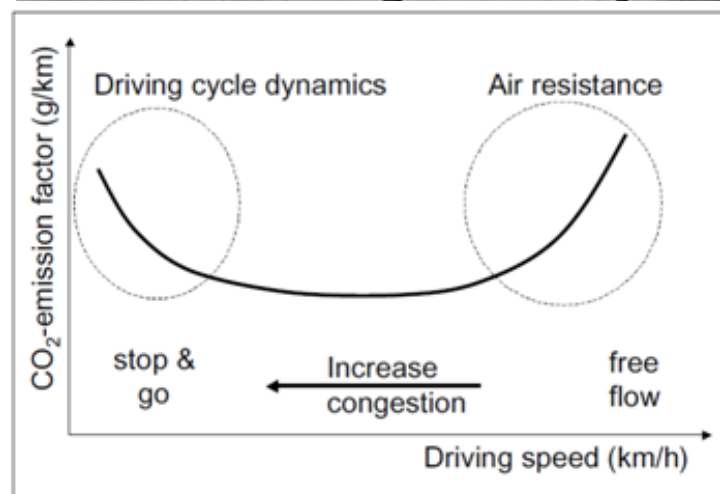
Aree pedonali

ZTL

Zone 30

Isole Ambientali

Parking management



Efficienz

Urbana e territoriale

ECONOMIA



Internalizzare costi mobilità

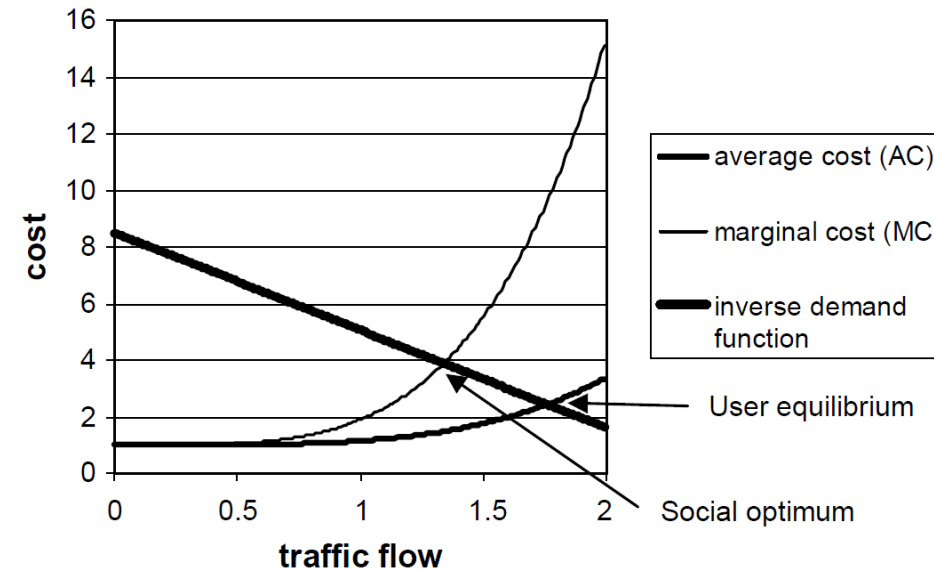
Road pricing

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

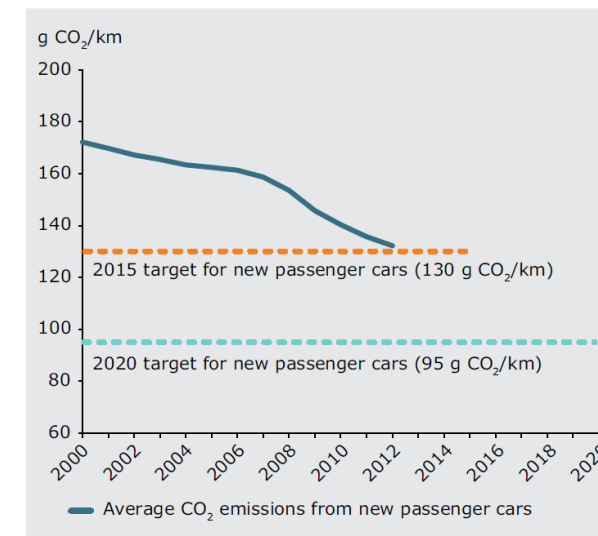
Efficienza energetica dei veicoli

- -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

CO₂ emissions (g/km) (g/km)

CO ₂ Emissions (g/km)	Label
120	A
120 to 140	B
140 to 155	C
155 to 170	D
170 to 185	E
185 to 200	F
200 to 225	G

For use (estimated) for 10,000 kilometers

A gallon of petrol is equivalent to the consumption of a gallon of gasoline equivalent. This figure is calculated on the basis of the amount of petrol or diesel actually used under test conditions.

Motor Tax for 12 months

Motor tax varies according to the CO₂ emissions of the vehicle.

Vehicle Registration Tax (VRT) Rate

The VRT rate is a percentage of the net value of the vehicle as determined on the date of registration.

Environmental Information

A gallon of petrol and CO₂ emissions which increase risk to a full passenger car results in a double increase in the risk of global warming. The Society of the Motor Industry is a major contributor to the global warming of the planet.

Make:

Model/Version:

774 litres

€100

100

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.

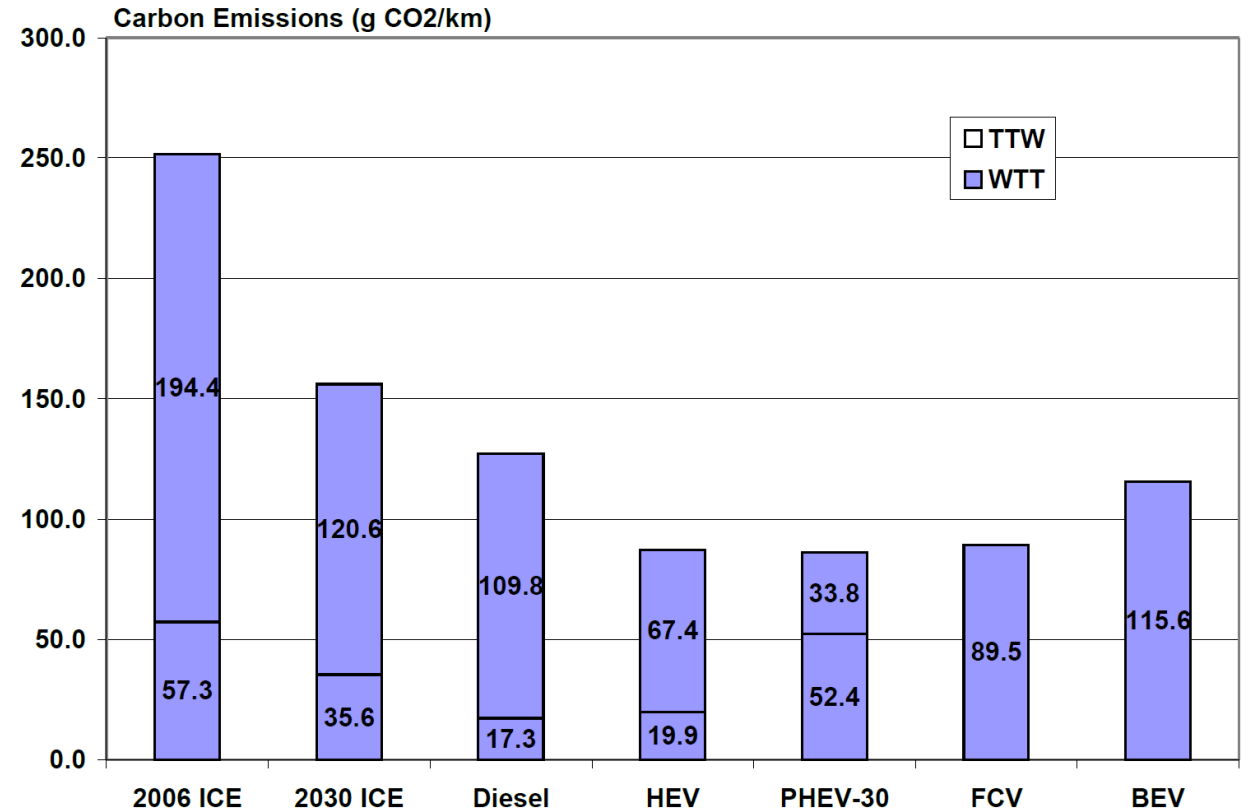
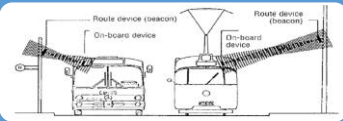


Figure 1: Well-to-wheels (WTT) and Tank-to-wheels (TTW) analysis of carbon emissions for conventional and advanced vehicles [Kromer 2007]

TECNOLOGIE ITS



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



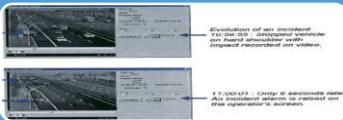
la gestione del trasporto pubblico



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



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



la gestione delle emergenze

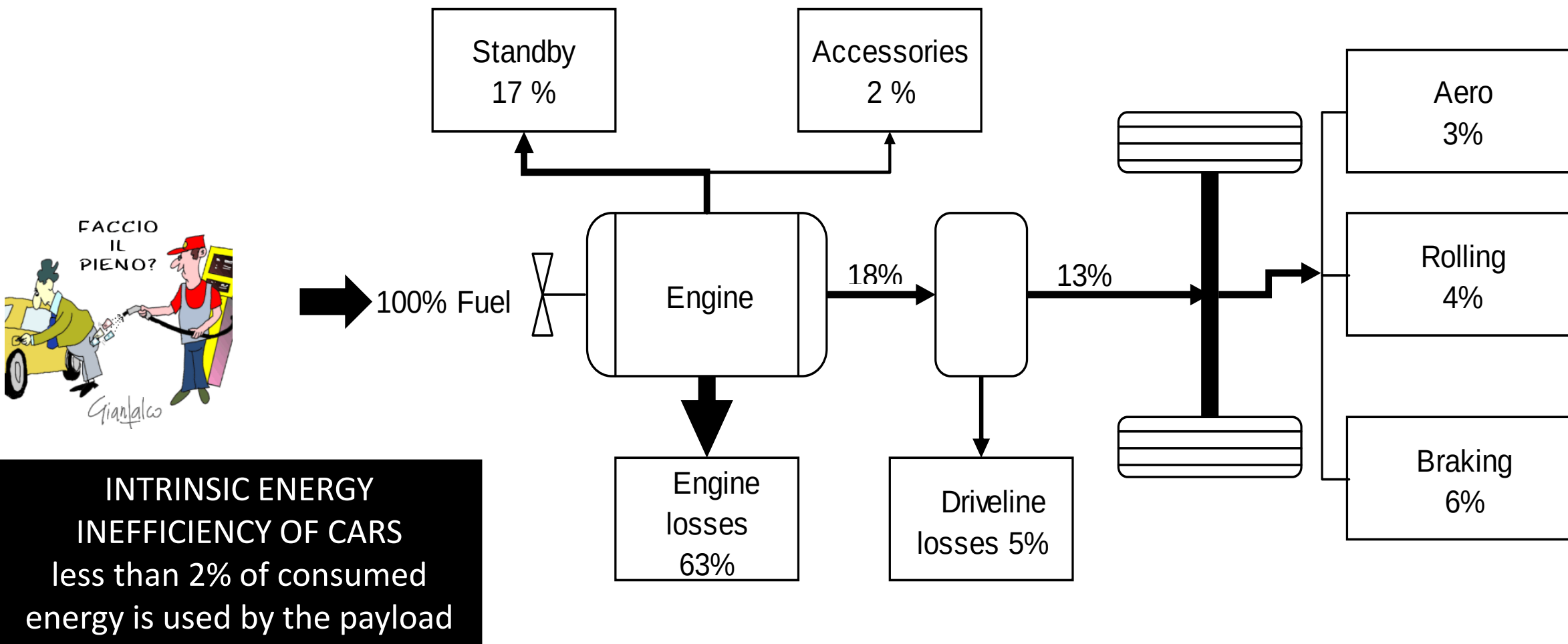


la gestione delle flotte e del trasporto merci

Efficienza energetica dei veicoli stradali



Perché l'auto a combustione interna è energeticamente inefficiente



Stima del consumo di energia di un' automobile

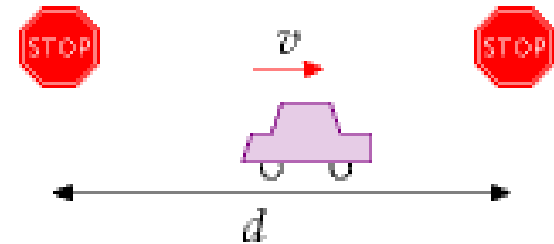
- Un'auto che percorre 100 km usa circa 80 kWh di energia.
- Dove finisce quest'energia?
- In che misura dipende dalle caratteristiche dell'auto?

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 $m_{air} = \rho Avt$ (ρ 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:

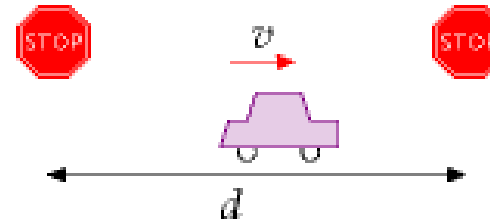
$$\frac{1}{2} m_{air} v^2 = \frac{1}{2} \rho Avt v^2$$

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

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

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

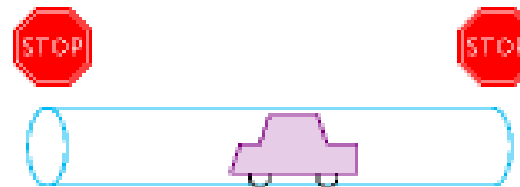


$$\frac{\frac{1}{2}m_c v^2}{d/v} = \frac{\frac{1}{2}m_c v^3}{d}$$



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

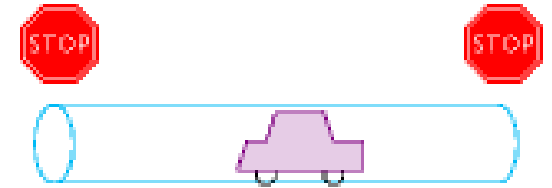
$$\frac{\frac{1}{2}\rho A v t v^2}{t} = \frac{1}{2}\rho A v^3$$



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

Consumo di energia dell'auto

- Vediamo se è maggiore l'energia consumata nei freni o quella per muovere l'aria
- Entrambe le due forme di energia crescono con v^3 .
- Dimezzando la velocità v , la potenza impegnata si riduce 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: :

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

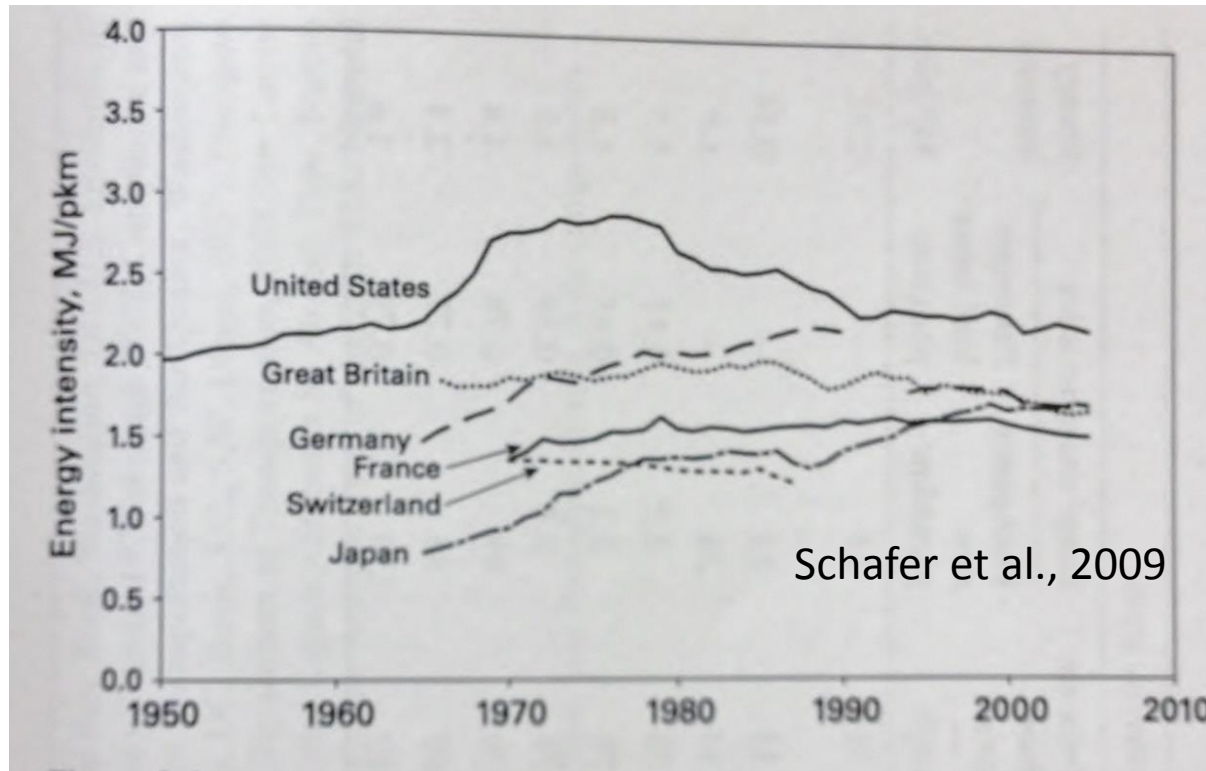
- Ipotizzando $v = 110 \text{ km/h} = 31 \text{ m/s}$ e $A = c_d A_{\text{car}} = 1 \text{ m}^2$.
- La potenza necessaria è circa:

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

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

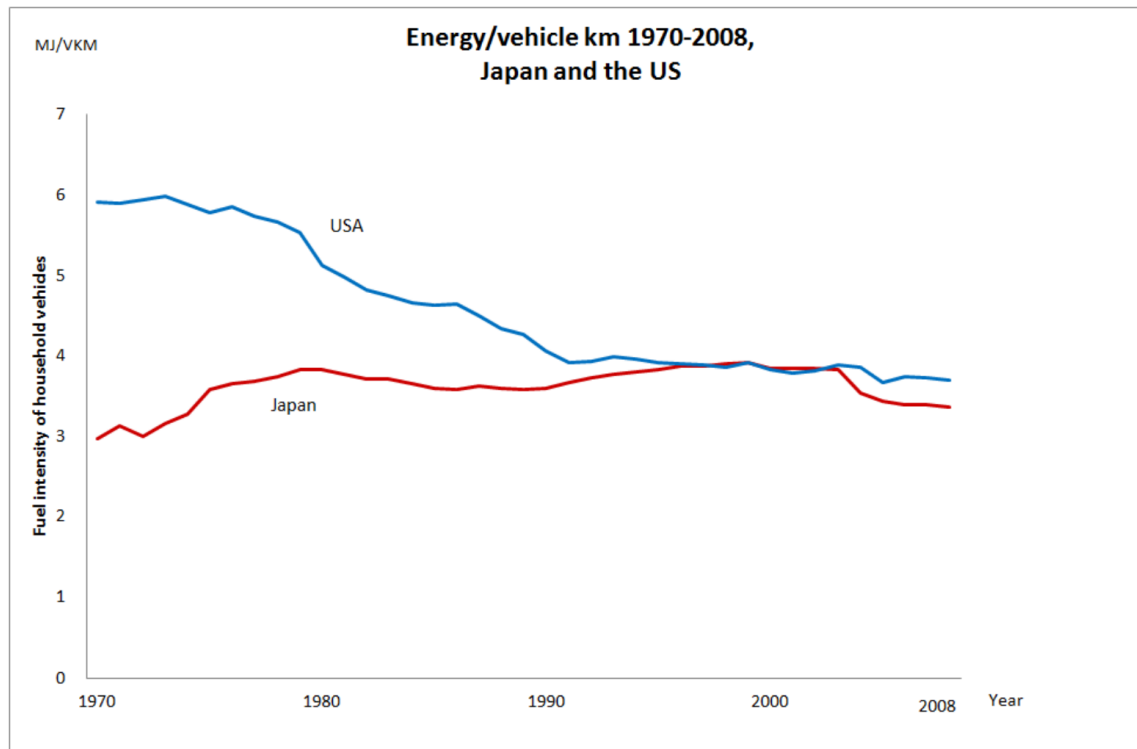


- Nonostante il progresso tecnologico del settore dei trasporti, la quantità di energia utilizzata con tutti i modi di trasporto divisa il numero totale di pax-km è rimasta pressoché costante, per le seguenti ragioni:
 - Riduzione dell'uso del trasporto pubblico a bassa velocità a favore dell'uso di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



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
Spark-ignition engine			
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
Vehicle			
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

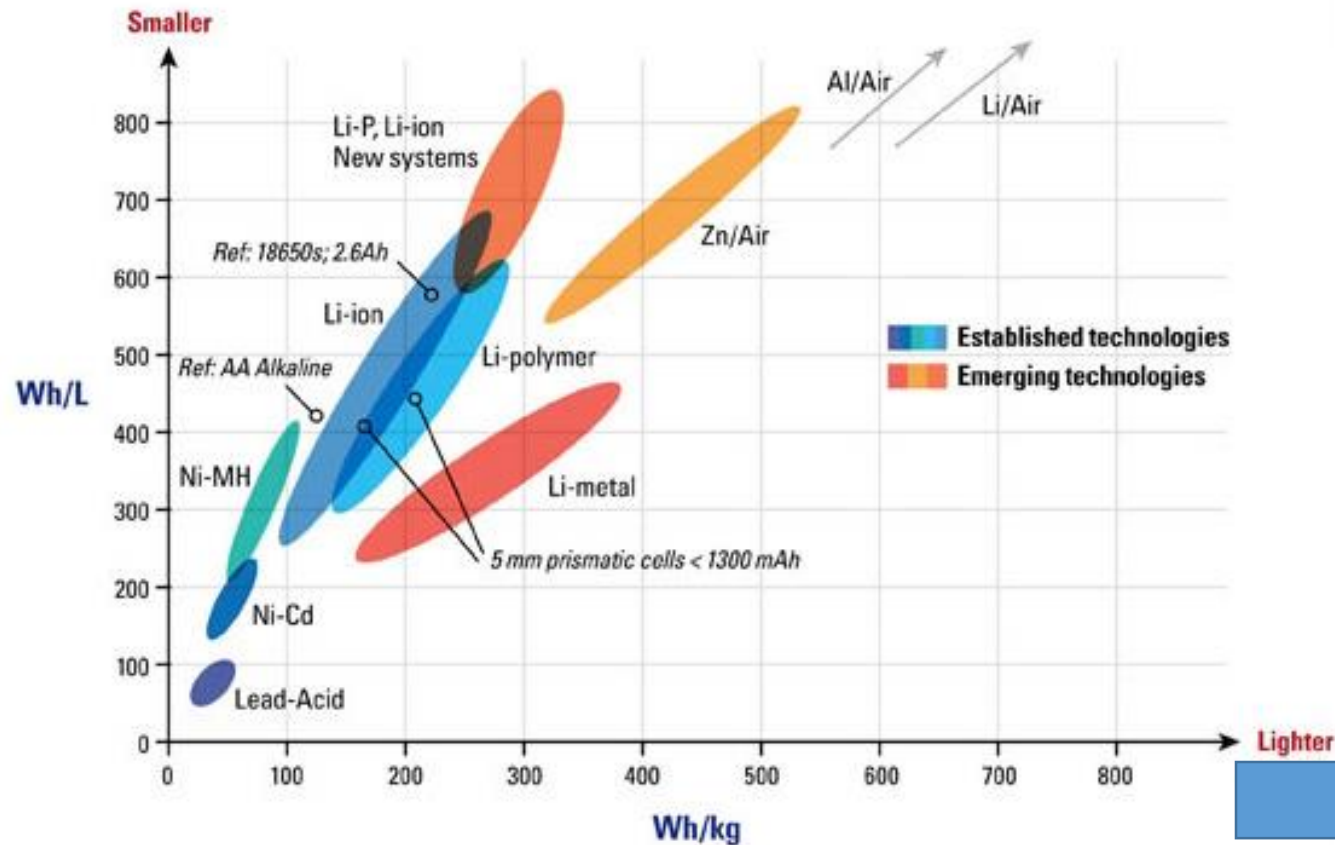
- Consumo Unitario 150 Wh/km
- Batteria di capacità di 25 kWh
- Autonomia 160 km (25000/150)
- La capacità della batteria contiene l'energia di 3 litri di benzina; è come se un'auto a benzina percorresse 53 km con un litro di benzina
- Bassa densità di energia ma alta efficienza energetica

La densità di energia sta crescendo

Densità di energia

Peso batteria

Autonomia



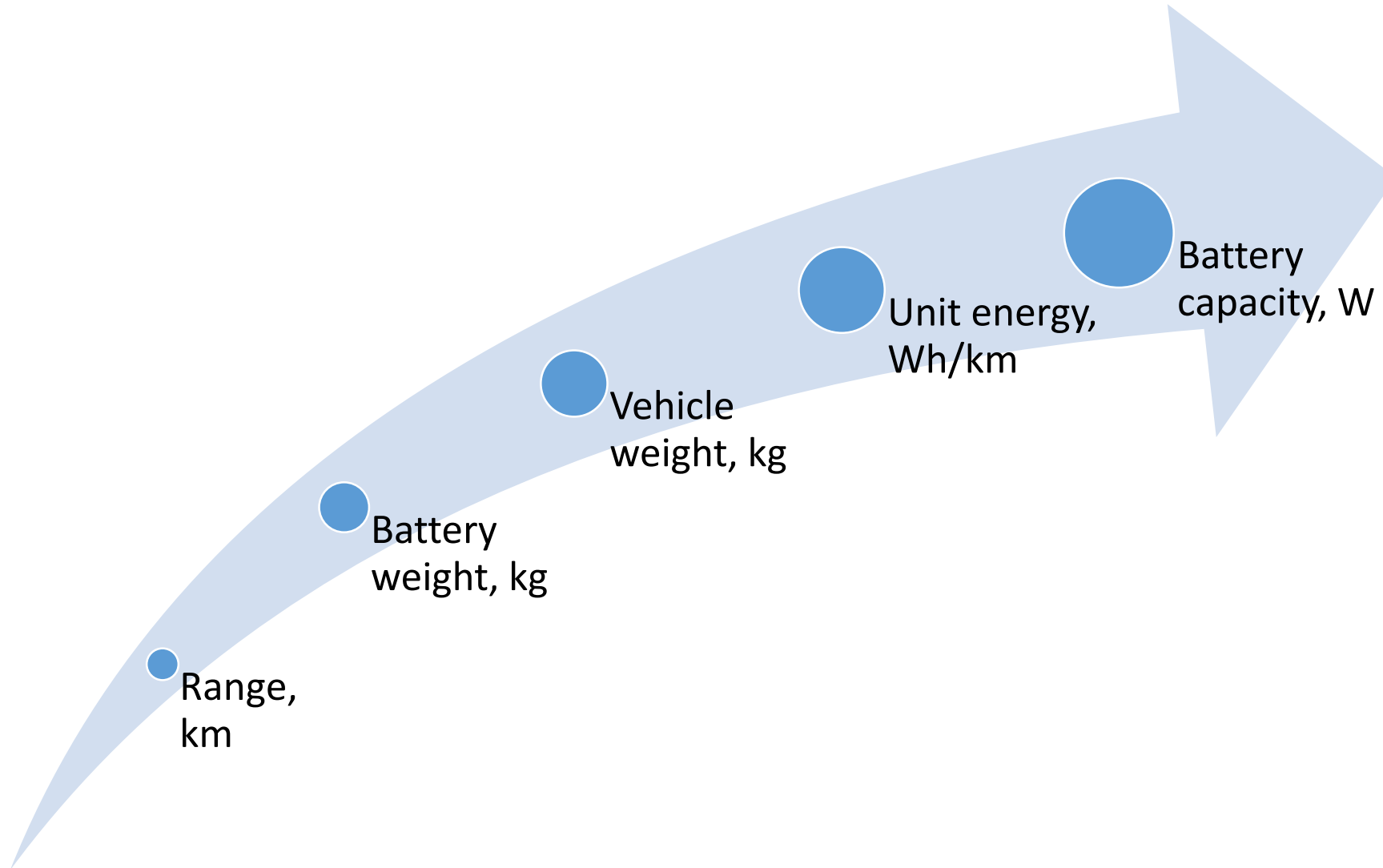
benzina 12500 Wh/kg

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

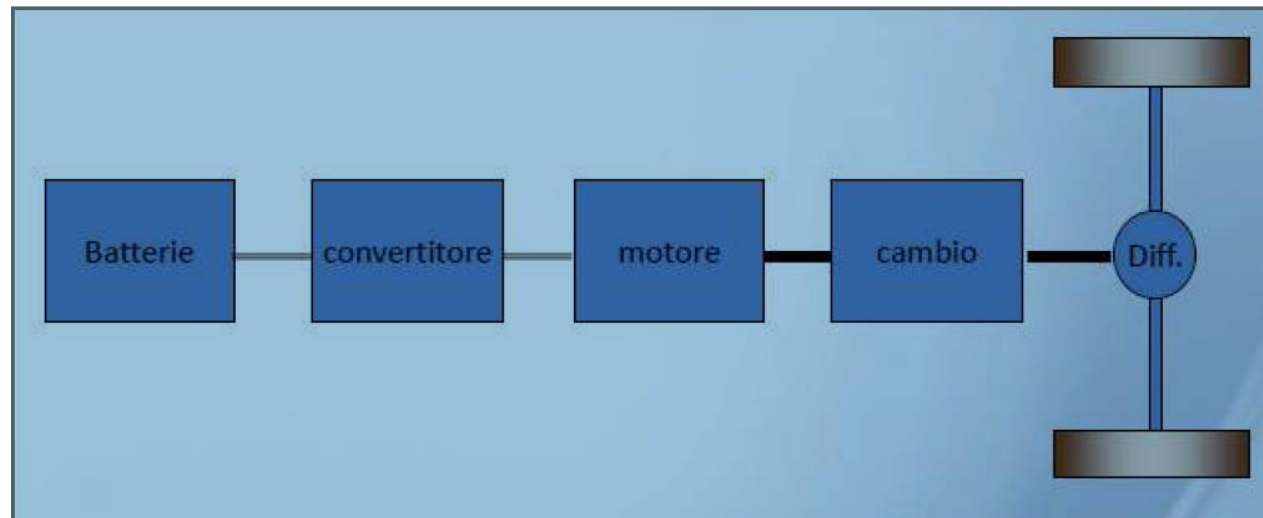


Classification of electric vehicles

- 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.

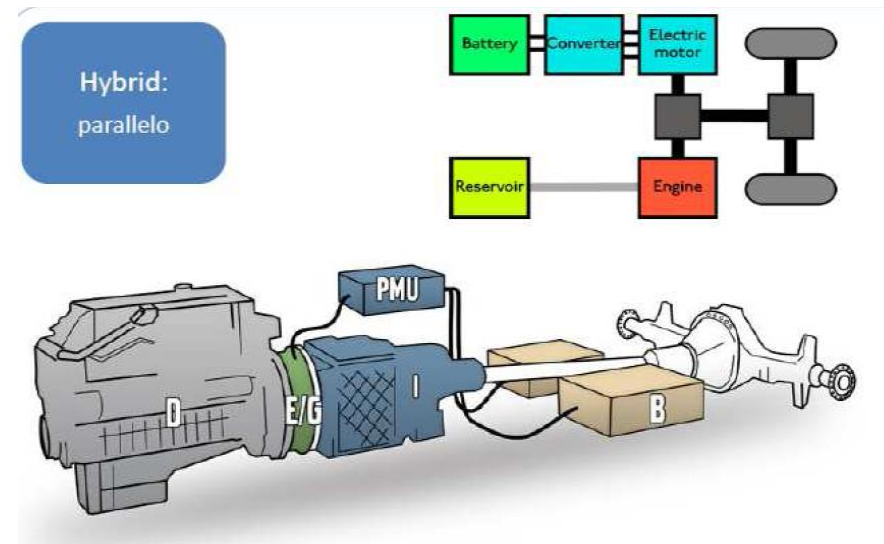
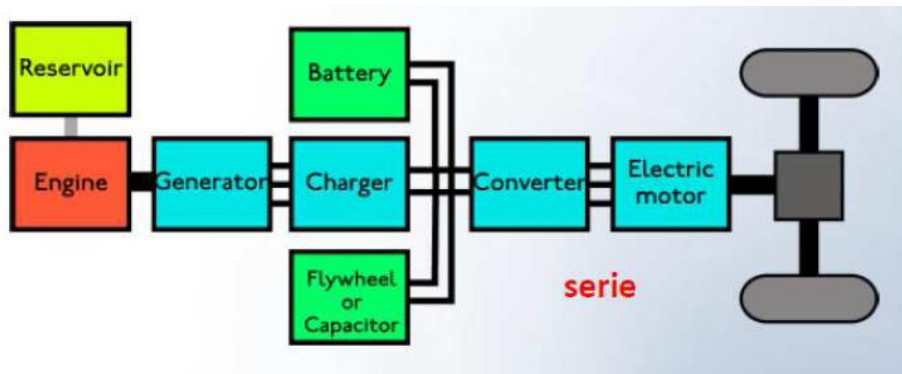
PURE ELECTRIC VEHICLE - PEV

- 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.

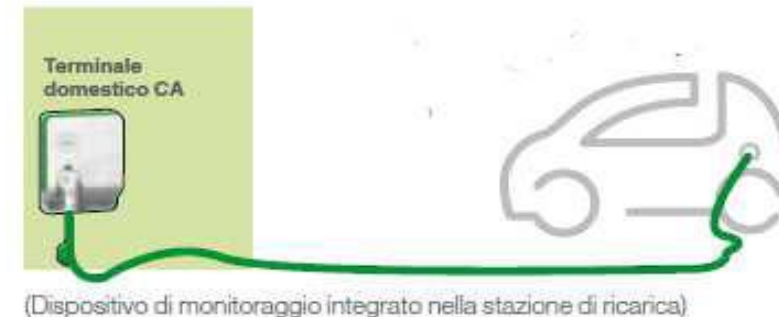


HYBRID ELECTRIC VEHICLE — HEV - benefits

- 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.

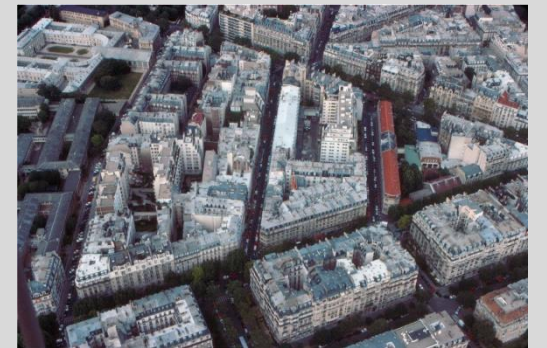


Esempio di ricarica induttiva per autobus di linea urbana (linea Star di GTT, Torino, 2013)

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	When urban density increases
Annual mileage of all household vehicles	25786	24553	22218	18897	14982	13431	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

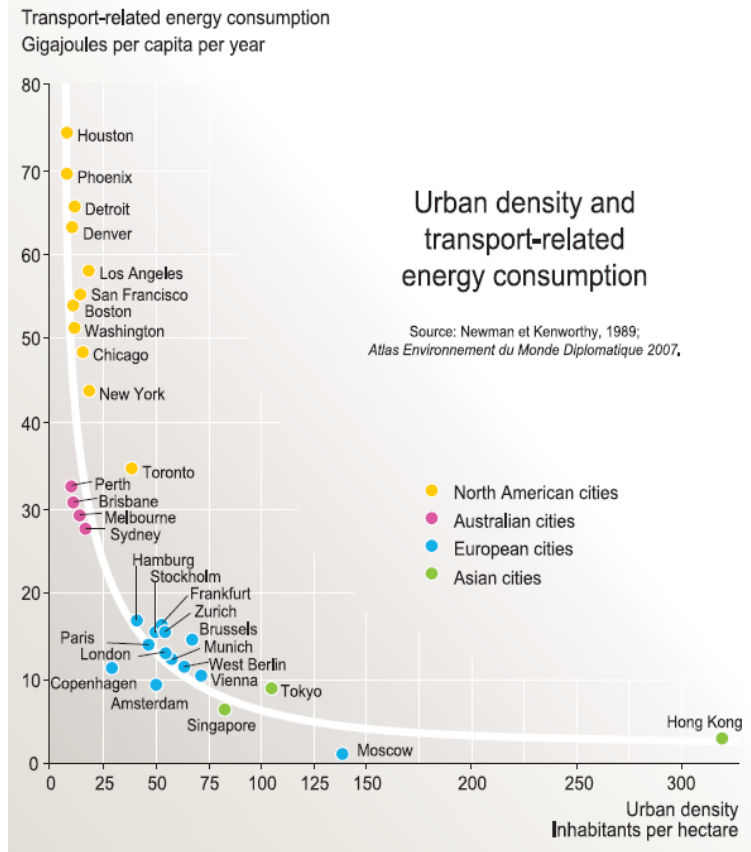


Figure 1 : The Newman and Kenworthy hyperbola: Urban density and transport-related energy consumption



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

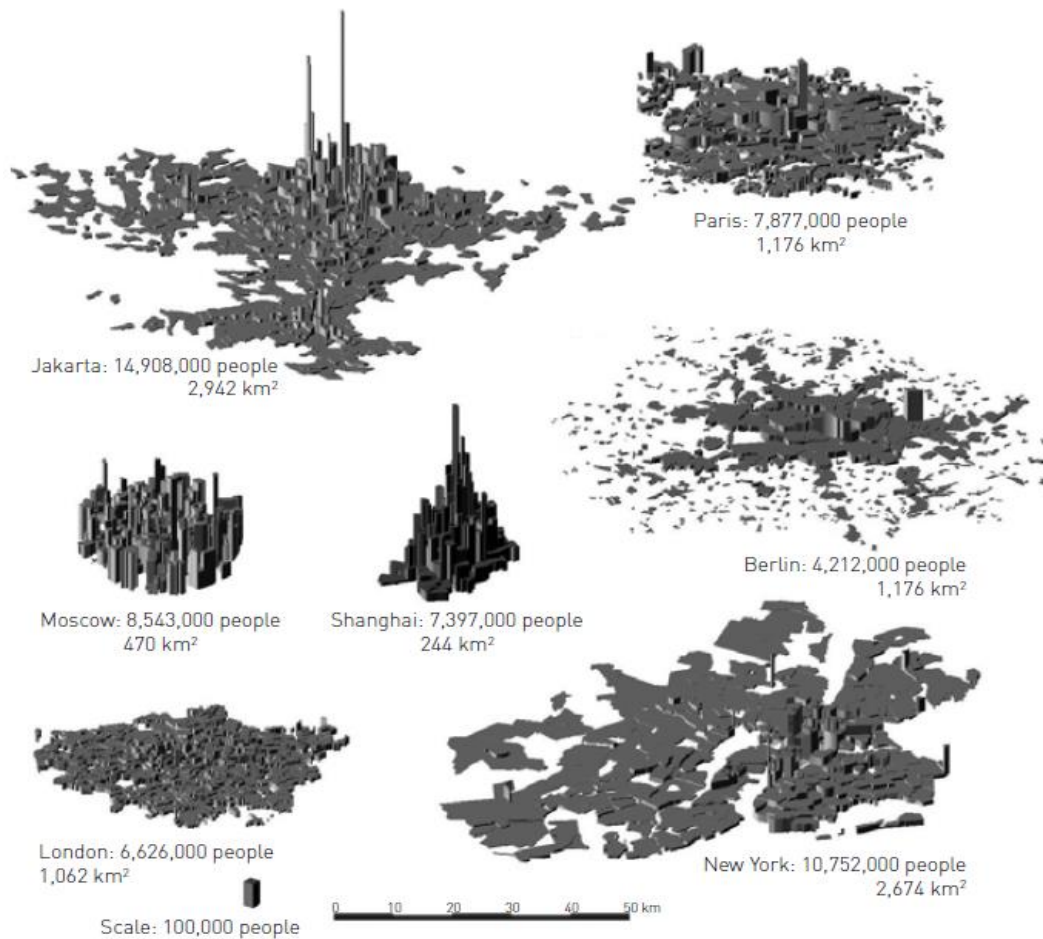
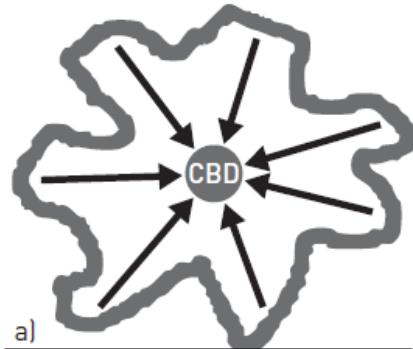


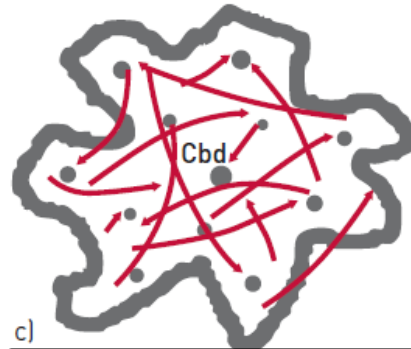
Figure 3. Residential density distribution in several cities. Source: [Bertaud, 2001].

- 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)

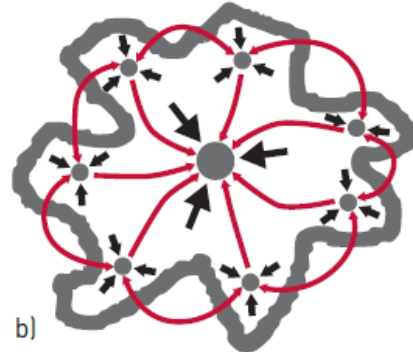
Average Density vs Spatial Dynamics



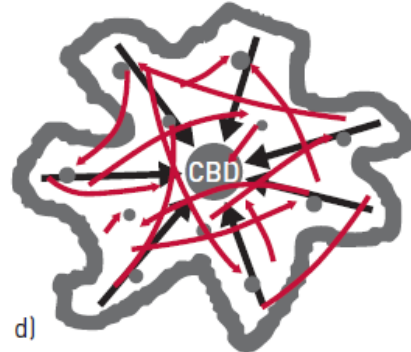
a) Radial monocentric



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?

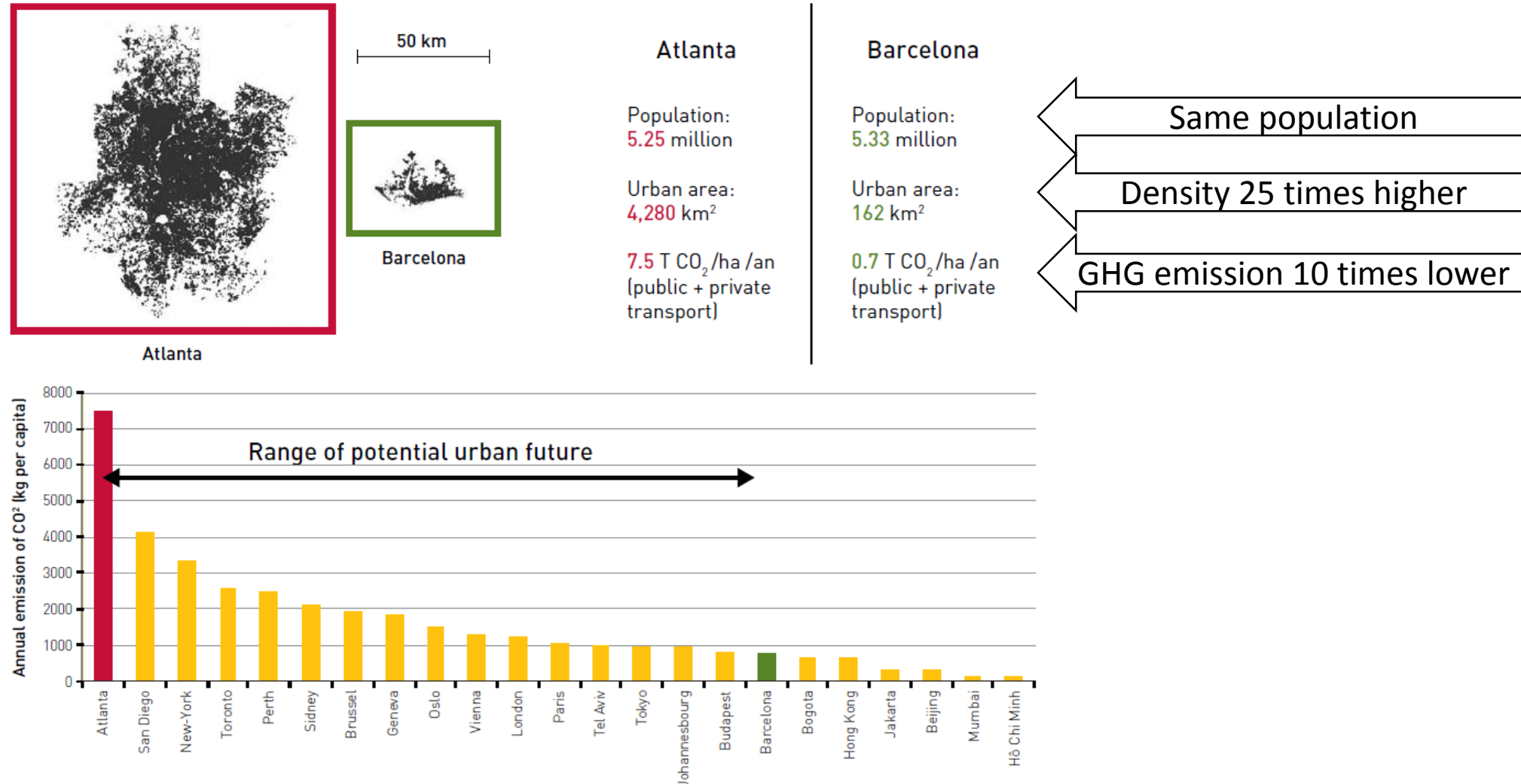


Figure 6. Atlanta or Barcelona, the range of possible urban futures. Source : Adapted from (Newman and Kenworthy, 1999).

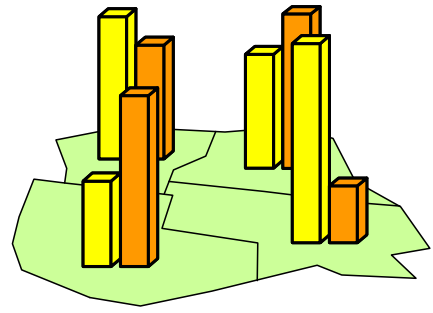
Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

Urban modelling

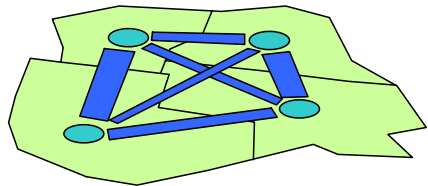
- Modelli complessi di interazione trasporti territorio per i ricercatori
- La pianificazione urbanistica e dei trasporti ha bisogno di modelli semplici per indirizzare lo sviluppo lungo i percorsi della sostenibilità

Transport energy dependence urban model

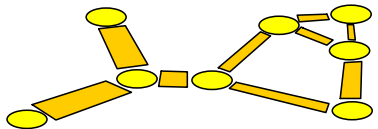
Land Use- Transport – Energy model



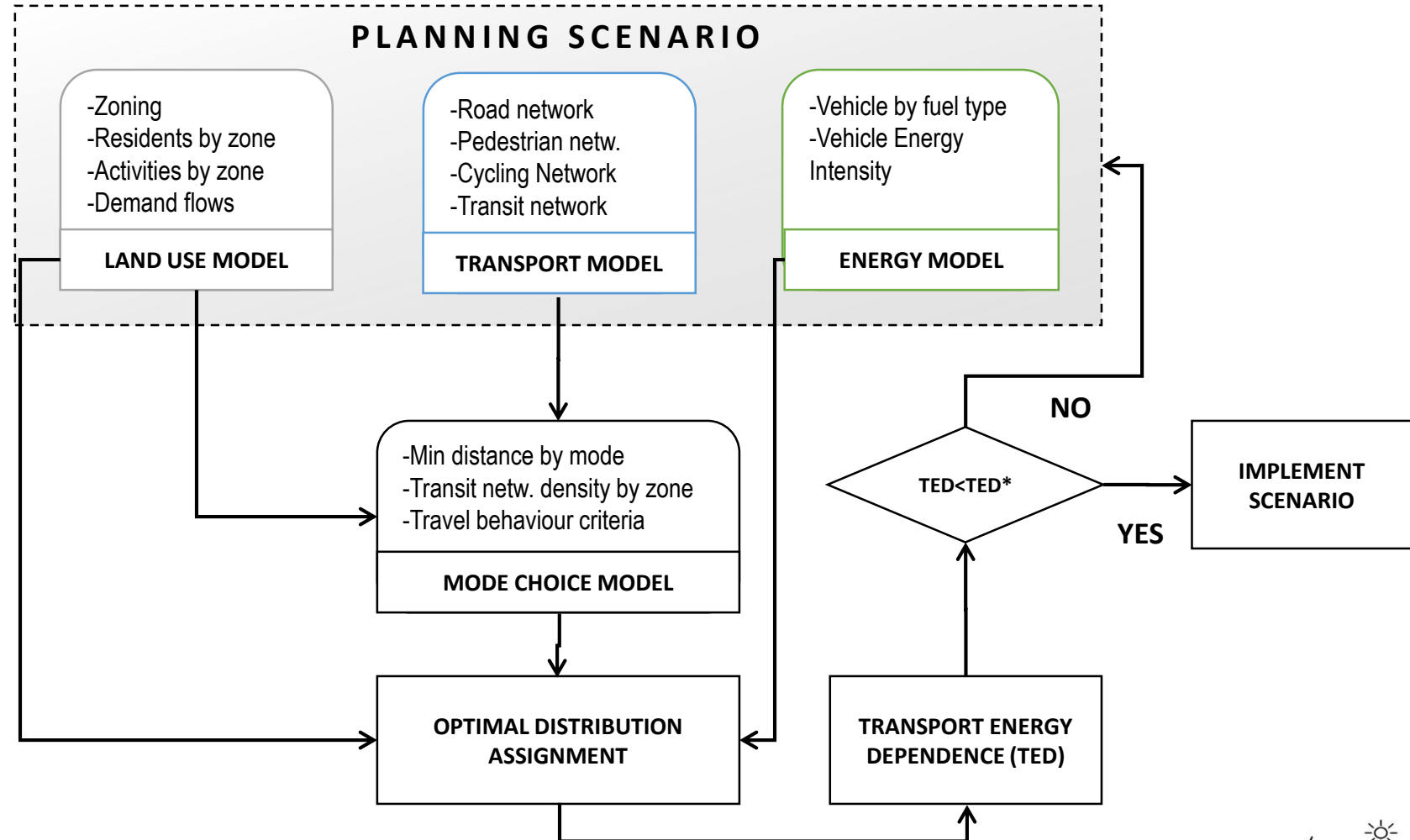
Land Use



Spatial Interactions

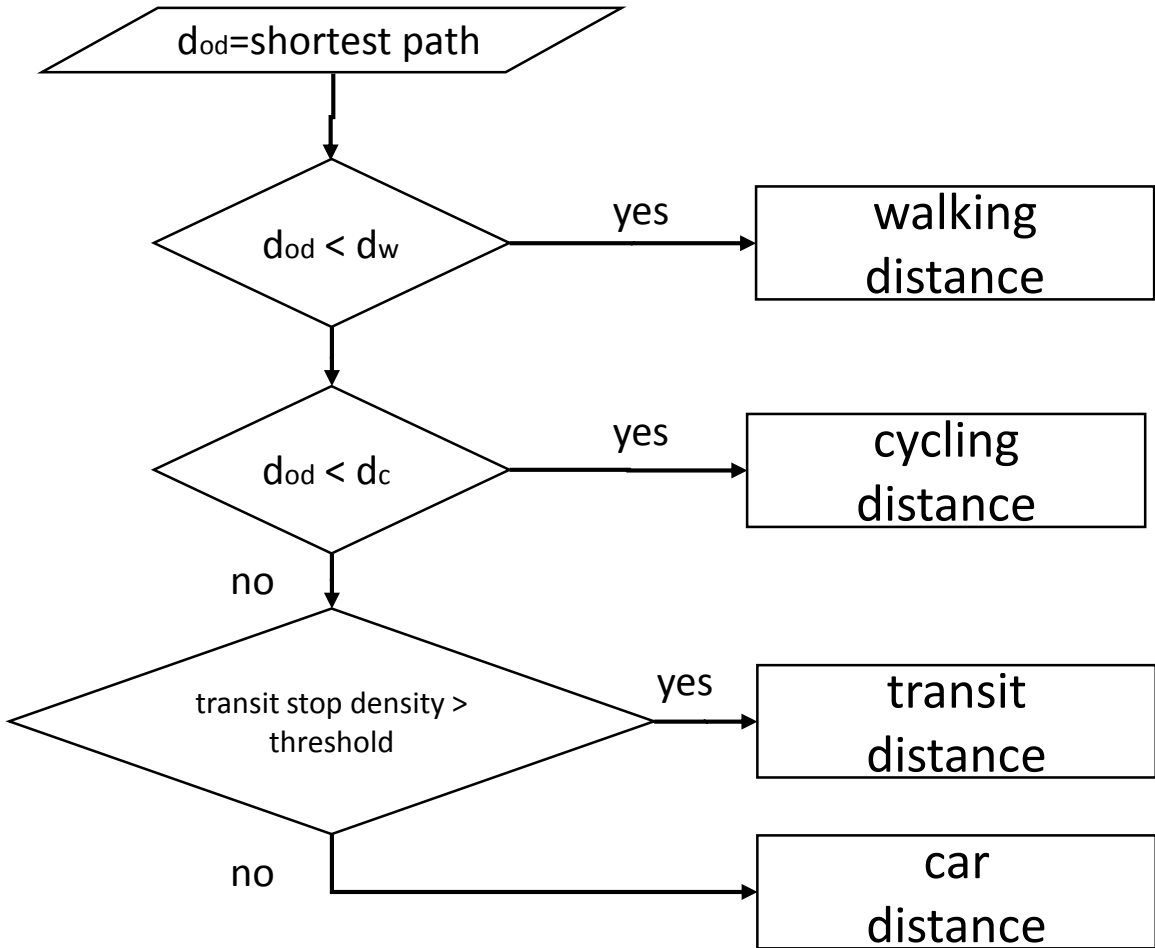


Transportation Network



Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

Transport mode choice model



TRANSIT DENSITY THRESHOLD

BUS	6.67	Km/km ²
LRT	3.30	Km/km ²
METRO	2.50	Km/km ²

Choice	Distance	
WALKING	<500m	d_{od}
CYCLING	<1000m	d_{od}
BUS	<300+300m	Stop access/egress
LRT	<600+600m	Stop access/egress
METRO	<800+800m	Stop access/egress

Optimal demand flows assignment

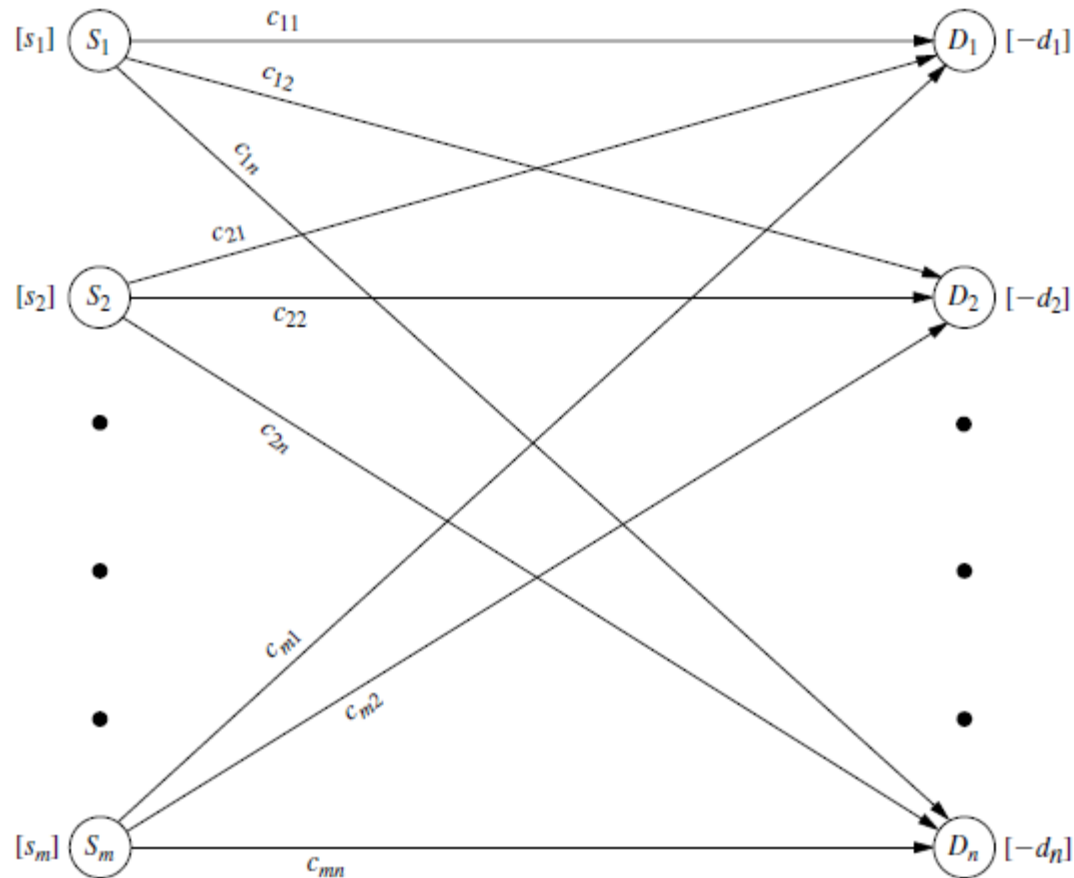
$$\min(Z) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

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

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

$$x_{ij} \geq 0$$

THE TRANSPORTATION PROBLEM



Hillier and Lieberman, 2001

Transport Energy Dependence

$$TED_s = \sum_o \sum_d \boxed{t_{od} \cdot l_{od} \cdot \frac{e_v}{c_v \cdot LF_v}} \cdot \overset{\mathbf{c}_{ij}}{\underset{\mathbf{x}_{ij}^{opt}}{\quad}}$$

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)

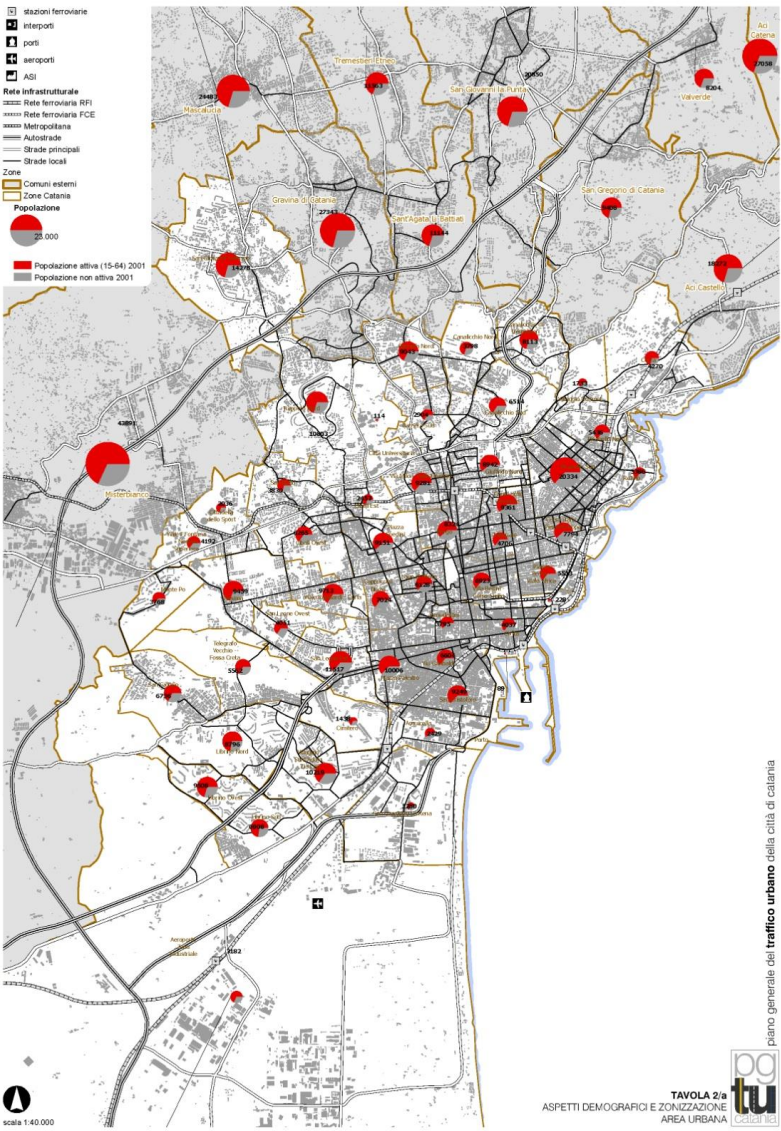
LF_v load factor (passengers/spaces)

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

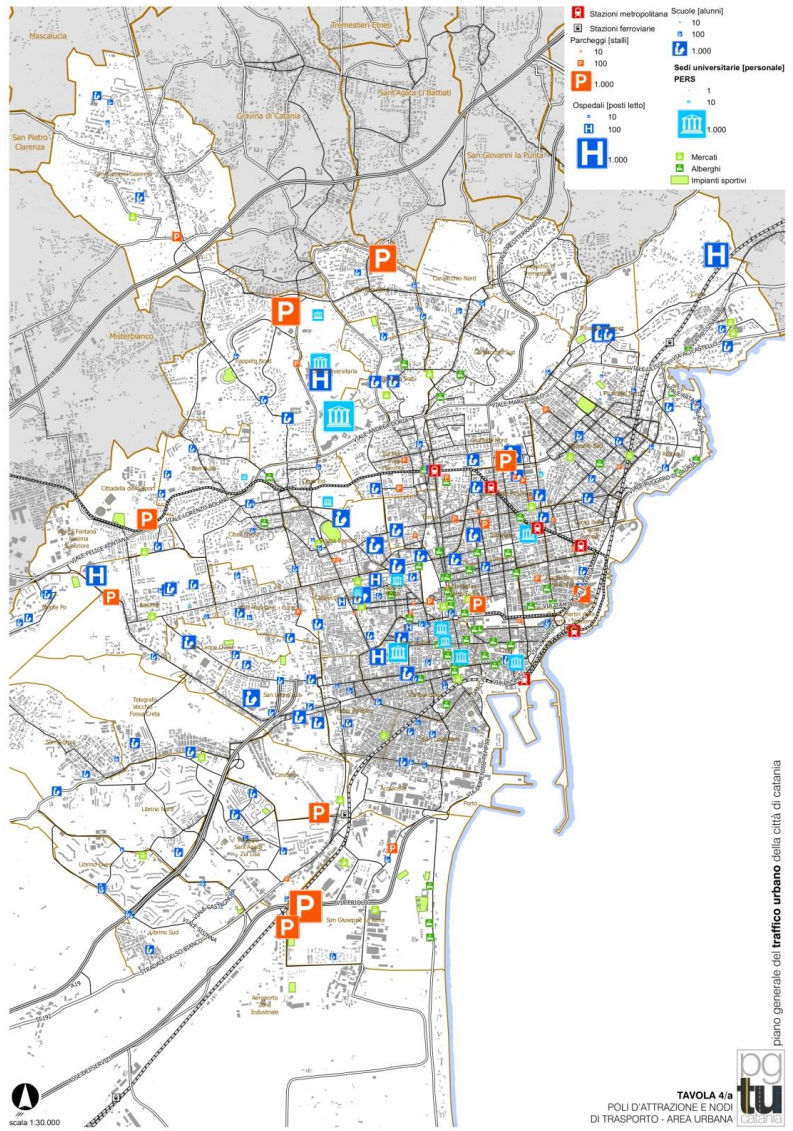
Kenworthy (2003)

Case Study - Catania

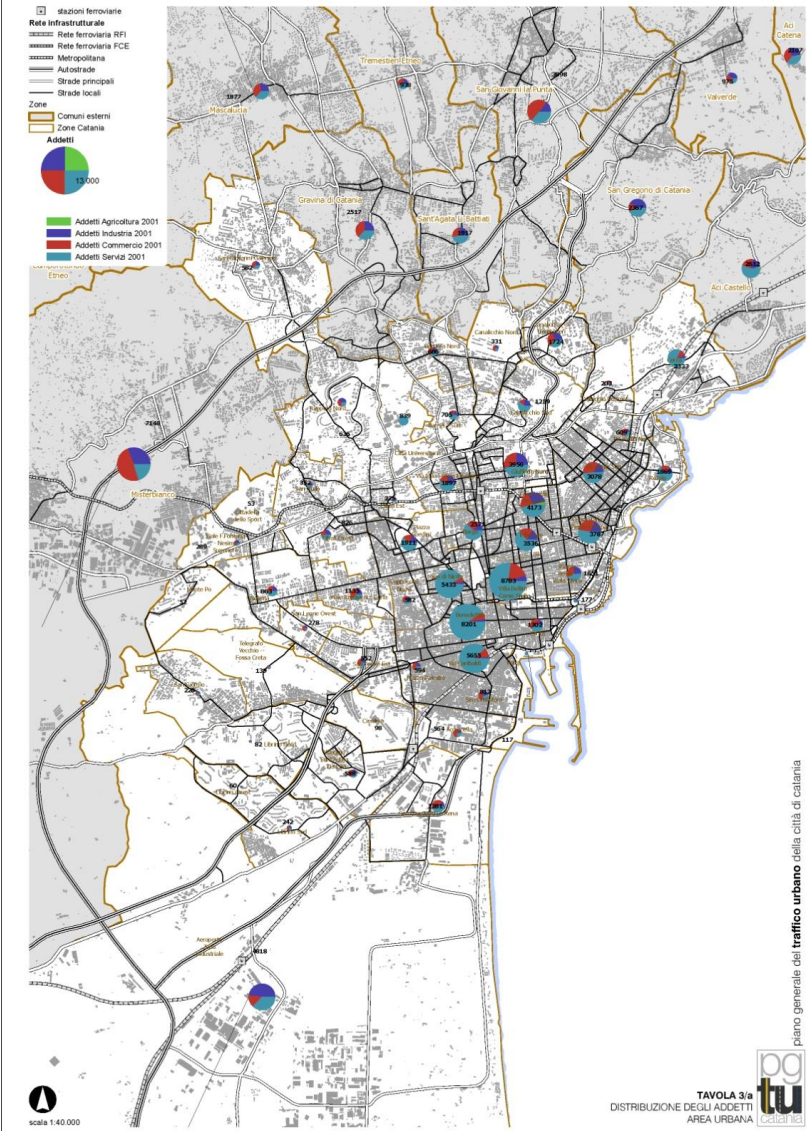




population



public services

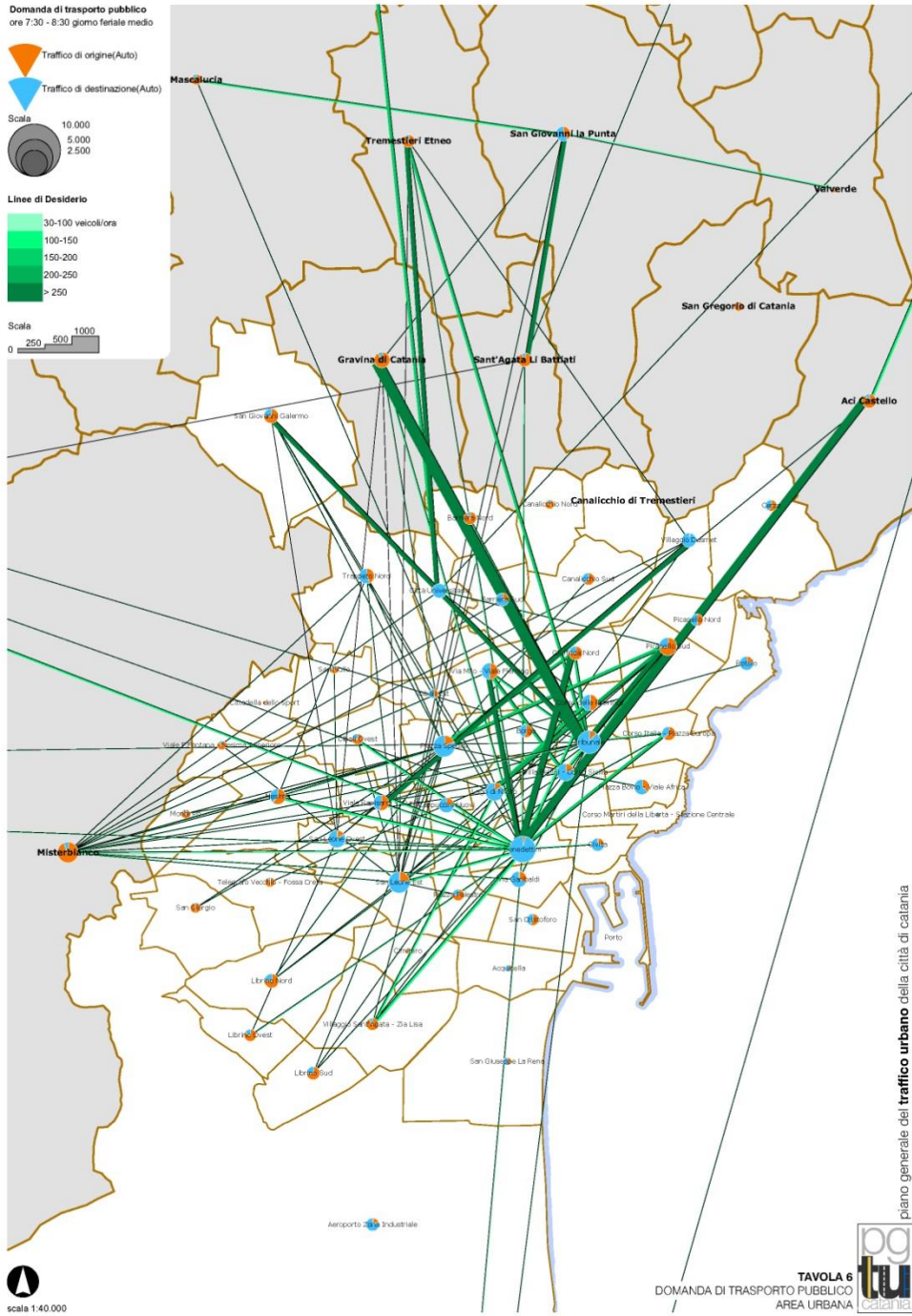
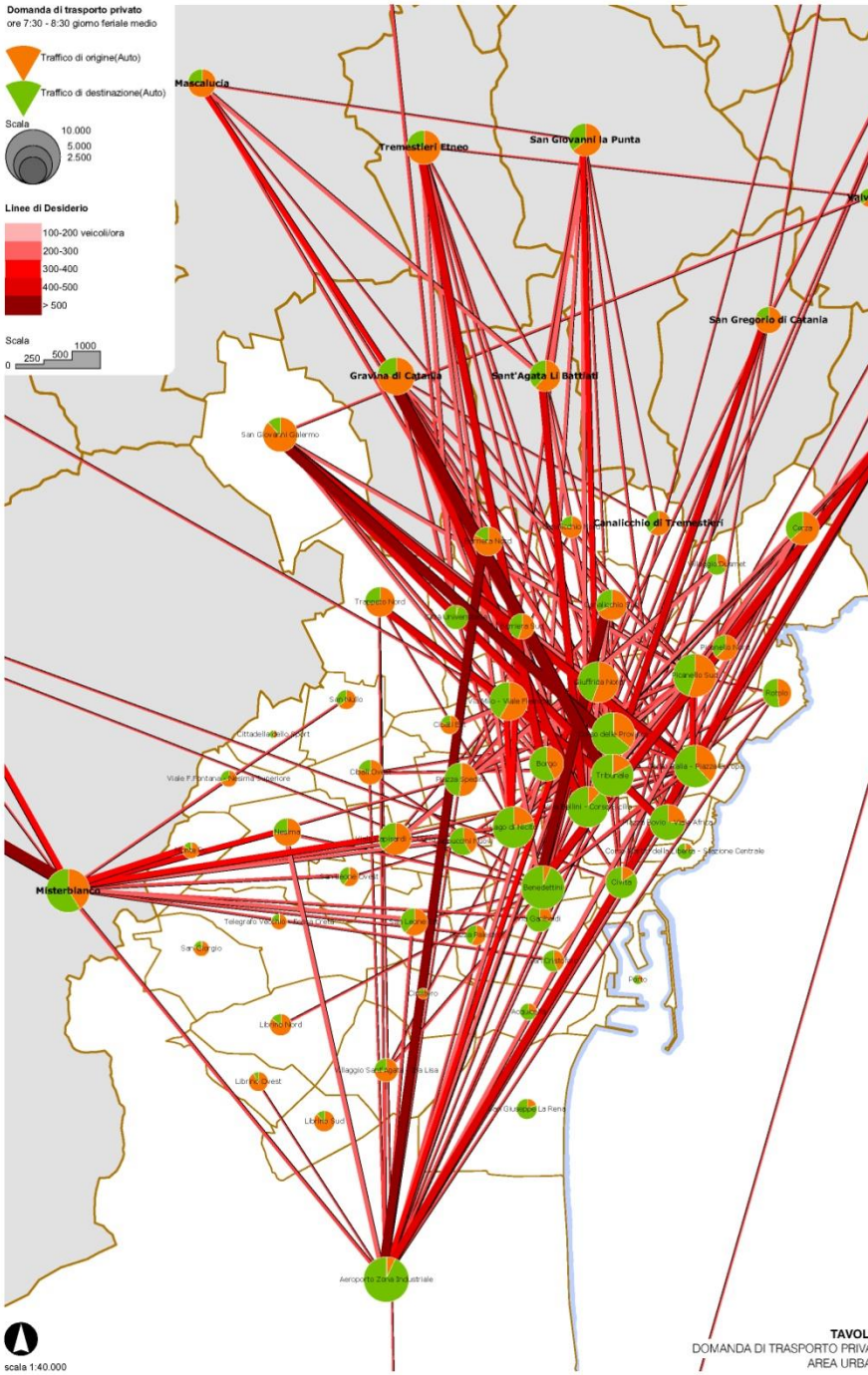


jobs

Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

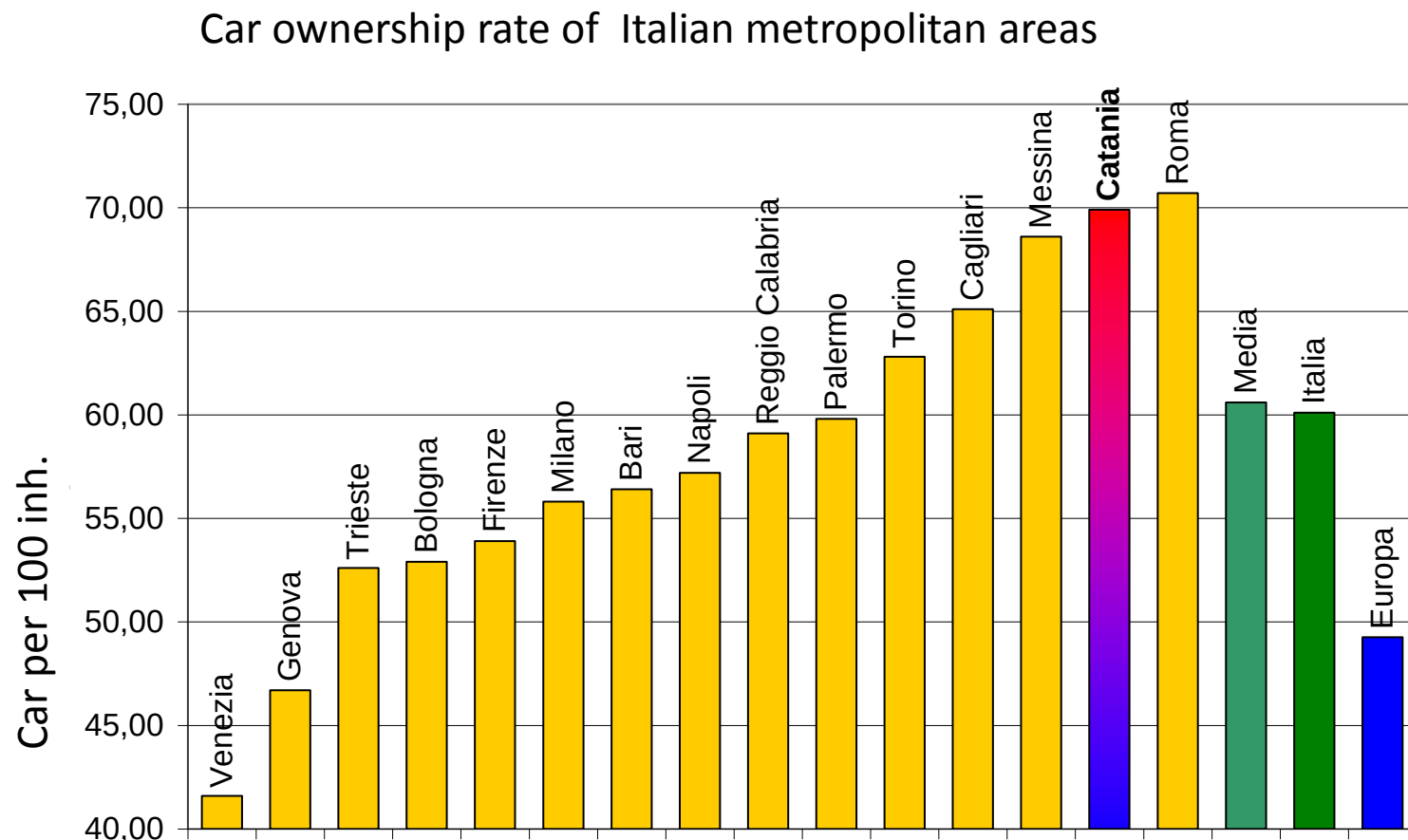


Private transport demand

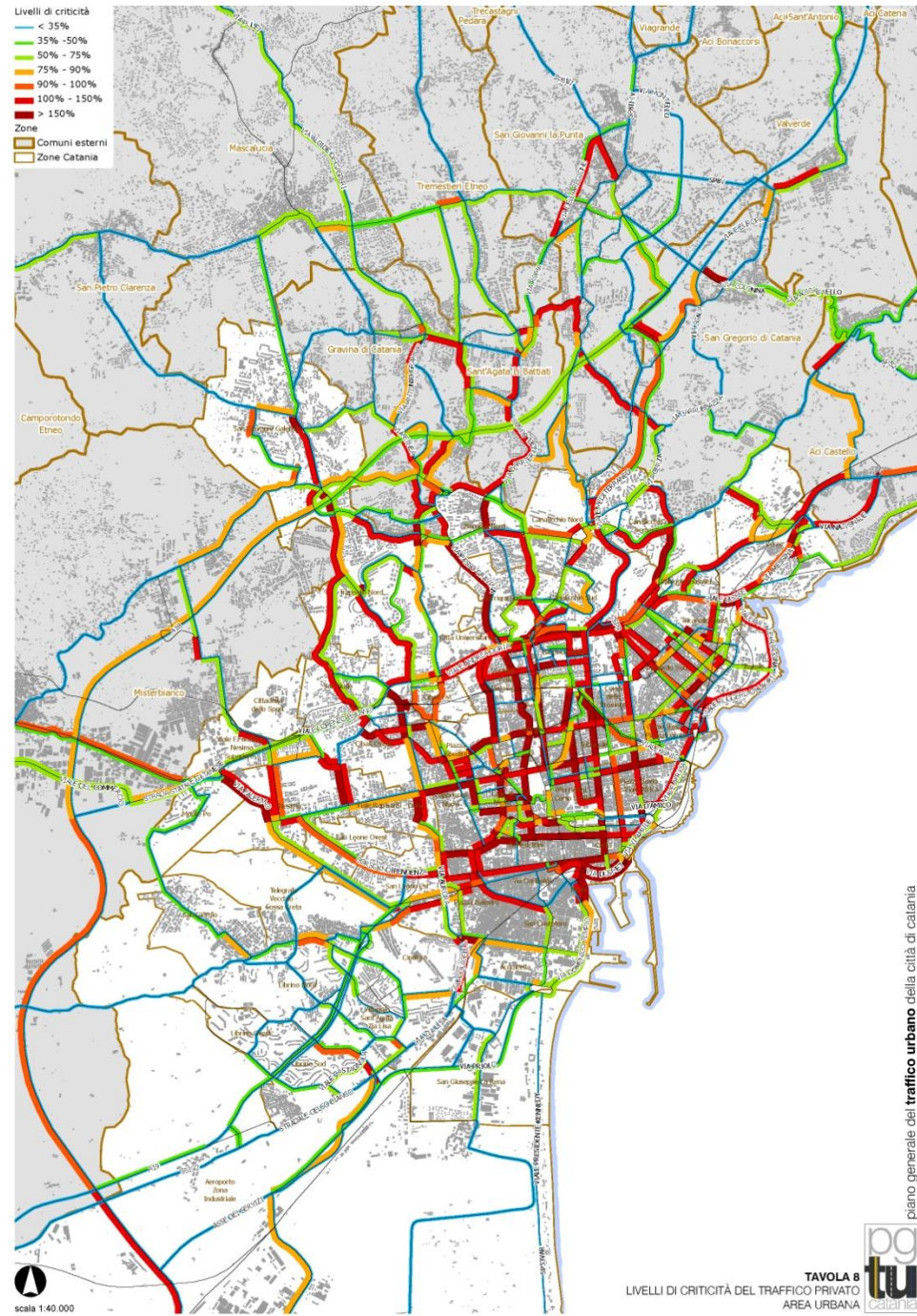
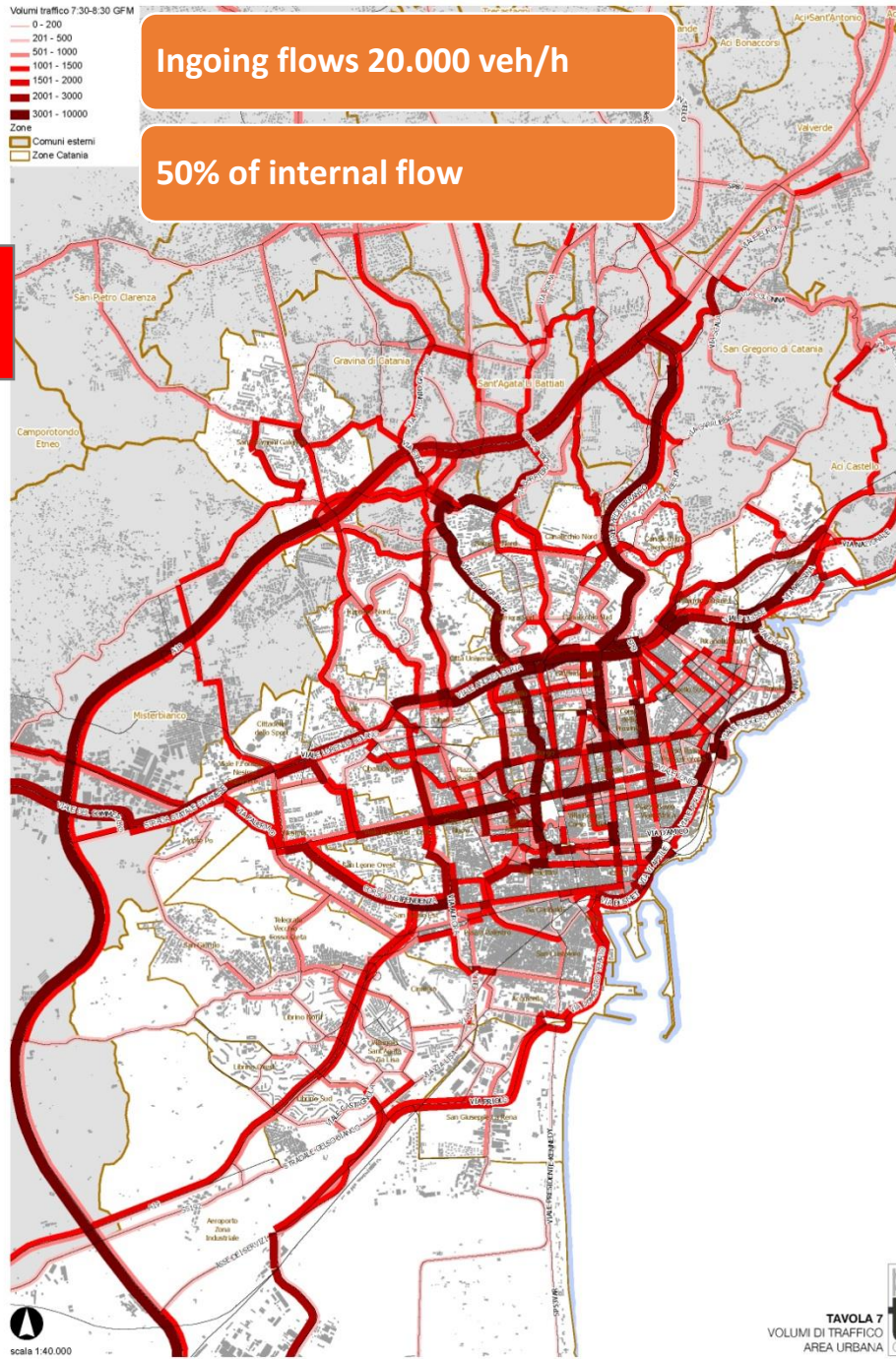


Public transport demand

Car ownership rate (cars per 100 inh.)



Peak hour traffic flow



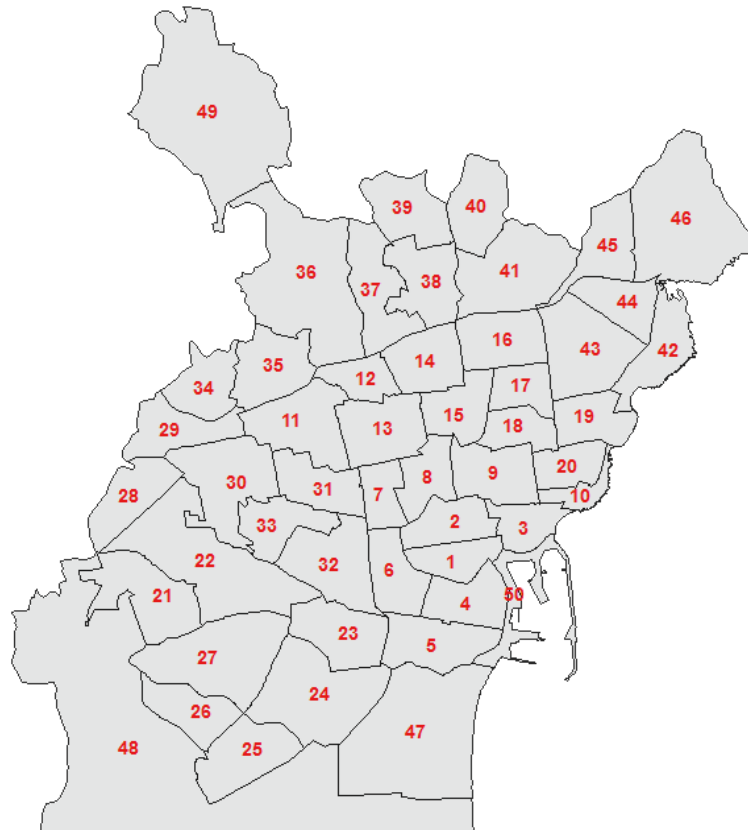
Road capacity saturation

piano generale del traffico urbano della città di catania



Catania Land use Model

Zoning

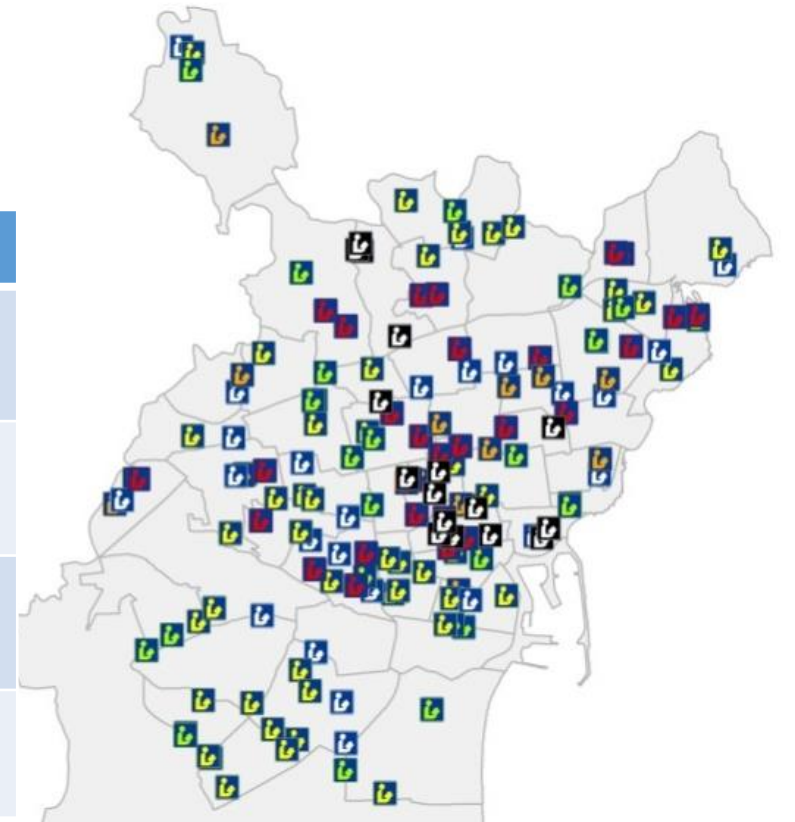


Schools (blue) and university sites (black)

- 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



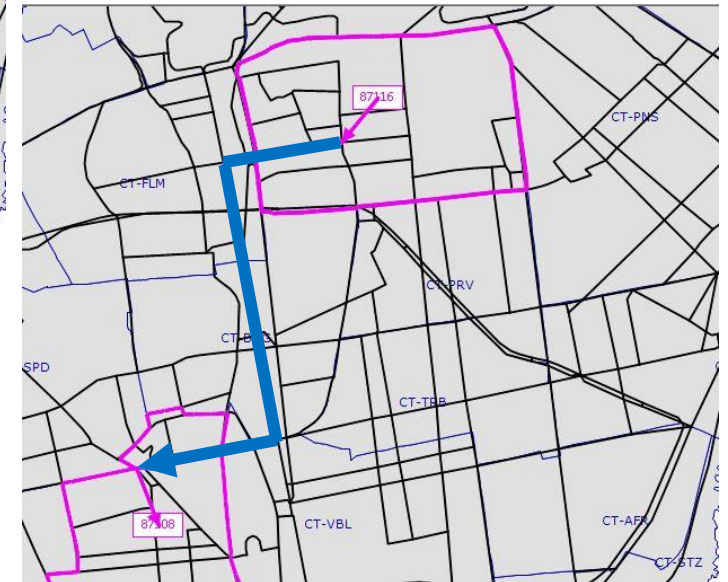
Catania Transport Model

- **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**

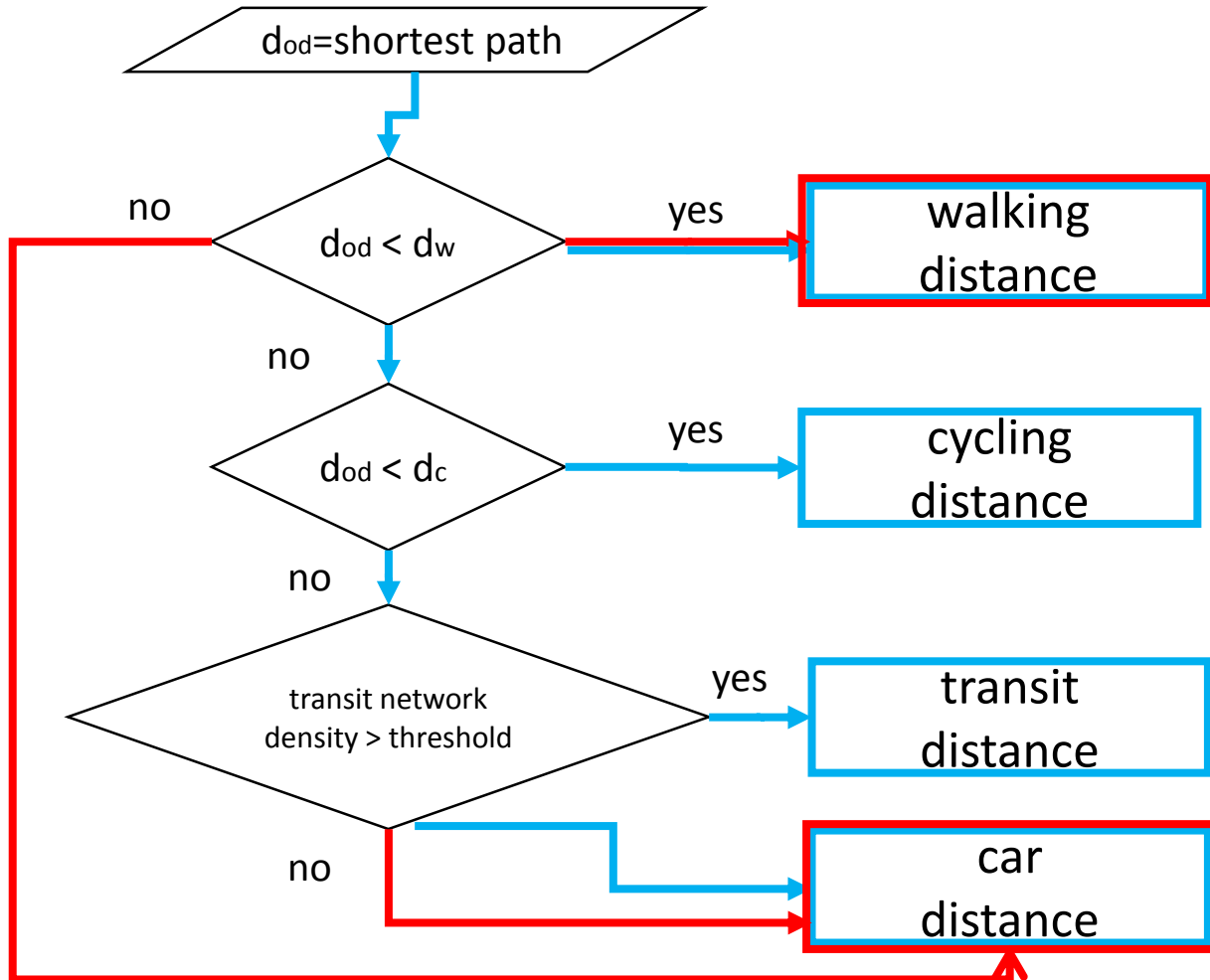
Shortest path by car



Shortest path by transit



Transport mode choice model



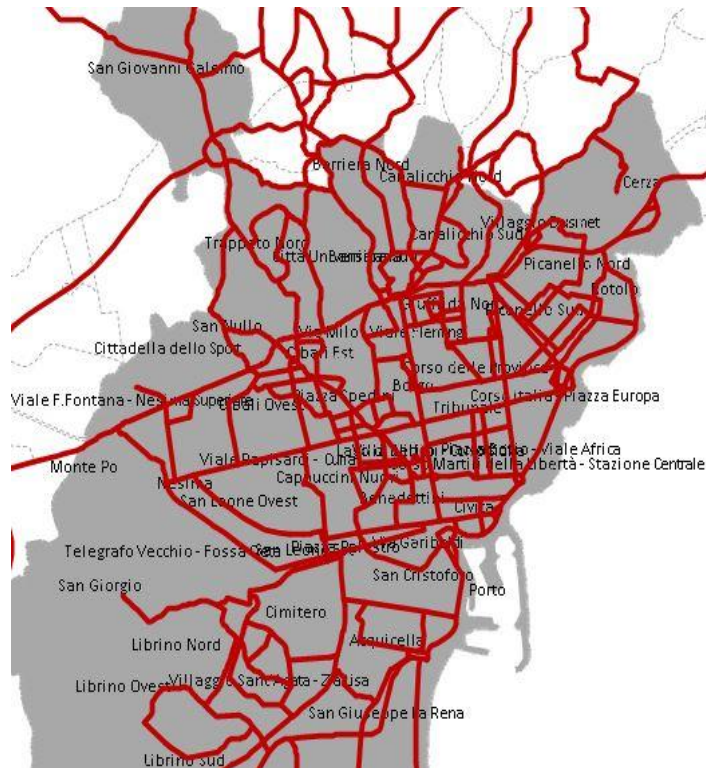
→ Kindergarten and primary school
→ Lower and upper secondary school, university

Choice	Distance	
Walking	<500m	d_{od}
Cycling	<1000m	d_{od}
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 ²)
Regular Bus Transit	300	6.67
Bus Rapid Transit	600	3.30
Metro Transit	800	2.50

Scenario 0 - Reference scenario

Transit network

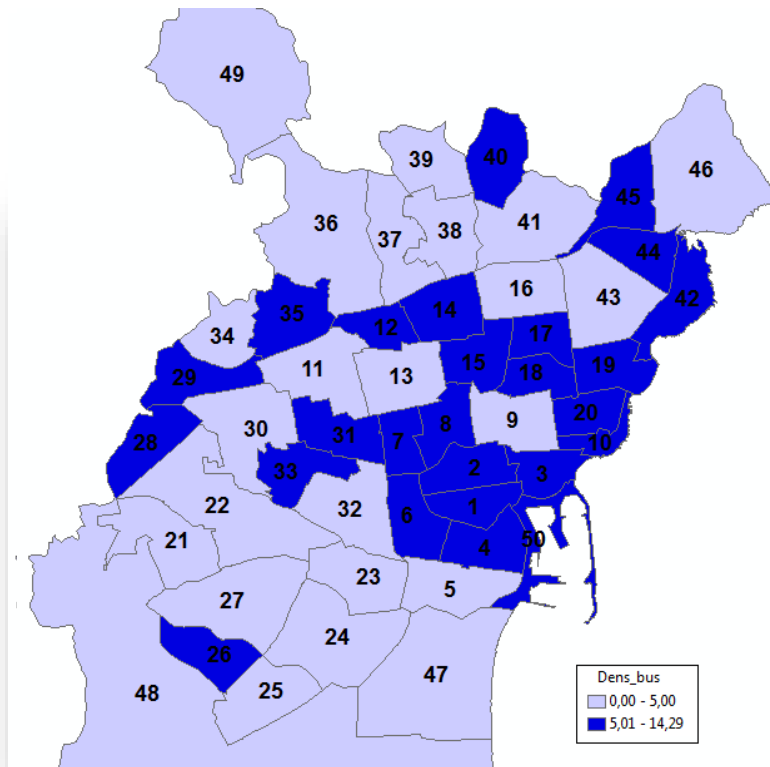


Road network

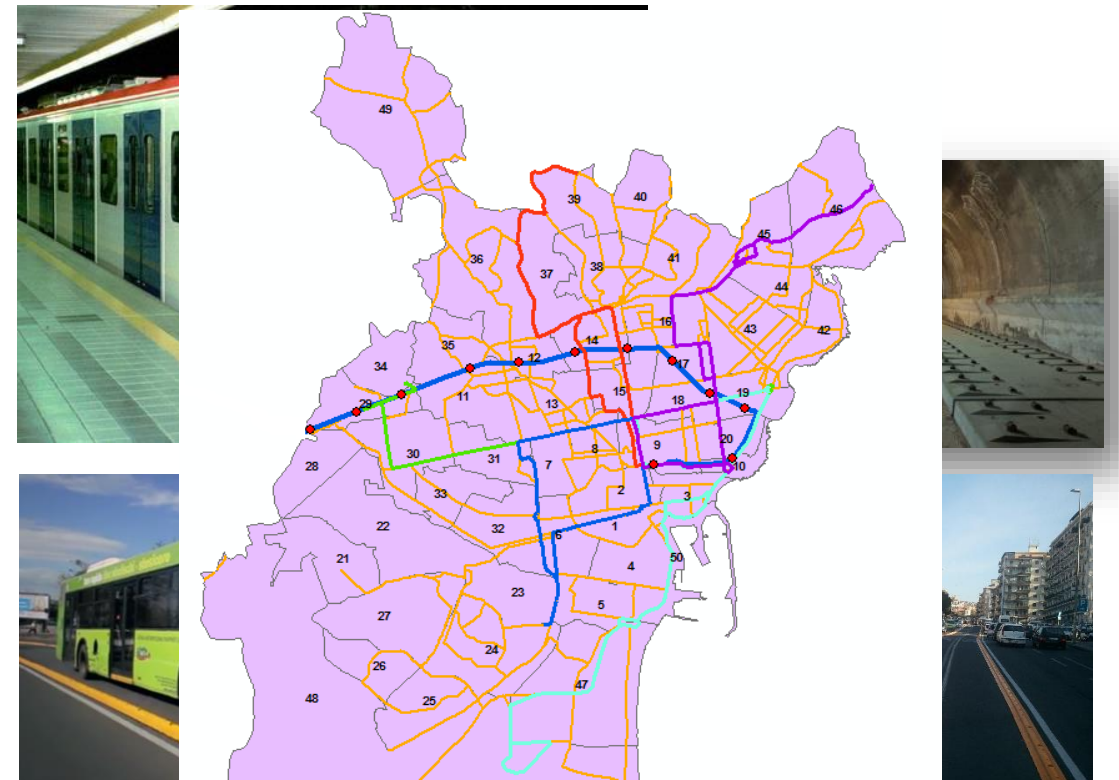


Scenarios 1,2 - Transport Policies

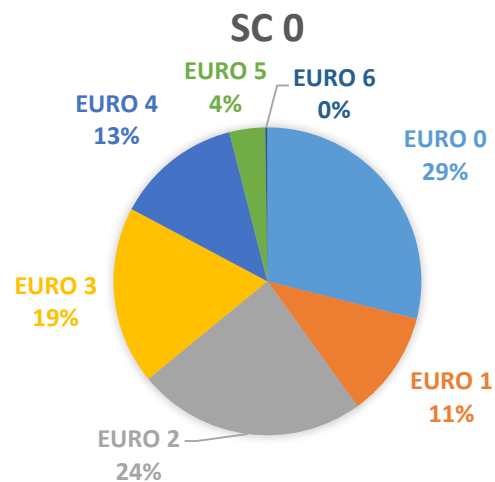
Sc.1: improving walking accessibility to PT



Sc.2: enhancing PT (BRT and Metro)

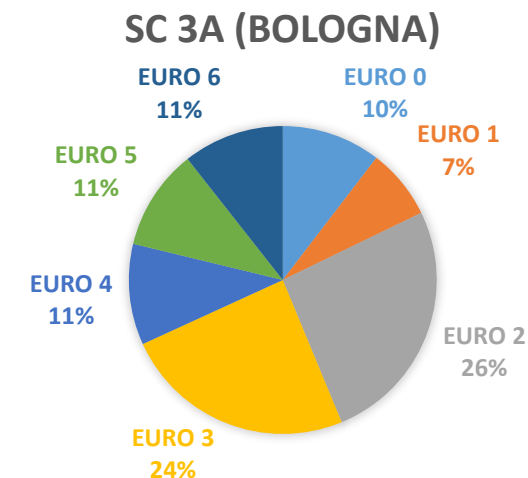


Scenarios 3 - Energy Policies

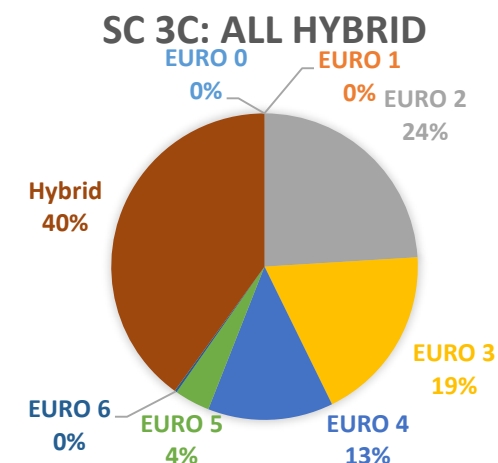
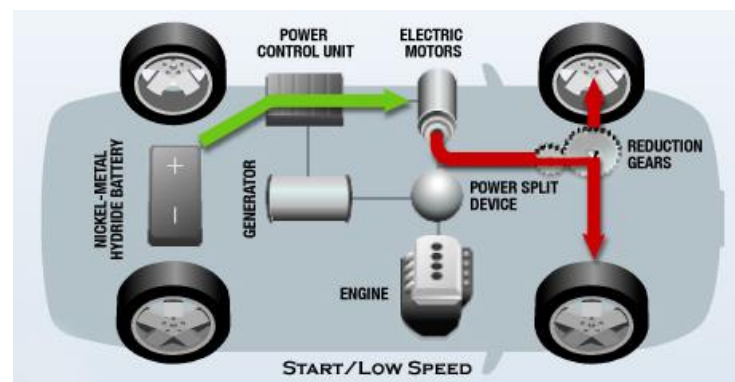
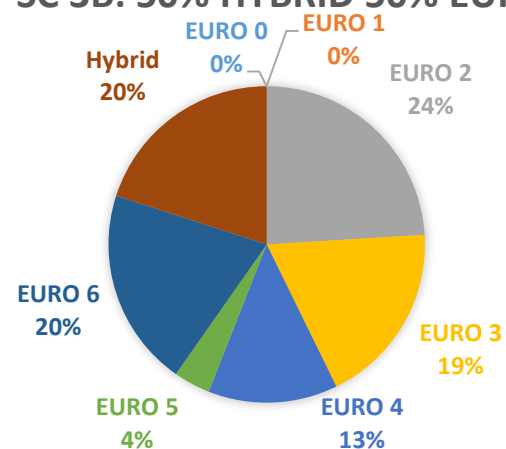


	Composizione del parco autovetture per standard emissivo (valori %)						
	Euro 4 e 5	Euro 3	Euro 2	Euro 1	Euro 0	Altro	Totale
Bari	23,6	25,8	26,2	9,1	15,3	0,0	100
Bologna	31,8	24,4	25,9	7,4	10,4	0,0	100
Cagliari	25,7	24,8	26,2	8,1	15,1	0,1	100
Catania	17,2	18,7	24,0	11,1	28,9	0,1	100
Firenze	31,0	26,7	23,0	6,0	9,3	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

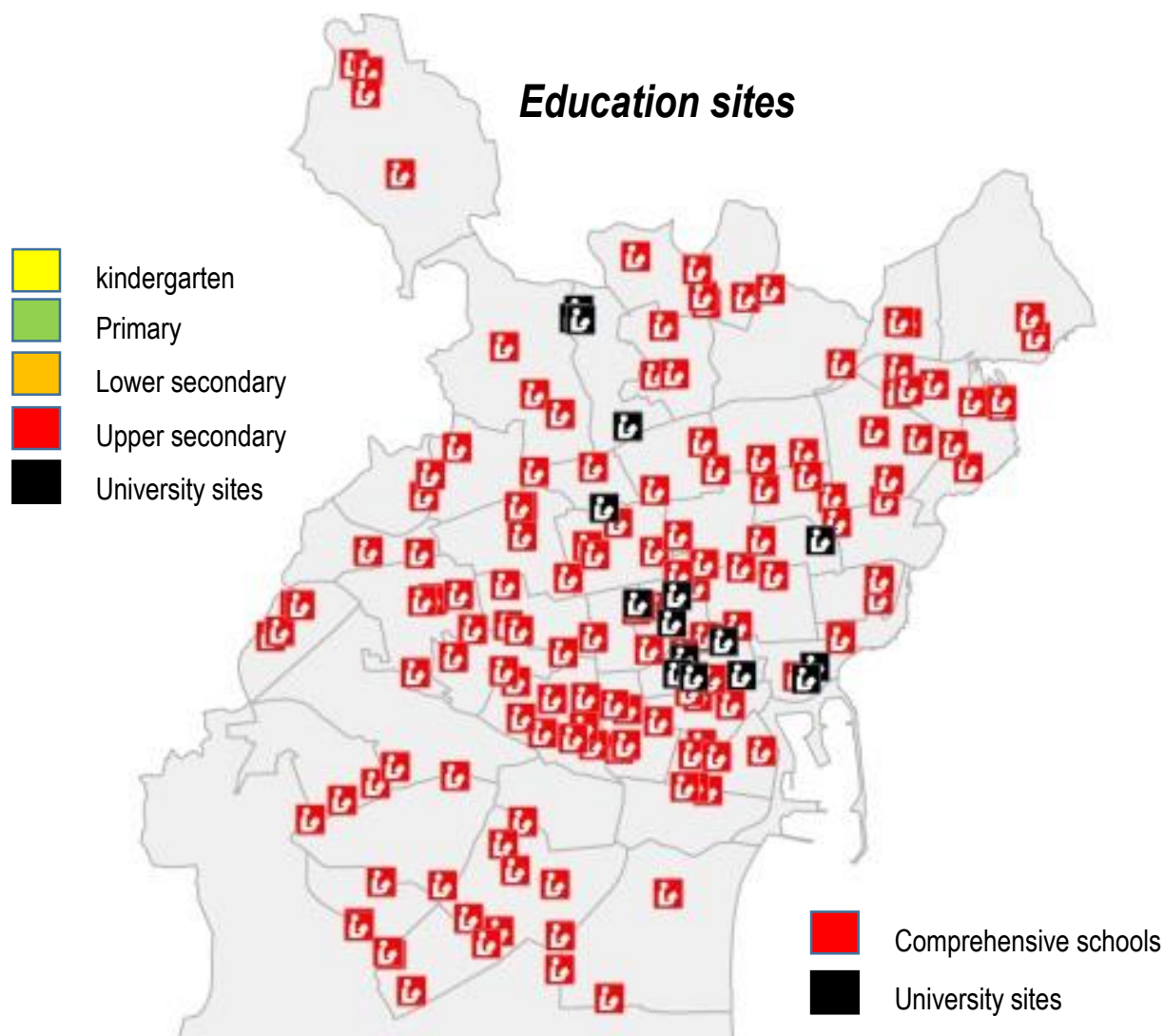
Results

Conclusions



SPATIAL PLANNING AND ENERGY FOR
COMMUNITIES IN ALL LANDSCAPES

Scenarios 4 – Land use Policies



Scenario 5 – 1,2,3c,4 all in one



Research Question

Methodology

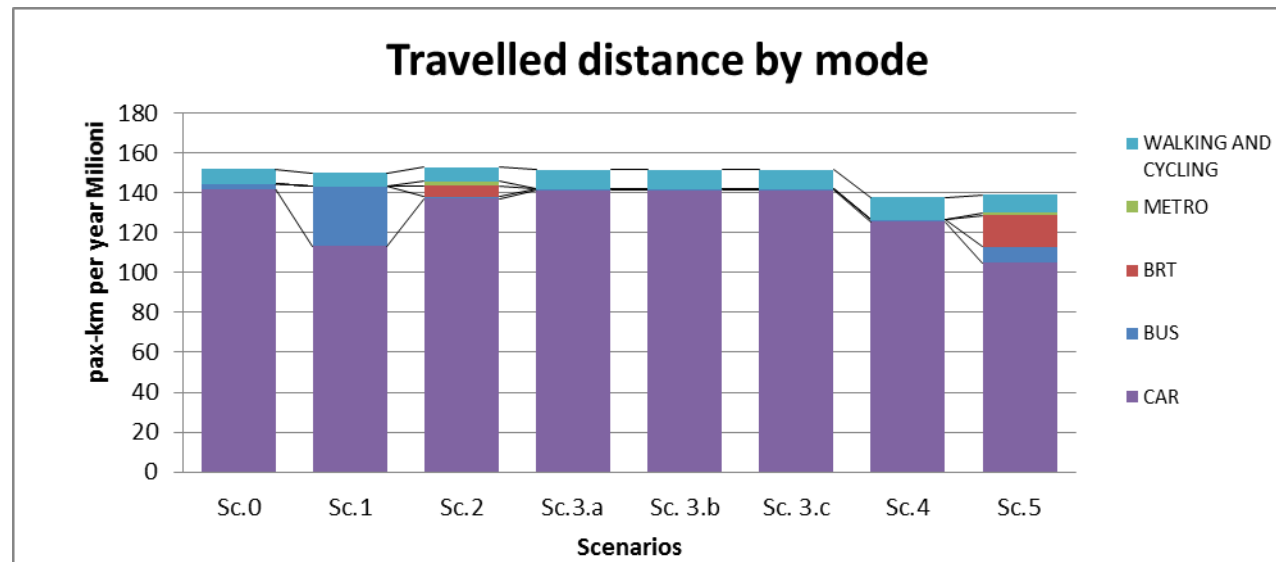
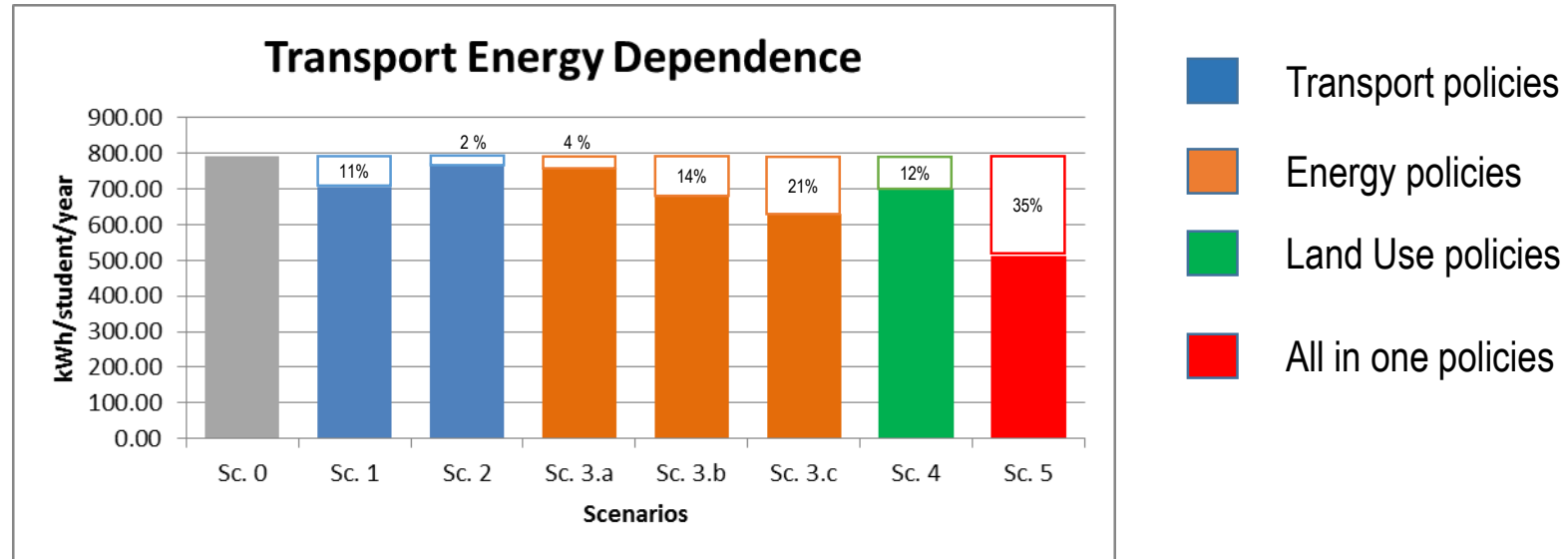
Case Study

Results

Conclusions



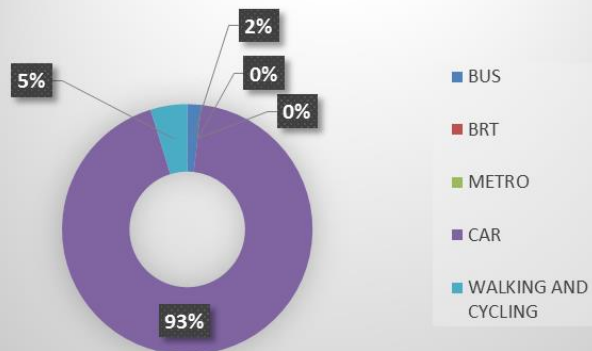
Results (1/3)



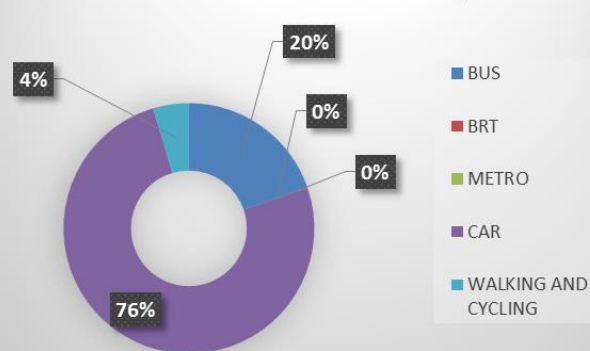
Efficienza energetica per la pianificazione urbana e territoriale

Results (2/3)

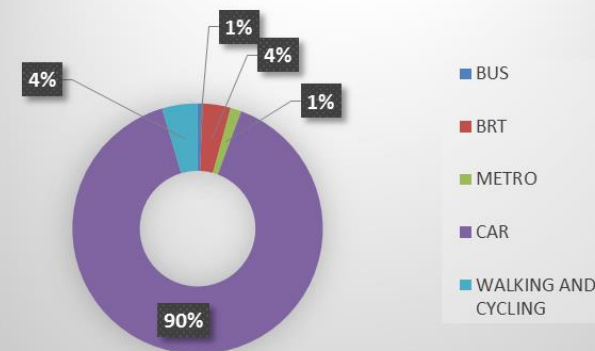
Sc. 0: reference scenario



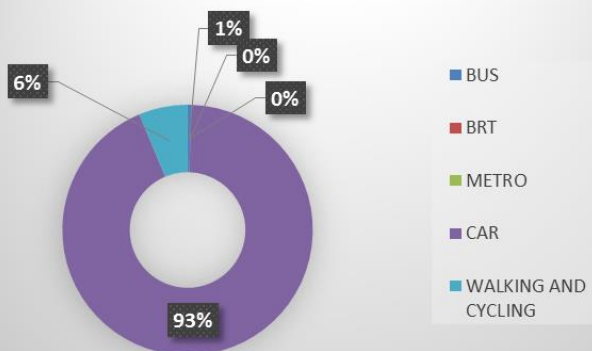
Sc. 1: PT accessibility



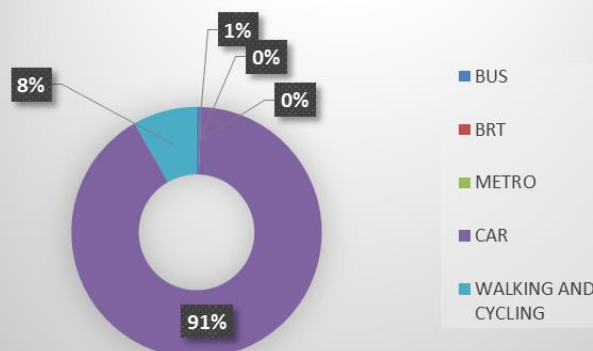
Sc. 2: BRT+Metro



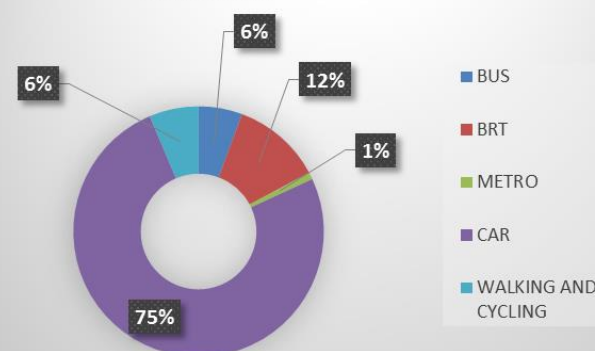
Sc. 3a: no Euro 0 and 1



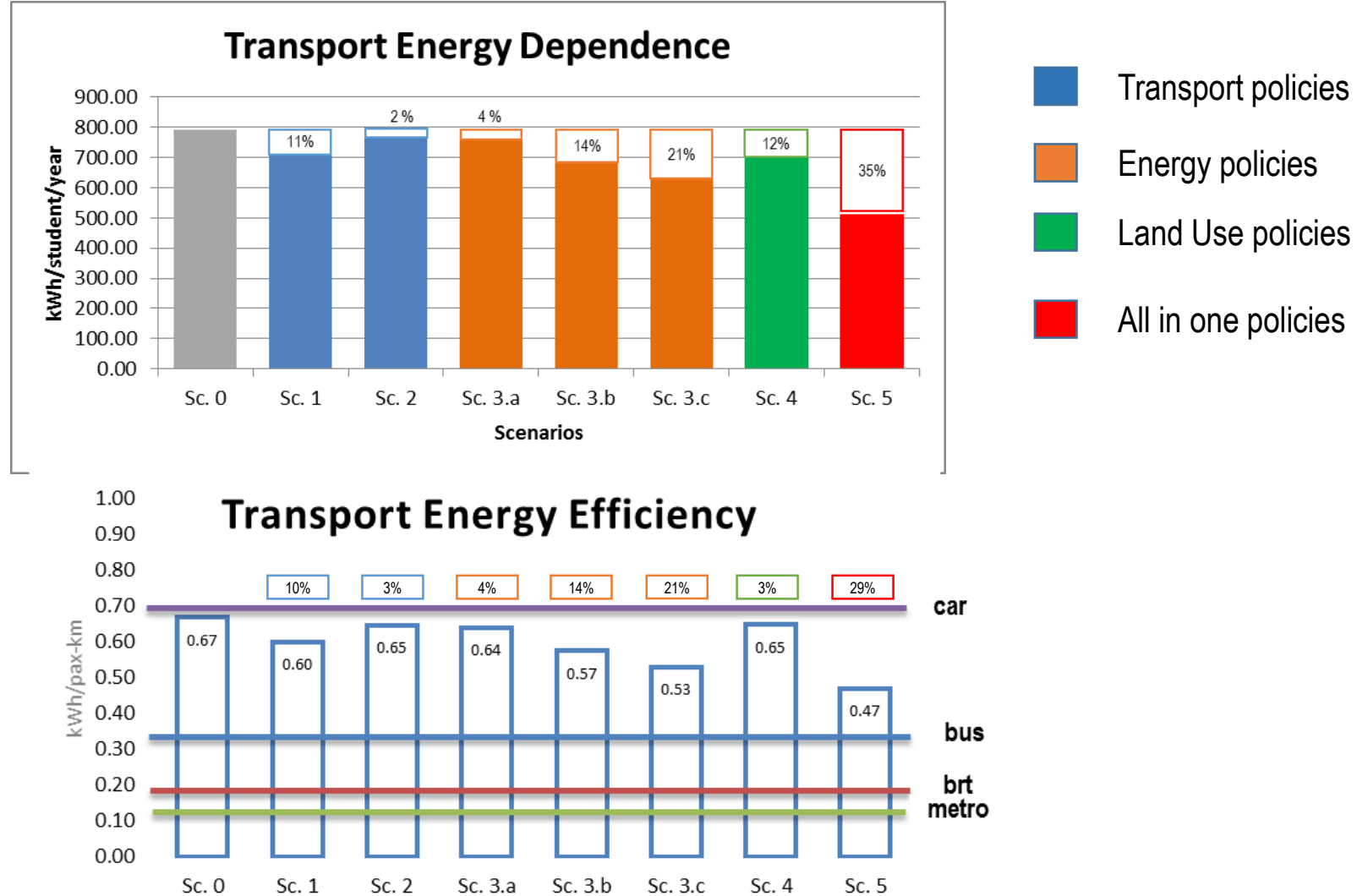
Sc. 4: land use



Sc. 5: all

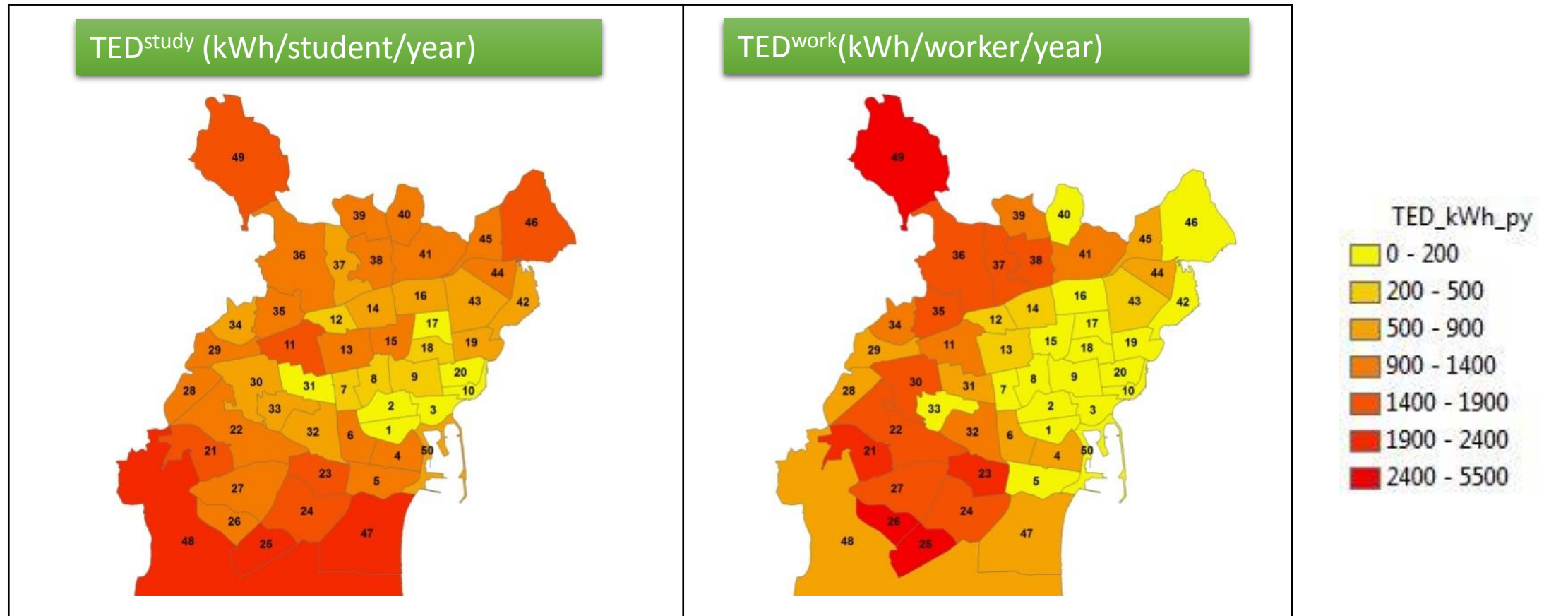


Results (3/3)



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)

