

Considerazioni sulla domanda ed impiego di energia nei sistemi di trasporto / "Considerations on the demand and use of energy in the transport systems"

Original

Considerazioni sulla domanda ed impiego di energia nei sistemi di trasporto / "Considerations on the demand and use of energy in the transport systems" / DALLA CHIARA, Bruno. - In: INGEGNERIA FERROVIARIA. - ISSN 0020-0956. - STAMPA. - LXV:Numero 7-8, Luglio-agosto 2010(2010), pp. 673-685.

Availability:

This version is available at: 11583/2371969 since:

Publisher:

CIFI (Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani)

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)



Considerazioni sulla domanda ed impiego
di energia nei sistemi di trasporto

Considerations on the demand and use
of energy in the transport systems





Considerazioni sulla domanda ed impiego di energia nei sistemi di trasporto

Considerations on the demand and use of energy in the transport systems

Prof. Ing. Bruno DALLA CHIARA()*

1. Introduzione

Con questo articolo s'intendono affrontare i seguenti argomenti di carattere generale sulla domanda e sull'impiego dell'energia nei sistemi di trasporto:

- quanto incidono i sistemi di trasporto nell'uso dell'energia?
- com'è evoluto il consumo energetico nei trasporti?
- quanto incide l'uso dell'energia nei singoli modi di trasporto?
- qual è il coinvolgimento dei Governi nell'uso del petrolio per trazione?
- quali soluzioni si possono prospettare in un'economia che cambia?

2. Quanto incidono i sistemi di trasporto nell'uso dell'energia

Per rispondere sinteticamente alla prima domanda, l'incidenza in Europa (UE-25) dei sistemi di trasporto nell'uso complessivo dell'energia consumata nelle nazioni dell'Unione è risultata pari al 30,7%, secondo Eurostat, nel 2004; tale valore è cresciuto intorno a 31-32% negli anni seguenti [1, 2, 3]. L'incidenza in Europa dei sistemi di trasporto è maggiore di circa dieci punti percentuali rispetto alla media mondiale (stima, 20.42% nel 2003), stante la maggiore mobilità media motorizzata rispetto ad altri continenti [2, 3]. Evidentemente, molti spostamenti su corto raggio sono effettuati - tanto più nei Paesi meno industrialmente sviluppati - mediante una mobilità personale non motorizzata, con energia naturalmente e rapidamente rinnovabile, cioè quella alimentare: anche il petrolio è una fonte energetica rinnovabile, ma in tempi molto estesi.

1. Introduction

This article intends to deal with the following general topics on the demand and use of energy in the transport systems, namely:

- How much do the transport systems impact the use of energy?
- How has energy consumption evolved in transports?
- How much does the use of energy impact within each transport mode?
- What is the involvement of the governments in the use of oil for traction?
- What solutions can be prospected in a changing economy?

2. How much the transport systems impact the use of energy

In order to provide a short reply to the first question, according to Eurostat, the impact in Europe (EU-25) of the transport systems in the overall use of the energy consumed in the EU countries in 2004 resulted to be equal to 30.7%; such value has grown around 31 to 32% in the following years [1, 2, 3]. The impact of the transport systems in Europe is greater by nearly ten per cent points versus the world average (estimate, 20.42% in 2003), on the grounds of the greater motorized average versus other continents [2, 3]. Obviously, many short-range displacements are carried out - mainly in the least industrially developed countries - by individual, not motorized, mobility through a natural, quickly renewable energy, i.e. food; oil is a renewable energy as well, but in a very extended time.

Europe actually shows some variability in the impact of transport consumption versus the overall final values reported for the different countries [4] (fig. 1): from a minimum of approximately 18.73% in 2006 in Finland - i.e. an area characterized by non-urbanized wide green

(*) Politecnico di Torino, Dip. DITIC-Trasporti.

Invero esiste in Europa una certa variabilità dell'incidenza dei consumi dei trasporti rispetto a quelli finali totali nelle singole nazioni [4] (fig. 1): da un minimo di circa 18,73% nel 2006 in Finlandia, nazione caratterizzata da ampie zone verdi e lacustri, non urbanizzate, ad un massimo pari a circa il 59% in Lussemburgo, territorio privo di catene montuose, alquanto antropizzato e con una buona rete viabile, in presenza di poche industrie. In Italia i sistemi di trasporto assorbono indicativamente un terzo dei consumi complessivi (33,82% nel 2006), quota in effetti non marginale.

Il settore dei trasporti è prevalentemente caratterizzato dall'impiego di *veicoli ad uso energetico distribuito*, con l'eccezione - in via generale - dei sistemi di trasporto ad impianto fisso: ferrovie, metropolitane, impianti a fune ed i cosiddetti *automated people mover* [5]; nella gran maggioranza dei casi, come oltre specificato, la combustione della risorsa energetica avviene direttamente sui veicoli, che siano stradali, marittimi, fluviali o aerei; essi includono di regola il serbatoio di combustibile, oltre che il motore.

Tali sistemi di trasporto sono quasi tutti basati su *carburanti di derivazione petrolifera*, le cui alternative presentano limiti importanti; i sistemi di trasporto ad impianto fisso ne sono invece svincolabili, in quanto - com'è noto - utilizzano, tranne che per le trazioni diesel, linee elettriche alimentate da centrali, a prescindere dalla fonte energetica utilizzata per alimentare quest'ultime. Secondo una convinzione diffusa in letteratura, i sistemi di trasporto ad impianto fisso permettono un miglior uso dell'energia, ma occorre pur sempre tenere presente l'energia richiesta per realizzare e mantenere l'infrastruttura con i connessi impianti.

Il settore dei trasporti, il cui ruolo nelle moderne economie post-industriali è divenuto ormai fondamentale, è l'unico settore - rispetto ad industria, abitazioni e servizi - basato pressoché esclusivamente su una sola fonte primaria: il petrolio per l'appunto, indicativamente al 98% in Europa ed al 96% nel Nord America [2]. Gli altri settori, invece, si fondano su un'eterogeneità energetica variegata e non costante nelle diverse aree del mondo, a causa della variabilità della disponibilità di risorse sul territorio, del livello di sviluppo economico e di altri fattori della società, politici ed economici.

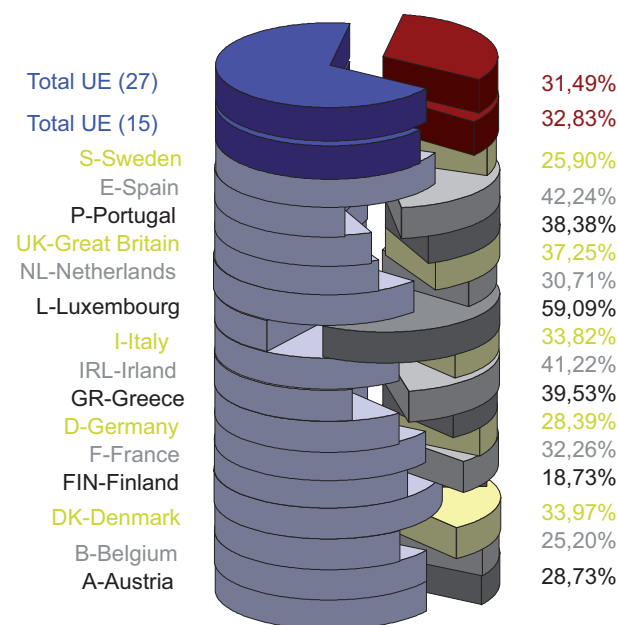
3. Com'è evoluto il consumo energetico nei trasporti

Nell'ambito dei trasporti motorizzati, quello stradale - stando ad alcune pubblicazioni riferite all'UE25 [6, 7, 8, 9, 10] - assume quota percentuale sul consumo totale d'energia (tonnellate equivalenti di petrolio) pari a circa l'82,5%, quindi assolutamente dominante su scala continentale rispetto alle altre modalità [11]; la ferrovia si attesterebbe sotto il 3% circa (tabella 1).

and lake areas - up to a maximum of approximately 59% in Luxembourg, a densely inhabited territory with no mountain ranges and with a good roadway network, with the presence of few factories. In Italy, the transport systems indicatively absorb one third of the overall consumption (33,82% in 2006), i.e. a share which can certainly not be considered as marginal.

The transport field is mainly characterized by the use of *vehicles with distributed energy use*, with the exception - in general terms - of the transport systems operating on fixed installations such as railways, subways, cableways and the so-called *automated people movers* [5]; in the large majority of cases, as it is specified further on, the combustion of the energy resource is developed directly on the vehicles, be they on road, sea, inland waterways or air; besides the engine, they are usually also provided with a fuel tank.

Almost all these transport systems are based upon *oil derived fuel*, and the alternatives are featured by significant limits. On the other hand, the transport systems operating on fixed installations do not strictly depend on it since - as well known - they use, with the exception of Diesel traction, electrical lines supplied by power stations, irrespectively on the energy source used to supply such stations. According to a belief widespread in the literature, the fixed installation transport systems allow better use of energy, but the energy required to develop and maintain the infrastructure with the related installations must always be kept under consideration.



[Fonti: Databook, "Energia e Petrolio in Italia" 2009 dell'Unione Petrolifera; Eurostat]

Fig. 1 - Incidenza dei consumi energetici dei trasporti su quelli finali interni di energia in Europa e relative nazioni, dati 2006. *Impact of the energy consumption of transport on the final domestic consumption in Europe and in the relevant nations, data of 2006.*

TABELLA 1 – TABLE 1

CONSUMO PER MODALITÀ DI TRASPORTO
 NEGLI ANNI 1990 E 2004 IN AMBITO CONTINENTALE,
 IN 1000 TEP. CONSUMPTION BY TRANSPORT MODALITY
 IN 1990 AND 2004,
 IN 1000 TEP OR TOE, TONNE(S) OF OIL EQUIVALENT

| EU-25 | | | | |
|---|--------|--------|---|--|
| Modalità di trasporto <i>Transport modes</i> | 1990 | 2004 | Variazione % <i>Variation (%)</i> 1990-2004 | Quota % sul consumo totale di energia, 2004 <i>Share on the overall energy consumptions, 2004 (%)</i> |
| Strada <i>Road</i> | 227957 | 290013 | 27% | 82.5% |
| Ferrovia <i>Railway</i> | 9125 | 9250 | 1% | 2.6% |
| Aereo <i>Air</i> | 28378 | 47420 | 67% | 13.5% |
| Navigazione interna <i>Inland navigation</i> | 6578 | 5047 | -23% | 1.4% |

[Fonte: Campbell, 2007]

Per cominciare a rispondere alla seconda domanda, si può considerare il parco circolante; nel corso della seconda metà del XX secolo, il numero di autovetture nei paesi europei è andato crescendo in modo continuativo: con andamento moderatamente in aumento dalla seconda metà degli anni '40 alla prima metà degli anni '60 (circa 1.980.000 nel 1960, Italia), in maniera sensibilmente più rapida - in media - negli anni '70 ed '80 (circa 17.700.000 nel 1980, Italia) e, in misura via via decrescente, come incremento, negli anni '90 (fig. 2). Nel nostro Paese il parco circolante ha raggiunto un andamento oggi convergente verso, indicativamente, quarantadue milioni di veicoli; al termine del primo quadriennio del XXI secolo si contavano circa trentatré milioni di autovetture, valore riconducibile orientativamente ai titolari di patente di guida come pure ai potenziali conducenti, tenuto conto della quota di popolazione che non è autorizzata o non è in grado di guidare, per limitazioni d'età, fisiche, psicologiche, economiche o d'altra natura.

Il numero di immatrico-

The transport field, whose role in the modern, post-industrial economies has nowadays become essential, is the only sector - if compared to the manufacturing, housing and service industries - to be almost exclusively based upon a sole primary source, i.e. oil (indicatively, 98% in Europe and 96% in North America [2]). The other sectors, on the other hand, are based upon a mixed heterogeneity of energies, which is not consistent in the different areas of the world, because of the variability of resources available within the territory, of the level of economic development and other social, political and economic factors.

3. How energy consumption has evolved in transports

Within the framework of motor transports, the road one - according to some publications referred to EU25 [6, 7, 8, 9, 10] - involves a percentage share on the overall energy consumption (tons of oil equivalent) of approximately 82,5%, and is therefore absolutely predominant - at continental scale - over the other modalities [11]; railways are estimated below 3% approximately (table 1).

In order to start answering the second question, we need to consider the circulating vehicles; in the second half of the 20th century, the number of cars in the European countries has witnessed continuous growth: a moderately increasing trend from the second half of the nine-

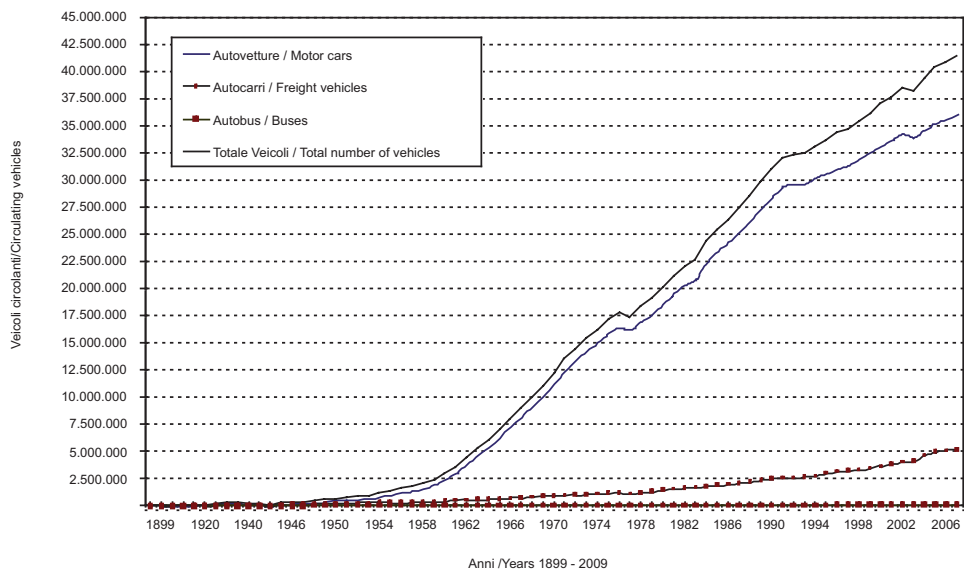
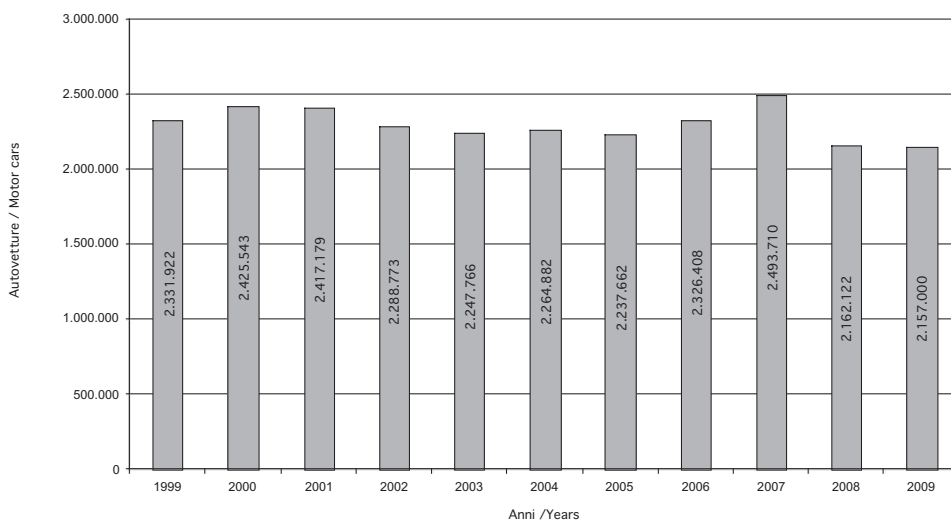


Fig. 2 - Evoluzione dei veicoli leggeri e pesanti in Italia dalla fine dell'800 ad oggi [12; ANFIA, vari anni]. Evolution of the light and heavy-duty vehicles in Italy from the end of the 19th century until today [12; ANFIA, various years].

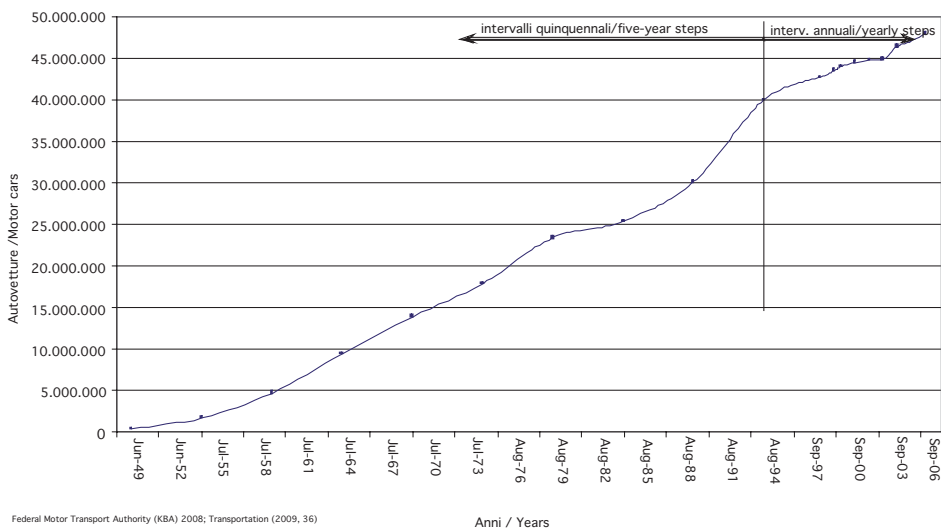
lazioni di veicoli - leggeri e pesanti - in Italia è rimasto circa costante, in linea con quelle degli ultimi 6-7 anni, aggirandosi intorno ai 3 milioni di unità.

Il numero di immatricolazioni di autovetture ha presentato un andamento altalenante attorno ai 2.2-2.4 milioni nell'ultimo decennio (fig. 3).



[Fonti: Unrae ed elaborazione dal Sole 24 ore].

Fig. 3 - Immatricolazioni in Italia di sole autovetture dell'ultimo decennio. Registrations in Italy of cars only in the last decade.



Federal Motor Transport Authority (KBA) 2008; Transportation (2009, 36)

[Fonte: Federal Motor Transport Authority (KBA) 2008; Transportation (2009, 36)].

Fig. 4 - Autovetture circolanti in Germania dal 1950 al 2007. Motor cars circulating in Germany since 1950 until 2007.

La situazione negli altri principali Paesi europei è indicativamente analoga. Ad ulteriore esempio si riporta il caso della Germania (fig. 4), con riferimento all'intero territorio tedesco, tenendo presente che il segmento verticale separa dati quinquennali sulla sinistra da dati an-

teen forties to the first half of the nineteen sixties (approximately 1,980,000 in 1960, Italy), and then a significantly faster one - as an average - in the nineteen seventies and eighties (approximately 17,700,000 in 1980, Italy), which would then progressively decrease, in terms of growth, in the nineteen nineties (fig. 2). In our country, the circulating fleet has now reached a trend which converges towards - indicatively - forty-two million vehicles; at the end of the first four years of the 21st century, approximately 33,000,000 million cars were counted, a value which can be indicatively derived from the owners of a driving licence as well as to the potential drivers, taking into consideration the share of the population which is not authorized to drive or is not able to drive because of age, physical, psychological, economic limits and the like.

The number of light and heavy-duty vehicle registrations in Italy has remained approximately consistent with the one of the last 6 to 7 years, i.e. approximately 3 million units.

In the last decade, the number of car registrations has shown an oscillating trend around 2.2 to 2.4 million (fig. 3).

The status in the other main European countries is indicatively the same. As a further example, we report the case of Germany (fig. 4), as referred to its whole territory, taking into account that the vertical segment separates the five-year data (on the LH side) from the yearly ones (on the RH side); the reduction of the growth since the second half of the nineteen nineties is in any case obvious [13].

However, if the scenario of the circulating fleet in the European countries, which is obviously not exhaustive as related to the issue of energy consumption, shows a trend towards market saturation, the conditions are far different when we observe the world panorama; from an estimate of

nuali sulla destra; in ogni caso, è evidente la riduzione della crescita dalla seconda metà degli anni novanta [13].

Tuttavia, se il panorama del parco circolante - che non è ovviamente esaustivo del problema del consumo energetico - nei paesi Europei mostra una tendenza alla saturazione del mercato, ben diverso è il quadro se si osserva il panorama mondiale; dagli stimati 216.608.470 veicoli del 1968 (169.994.128 autovetture, 46.614.342 veicoli pesanti), si è passati ai circa 484.000.000 nel 1985 (375.000.000 autovetture, 109.000.000 veicoli pesanti) e circa 671.358.000 nel 1996 (485.954.000 autovetture, 185.404.000 veicoli pesanti). Oggi, però, nell'ambito di 806 milioni di veicoli circolanti (2007/08), circa 176,5 milioni risultano solo in Cina (da Ministero competente, 2008), dato che rappresenta circa il 21% del parco circolante al mondo (fig. 5, [1, 4]).

Per arrivare ai consumi, occorrerebbe anche esaminare l'uso che le persone fanno di tale parco circolante, connesso sia alla percorrenza media per autoveicolo sia al relativo tasso di occupazione. Tuttavia, questo valore si può conoscere in Italia dai dati relativi all'evoluzione dei consumi di benzina e gasolio per auto-trazione; l'evoluzione è crescente e mostra una contrazione negli ultimi anni (fig. 6, [4]).

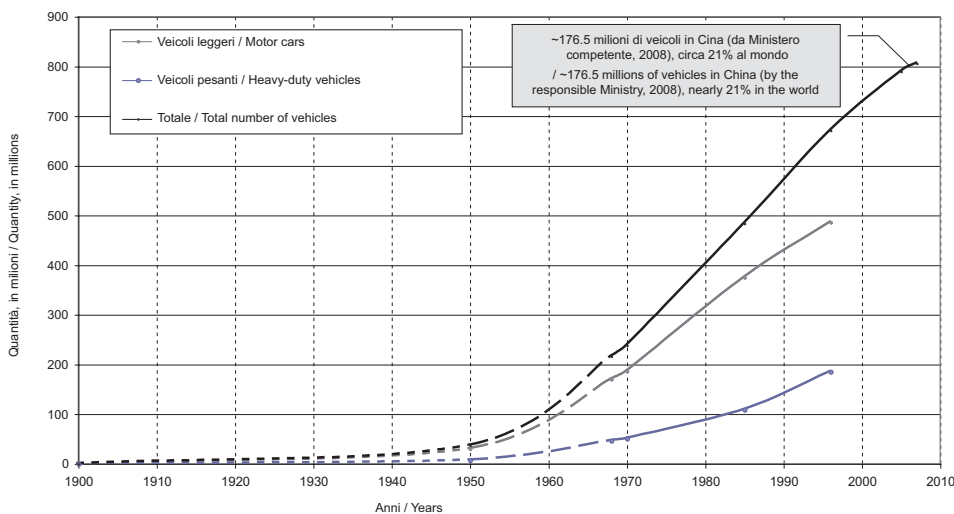
I consumi di benzina e gasolio in Italia sono risultati, nel 2005:

- circa 18 miliardi e 766 milioni di litri di benzina;
- circa 29 miliardi e 85 milioni di litri di gasolio;
- circa 47 miliardi e 851 milioni di litri, in totale.

Il consumo di gasolio è decisamente più alto di quello della benzina, nonostante il numero di veicoli in Italia alimentati a benzina sia circa doppio; due sono i motivi principali, parzialmente evidenti:

- la percorrenza media annua dei veicoli a gasolio rispetto a quelli alimentati a benzina è decisamente superiore;
- circa il 91% degli automezzi per trasporto merci è alimentato a gasolio; questi percorrono notoriamente distanze annue elevate ed hanno un consumo più alto delle autovetture.

Un possibile allarme arriva però dall'osservazione del-



[Fonti: varie, Databook Energia e Petrolio 2009, The Physics Factbook, World motor vehicle market report, 2010]

Fig. 5 - Veicoli circolanti nel mondo: andamento approssimato sulla base di pochi punti noti e stimate da varie fonti. Vehicles circulating in the world: approximate trend on the basis of few known data and estimates from different sources.

216,608,470 vehicles in 1968 (169,994,128 cars, 46,614,342 heavy-duty vehicles), we have passed to approximately 484,000,000 in 1985 (375,000,000 cars, 109,000,000 heavy-duty vehicles) and to approximately 671,358,000 in 1996 (485,954,000 cars, 185,404,000 heavy-duty vehicles). Nowadays, however, approximately 176.5 million circulating vehicles out of the 806 million ones in the whole world (2007/08), are circulating in the sole China (from the competent Ministry, 2008), a datum which represents approximately 21% of the circulating fleet the world over (fig. 5, [1, 4]).

To define consumption, we should also examine the use people make of such circulating fleet, which is connected to both the average distance covered and relevant occupancy rate. Nevertheless, this value can be known in Italy from the data related to the evolution in the consumption of petrol and gas oil for automotive traction; the evolution is growing and shows a contraction in the last few years (fig. 6, [4]).

The consumption of petrol and gas-oil in Italy in 2005 resulted to be as follows:

- approximately 18 billion 766 million litres of petrol;
- approximately 29 billion 85 million litres of gas oil;
- i.e. a total of approximately 47 billion 851 million litres.

The consumption of gas oil is remarkably higher than the one of petrol, in spite of the fact that the number of petrol vehicles in Italy is in the order of the double, because of two partially obvious reasons:

- The average yearly distance covered by the gas-oil vehicles versus the petrol ones is definitely higher;
- Approximately 91% of the freight vehicles are fuelled

l'evoluzione dei consumi in Cina ed India (fig. 7). Se si considera soprattutto la Cina, si nota un dilagare del consumo di petrolio: infatti, nel giro di quarant'anni si è passati da 11 milioni di tonnellate circa all'anno (1965) ad addirittura 327 milioni circa nell'anno 2005 [1]: un incremento del 2900% di consumo, mediamente un aumento del 72,5% ogni anno. Stesso discorso vale per l'India, nazione che ha fatto registrare, nello stesso arco temporale, un aumento del 900% circa.

Dato possibilmente più preoccupante è tuttavia quello che riguarda il futuro [14]: i due Stati presentano una popolazione complessiva di circa 2,5 miliardi di persone, dato che confrontato con quello dell'Europa è sicuramente motivo di riflessione: la popolazione europea sfiora gli 800 milioni di abitanti, quindi un terzo della popolazione complessiva cinese ed indiana.

Quindi, se in futuro - così come si può prevedere oggi - India e Cina arrivassero ad uno sviluppo ed industrializzazione media pari a quella europea - sia dal punto di vi-

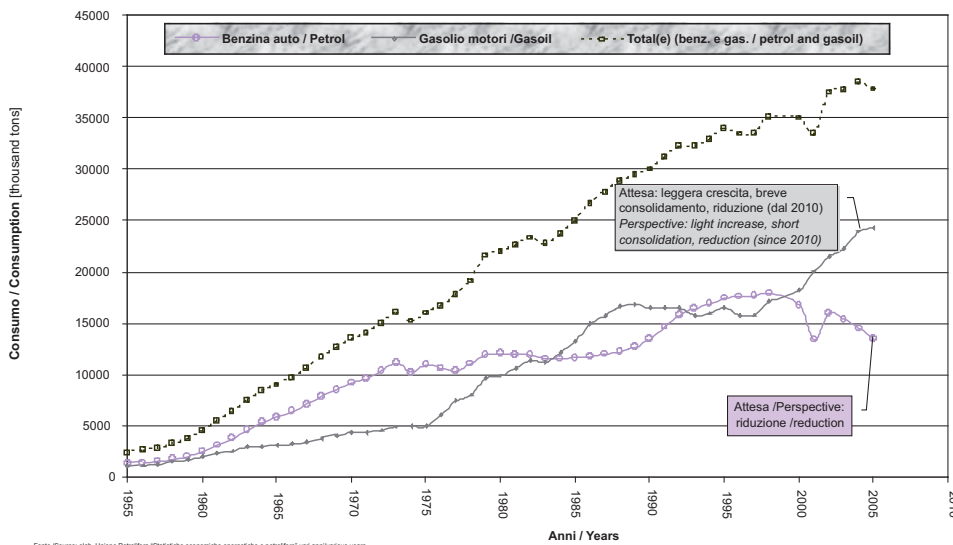


Fig. 6 - Evoluzione dei consumi di benzina e gasolio per auto-trazione, Italia, dal 1955 al 2008 in migliaia di tonnellate. Evolution in the consumption of petrol and gas oil for automotive traction, Italy, since 1955 until 2008, in thousand tons.

by gas oil; as well known, they cover long distances throughout the year, and their consumption is higher than the one of cars.

However, some alert may arise when observing the evolution of consumption in China and India (fig. 7). If we consider China in particular, we can observe a spreading of oil consumption: in 40 years, consumption moved from approximately 11 million tons per year (1965) to up to approximately 327 million in 2005 [1]: a 2,900% increment in consumption for an average increase of something like 72.5% every year. The same considerations concern India, a country which has recorded an increase of approximately 900% within the same time-frame.

However, more worrisome data concern the future [14]: the two States record an overall population of approximately 2.5 billion people, a datum which certainly raises grounds for reflections if compared to the one of Europe: the European population is of approximately 800 million inhabitants, i.e. one third of the overall population of China and India.

Subsequently, if - as it can be expected today - India and China reached an average level of development and industrialization equal to the European one, as related to both actual industrialization and in the subsequent development of transport - the conditions might come to a head,

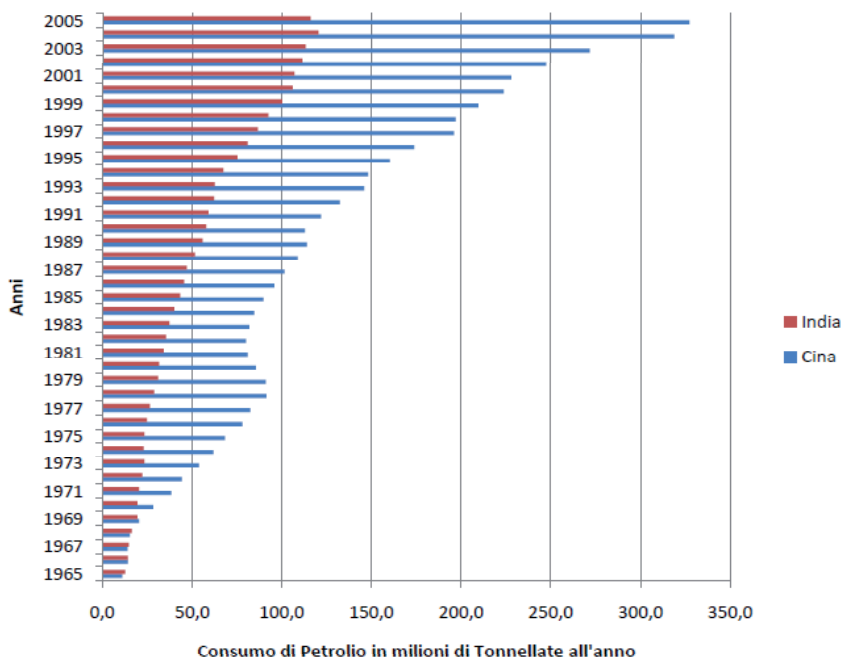
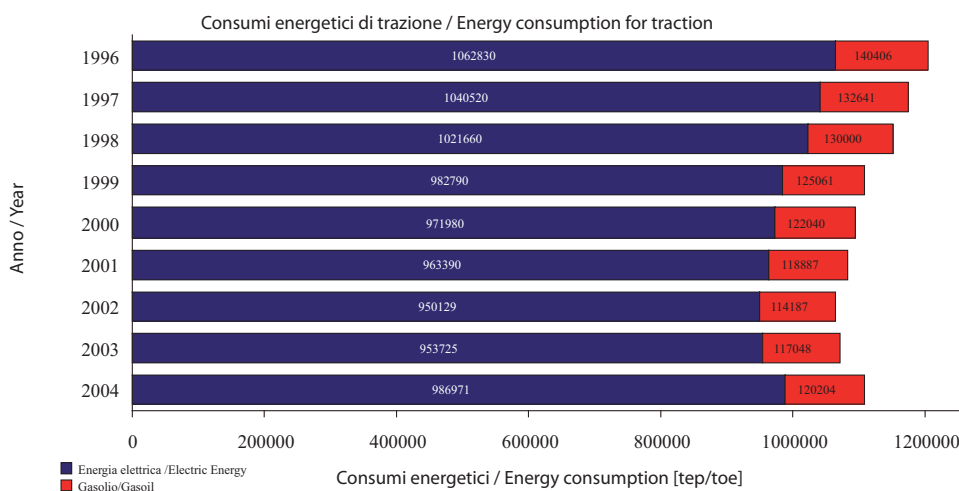


Fig. 7 - Serie storica del consumo di petrolio in India e Cina. Historical series in the consumption of oil in India and China [tons/year]

sta industriale vero e proprio sia da quello conseguente dei trasporti - la situazione potrebbe precipitare perché la richiesta di petrolio di questi Paesi potrà salire in modo precipitoso, con conseguente ipotizzabile aumento a livello mondiale del prezzo di vendita, a meno - certamente - di risorse alternative fortemente competitive; questo è quanto sta già succedendo, ma il fenomeno potrebbe evolvere nei prossimi anni.

Quanto al trasporto ferroviario [15], i valori di consumo si attestano in Italia attorno a circa un milione di tep (fig. 8), valore che si può ritenere congruente con quello riportato in tabella 1.



[Fonte: TRENITALIA (2005); Rapporto Ambientale 2005]

Fig. 8 - Consumi energetici negli ultimi anni. Energy consumption in the last few years.

I paragrafi precedenti hanno sinteticamente illustrato, di fatto, l'evoluzione dell'incidenza del consumo energetico dei trasporti sul consumo totale, l'evoluzione del consumo energetico assoluto per alcune modalità, non però il mutamento del consumo inteso come rendimento del sistema: la questione del rendimento, che negli ultimi anni ha mostrato un miglioramento consistente, è stata solo trattata qualitativamente e viene indicata successivamente con esempi di possibili evoluzioni tecniche o scientifiche, ciascuna delle quali merita memoria a sé.

4. Quanto incide l'uso dell'energia nei singoli modi di trasporto

Per passare alla terza domanda, l'incidenza dei consumi energetici nel trasporto stradale è quanto mai variabile, stante anche l'utilizzo di veicoli da due a dieci o più ruote; a titolo d'esempio si può citare, nel 2008, un'incidenza eccezionale del consumo energetico sul costo d'esercizio del trasporto merci, quindi riferito ad automezzi pesanti, pari a circa il 30-35%.

Se osserviamo invece l'incidenza sul costo d'esercizio

since the demand of oil in these Countries might grow at a very fast rate, with an expectable subsequent increase in the sale price except - of course - in case of strongly competitive alternative resources. This phenomenon is already in progress, but it might evolve in the forthcoming years.

As far as railway transport [15] is concerned, the consumption values in Italy are recorded around approximately one million toe (fig. 8), a value which can be considered consistent to the one reported in table 1.

The previous paragraphs have outlined the evolution of the impact of energy consumption for transport as related to the overall figure, the evolution of absolute energy consumption for some modes, but not the evolution in consumption meant as performance of the systems: this issue, which has shown a remarkably high evolution in the last few years, has been dealt with on the sole quality point of view and shall be mentioned further on with examples of viable technical or scientific evolutions, each of which should deserve to be treated separately.

4. How much the use of energy impacts the different transport modes

The impact of energy consumption in road transport is extremely variable also because of the use of vehicles from 2 up to 10 and more wheels; as an example we can mention - in 2008 - an exceptional impact of energy consumption on the running cost of freight - i.e. referred to heavy-duty means - equally to approximately 30 to 35%.

If we observe, on the other hand, the impact on the running cost of energy consumption in railways, subways and tramways, some indicative data - similar to one another - appear:

- ~4-5%, indicatively, for the Italian railways, on the overall running cost, according to some recent, unofficial data;
- ~11% for ATM in Milan, taken as an example, as energy cost on the 2009 budget, approximately 50% (5.3%) for rail systems and subway in the specific case (official data of 2009);
- ~6% as energy impact on the budget in case of the traction for the VAL automated metro in Turin, plus an equivalent value for other electric power supply means (indicative data of 2009).

It is unmistakable that, in case of urban traction, the

dei consumi energetici nelle ferrovie, metropolitane e tramvie, emergono alcuni dati indicativi e tra loro similari:

- ~4-5%, indicativamente, per le ferrovie italiane, sui costi d'esercizio complessivi, da dati recenti non ufficiali;
- ~11% per l'ATM di Milano, presa a titolo d'esempio, come costi energetici sul bilancio di esercizio del 2009, dei quali circa il 50% (5,3%) per gli impianti fissi, tram e metropolitana nella fattispecie (dati ufficiali, 2009);
- ~6% come incidenza energetica sul bilancio d'esercizio nel caso della trazione della metropolitana VAL di Torino, più un valore equipollente per altre alimentazioni elettriche (dati indicativi, 2009).

E' chiaro come nel caso di una trazione urbana i maggiori cicli d'accelerazione e frenatura portino ad una maggiore incidenza dei consumi energetici rispetto al caso d'una trazione di media e lunga percorrenza, come capita nell'esercizio ferroviario nazionale; tale incidenza è ancora più evidente nel caso di un'elevata accelerazione e frenatura rispetto alle metropolitane classiche, come capita nella metropolitana a guida automatica di Torino.

Il sistema di trasporto ferroviario si è dato degli obiettivi negli ultimi anni [16] nell'ambito dei consumi e dell'efficienza energetica, anche formalmente; esempi di interventi di natura tecnica maggiormente perseguiti in tempi recenti sono:

- a) il recupero energetico in frenatura, da usare nell'immediato combinando l'energia recuperabile in fase di rallentamento non naturale per l'accelerazione di veicoli in zone limitrofe o per la ricarica di batterie⁽¹⁾;
- b) l'ottimizzazione della velocità da seguire;
- c) il migliore rendimento, soprattutto per l'alimentazione ed il recupero;
- d) la riduzione delle masse laddove possibile;
- e) l'utilizzo di materiali innovativi nelle ruote;
- f) il miglioramento dell'aerodinamica del materiale rotabile;
- g) l'uso di supercondensatori nella trazione pesante;
- h) l'installazione di impianti fotovoltaici su fabbricati e pensiline della rete ferroviaria;
- i) l'impiego di sonde geotermiche;
- j) l'uso di barriere fotovoltaiche;
- k) il condizionamento ambientale in funzione dei passeggeri effettivamente trasportati in un determinato momento.

In Europa e nei paesi più industrialmente sviluppati si è assistito, negli ultimi decenni, ad un'espansione del traspor-

more frequent acceleration and braking phases lead to a greater impact of energy consumption versus the case of medium to long distance traction, as it is the case of the national railway service; such impact is even more obvious in case of high acceleration and braking in comparison with the conventional subways, as it is the case in the automatically driven metro of Turin.

In the last few years, the railway transport system has set itself objectives [16] as related to consumption and energy efficiency, also on a formal point of view; examples of technical actions which have been mainly pursued in recent times are:

- a) energy recovery in braking, to be utilized immediately by combining the energy which can be recovered, when in non natural slowing down, for the acceleration of vehicles in neighbouring areas or to recharge the batteries⁽¹⁾;
- b) optimisation of the speed to be followed;
- c) better performance and efficiency, mainly for power supply and recovery;
- d) reduction of masses wherever viable;
- e) use of innovative materials in wheels;
- f) improve in the aerodynamics of the rolling stock;
- g) use of double-layer capacitors in heavy-duty traction;
- h) installation of photo-voltaic systems on buildings and railway sheltered stops;
- i) use of geothermal probes;
- j) use of photo-voltaic barriers;
- k) air conditioning of the environment tuned to the number of passengers who are actually transported at a given moment.

In the last decades, Europe as well as the most industrially developed countries witnessed an expansion of air transport, mainly as related to passengers.

As related to such modality, IATA (*International Air Transport Association*) measured the impact of the cost of fuel on the airline activities, identifying that:

- It represented 14% of the overall cost in 2003;
- The impact grew up to 29% in 2007;
- A new increment up to 32% was witnessed in 2008 (fig. 9).

It is worth reminding, nevertheless, the contextual increment of the cost of oil per barrel.

ATA (*Air Transport Association*), which represents the main airlines of the United States, has declared that the cost of fuel influences the air fare by approximately 40% (2008). Unlike the other modalities, air transport is the sole one for which, at present, there are no alternatives to

⁽¹⁾ Nel caso di batterie per veicoli stradali, l'energia recuperata in frenatura può essere resa disponibile presso aree di sosta destinate allo scambio modale.

⁽¹⁾ In case of batteries for road vehicles, the energy recovered in braking can be made available at the park-and-ride areas.

to aereo, in modo fortemente prevalente per i passeggeri.

Quanto a tale modalità, la IATA (*International Air Transport Association*) ha misurato l'incidenza del costo del carburante sulle attività delle linee aeree, individuando che:

- nel 2003 rappresentava il 14% dei costi totali;
- nel 2007 l'incidenza è salita al 29%;
- nel 2008 un nuovo incremento fino al 32% (fig. 9).

Va ricordato tuttavia il contestuale incremento del costo del petrolio al barile.

L'ATA (*Air Transport Association*), rappresentante delle principali linee aeree degli Stati Uniti, ha dichiarato che il costo del carburante incide per circa il 40% sulla tariffa del biglietto (2008). Il trasporto aereo, diversamente dalle altre modalità, è l'unico oggi che non dispone di alternative all'uso di combustibili derivati dal petrolio direttamente a bordo veicolo o velivolo.

Quanto al trasporto marittimo, lo sviluppo dei traffici di merci caricate in container ha comportato l'affermarsi di navi via via più grandi e capienti [17]:

- a) navi cosiddette *panamax*, di dimensioni adatte all'attraversamento del canale di Panama, con capacità di carico tipiche tra 2500 e 3500 container da 20 piedi (TEU), negli anni '70 ed '80;
- b) navi cosiddette *post-panamax* di prima, seconda e terza generazione - negli anni '80,'90 ed inizio secolo - con capacità massima rispettivamente di 3500-4500 TEU, 4500-6000 TEU, 6000-8000 TEU.

Nel 2006 è attraccata per la prima volta al Porto di Gioia Tauro una nave da 8089 TEU; alla fine del 2006 è stata conclusa la realizzazione della prima nave da 11000 TEU; nel gennaio 2009 è approdata al Porto di Gioia Tauro la prima porta-container da 14000 TEU.

Quindi, in sintesi, il trasporto marittimo - avendo avuto minori vincoli d'infrastruttura rispetto alle modalità terrestri - ha prevalentemente puntato sul gigantismo navale per ridurre i costi unitari, inclusi quelli energetici, perseguendo le economie di scala. Oggi tali vincoli iniziano a sentirsi in modo più significativo, soprattutto in merito ai fondali necessari presso i porti e lungo i canali, nella dimensione delle banchine dei porti, oltre che delle attrezzature necessarie per la movimentazione, alle quali sono richiesti tra l'altro elevati sbracci lato mare.

5. Qual è il coinvolgimento dei Governi nell'uso del petrolio per trazione

In tale contesto, caratterizzato dunque dall'uso quasi esclusivo di combustibili da petrolio nei sistemi di trasporto, emerge un coinvolgimento diretto dei Governi nazionali, a prescindere dal periodo - ma comunque a decorrere dalla seconda metà del secolo scorso - e, in alcuni casi, dalle nazioni europee; il fatto è particolarmente do-

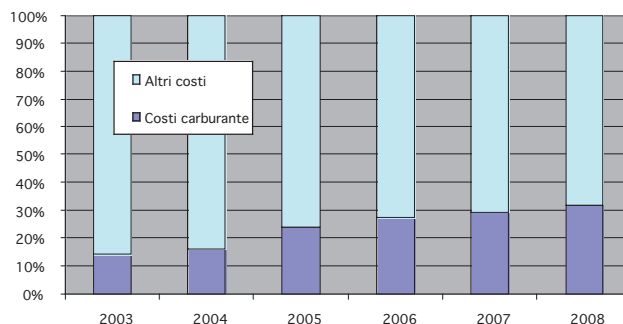


Fig. 9 - Incidenza del costo del carburante sul totale delle attività aeree (IATA, 2008). Influence of the cost of fuel on the total of the air transport activities: fuel costs and other costs (IATA, 2008).

the use of oil derived fuels directly on board the vehicle or aircraft.

As far as maritime transport is concerned, the development of the traffic of goods loaded in containers has involved the development of progressively larger and more capacious ships, namely [17]:

- a) the so-called *panama* ships, whose dimensions are appropriate to cross the Panama channel, with a typical load capacity between 2,500 and 3,500 20-foot containers (TEUs), in the nineteen seventies and eighties;
- b) the so-called *post-panamax* ships of first, second and third generation - in the nineteen eighties, nineties and at the beginning of this century - whose maximum capacities are respectively of 3,500 to 4,500 TEUs, 4,500 to 6,000 TEUs, 6,000 to 8,000 TEUs.

An 8,089 TEUs ship berthed for the first time at the Gioia Tauro harbour in 2006; the first 11,000s TEU ship was completed at the end of 2006; the first 14,000 TEUs container carrier docked at the harbour of Gioia Tauro in January 2009.

In short, maritime transport, which had lower infrastructure constraints than the earth transport modes, has prevalently aimed at the gigantism of ships in order to reduce the unit costs, including the energy ones, thus pursuing scale economies. Today, such constraints start being felt more significantly, mainly as related to the depth required at the harbours and along the channels, in the dimension of the harbour quays, besides the equipment required for handling, which - amongst other things - need great reach on the sea side.

5. What the involvement of the governments is in the use of oil for traction

In such context, which is therefore characterized by the almost exclusive use of oil derived fuel in the transport systems, a direct involvement of the Italian Governments - irrespectively on the periods of time, but in any case starting from the second half of the past century - and - in some cases - of other European countries appears plainly;

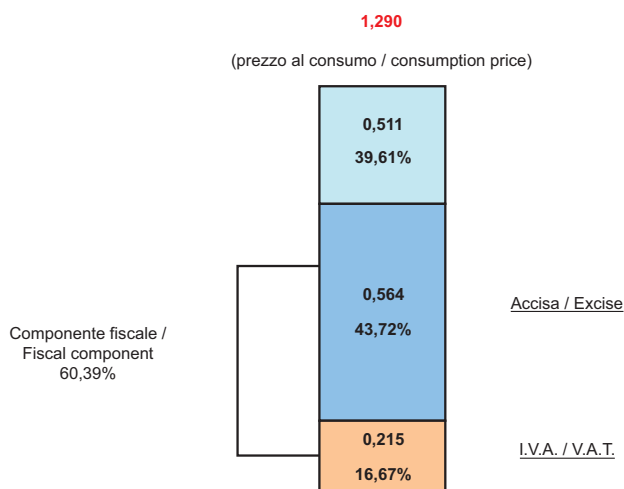


Fig. 10 - Composizione fiscale riferita ad un litro di carburante in un determinato momento (dati 2005, Italia). Fiscal composition referred to one litre of fuel in a given moment (data of 2005, Italy).

cumentabile per il trasporto stradale in Italia: dalla composizione fiscale riferita ad un litro di carburante in un determinato momento (dati 2005, Italia), risulta che circa il 60% costituisce la componente fiscale (fig. 10).

E' possibile calcolare quanto i consumi per il trasporto prevalentemente stradale (cfr. fig. 6), stante l'incidenza di quest'ultimo, abbiano comportato in termini di entrate statali:

- entrata per accisa benzina nel 2005 = 0,5631 €/litro • 18.765.833.333 litri = 10.567.040.750 €;
- entrata per accisa gasolio nel 2005 = 0,4114 €/litro • 29.084.720.238 litri = 11.965.453.906 €;
- entrata totale per accise nel 2005 = 10.567.040.750 + 11.965.453.906 = 22.532.494.656 €.

Tale valore si può stimare anche sulla base della percorrenza media annuale dei veicoli in Italia, pari a circa 12500 km secondo analisi di dati provenienti dal Conto Nazionale dei Trasporti di alcuni anni, moltiplicata per il consumo medio e l'entrata monetaria associata all'accisa.

I dati ottenuti a tavolino possono essere confrontati e quindi confermati da quelli che si riscontrano nel Bilancio dello Stato, del quale si riporta un estratto in fig. 11.

Ai menzionati valori derivanti dall'accisa, si può aggiungere l'entrata connessa all'I.V.A.:

- entrata I.V.A. annuale benzina = 0,2032 € • 18.765.833.333 litri = 3.813.217.333 €;
- entrata I.V.A. annuale gasolio = 0,18452 € •

this fact can be particularly documented as related to road transport in Italy (see fig. 6); from the tax composition related to one litre of fuel in a given moment (data of 2005, Italy), it results that the tax component involves approximately 60% of it (fig. 10).

It can then be calculated how much the consumption for transport -mainly the road one- has influenced the state revenue, because of its impact:

- income for petrol excise duty in 2005 = 0,5631 €/litre • 18,765,833,333 litres = 10,567,040,750 €;
- income for gas oil excise duty in 2005 = 0,4114 €/litre • 29,084,720,238 litres = 11,965,453,906 €;
- total revenue for excise duties in 2005 = 10,567,040,750 + 11,965,453,906 = 22,532,494,656 €

Such value can also be estimated on the basis of the average distance yearly covered by the vehicles in Italy, which is equal to approximately 12,500 km according to the analyses of data collected by the "National Transport Account" for several years, multiplied by the average consumption and the money income associated to the excise duty.

The data, obtained theoretically, can be compared and then confirmed by the ones which are found in the State Budget, an abstract of which is reported in fig. 11.

The aforementioned excise duty derived data can be added to the income connected to V.A.T., namely:

- yearly revenue for V.A.T. on petrol = 0.2032 € • 18,765,833,333 litres = 3,813,217,333 €;

| UNITA' PREVISIONALE / CAPITOLO / ARTICOLO | RESIDUI | COMPETENZA |
|--|------------------|-------------------|
| DENOMINAZIONE | | |
| 1.1.12 ACCISA E IMPOSTA ERARIALE DI CONSUMO SUGLI OLI MINERALI, LORO DERIVATI, PRODOTTI ANALOGHI E RELATIVE SOVRIMPOSTE DI CONFINE | | |
| Entrate derivanti dall'attivita' ordinaria di gestione | | |
| ACCISA E IMPOSTA ERARIALE DI CONSUMO SUGLI OLI MINERALI, LORO DERIVATI E PRODOTTI ANALOGHI | | |
| IMPOSTA RISCOSSA IN VIA ORDINARIA | | |
| INIZ. | 1.955.484.768,34 | 22.209.270.000,00 |
| VARIAB. | | 322.091.133,00 |
| DEFIN. | 1.955.484.768,34 | 22.531.361.133,00 |
| VERSATO | 5.330.597,76 | 21.222.429.358,32 |
| DA VERS. | | 41.924,23 |
| DA RISC. | 1.782.265.828,18 | 3.760.624,35 |
| TOTALE | 1.787.596.425,94 | 21.226.225.906,94 |
| RISC. | 5.290.510,55 | |
| MG/MNE | 167.888.342,40 | 1.305.135.226,06 |
| RS31/12 | 1.786.068.376,80 | |

Fig. 11 - Estratto dal bilancio dello Stato: accisa del 2005. Abstract of the State budget (Italy): 2005 excise duty.

29.084.720.238 litri = 5.366.712.578 €;

- entrata I.V.A. totale 2005 = 3.813.217.33 € + 5.366.712.578 € = 9.179.929.911 €.

Quindi il consumo di carburante ha comportato, come accisa ed I.V.A., un'entrata per lo Stato nel 2005 di circa 31.712.424.567 €. A questo valore si può aggiungere l'I.V.A. per l'acquisto dei veicoli e la tassa di possesso ("bollo").

Nei decenni passati si è quindi creato un circolo economico per il quale un aumento delle infrastrutture era accompagnato dall'aumento del parco circolante, e viceversa, nonché dai consumi di combustibili, quindi di entrate per lo Stato (circa 31 miliardi di Euro tra accise e IVA nel 2005): insomma, un circolo economicamente redditizio per industria, Governi, costruttori e gestori di infrastrutture.

Avendo a disposizione i dati del parco veicolare, la percorrenza media annua e le emissioni medie dei veicoli [6, 7, 18, 19], si possono stimare le emissioni totali in Italia ripartite per mezzo di trasporto.

L'ipotesi che emerge, come conseguenza delle precedenti osservazioni, è il possibile pagamento dell'uso delle risorse naturali impiegate per soddisfare i trasporti e la mobilità:

- l'ossigeno, da affiancare alle ben note considerazioni sull'anidride carbonica emerse nel panorama internazionale, che è invece un prodotto di combustione;
- il suolo stradale, inteso come pagamento dell'uso dell'infrastruttura in base all'effettiva percorrenza (*road pricing*), con ausilio della telematica per i trasporti; questa è una scelta ritenuta importante, già intrapresa dall'Olanda per il pagamento della tassa di circolazione stradale negli anni a venire.

In questo modo si va ad incidere sulla domanda di trasporto - in quanto sensibilizzata sull'uso effettivo del suolo percorso mediante veicoli motorizzati - e si va ad apportare una correzione sul relativo mercato: la tassazione attuale, in molte nazioni, risponde ad una logica indipendente dai chilometri percorsi, essendo funzione della potenza e della classe d'emissione del motore.

Lo sviluppo di parco circolante, delle infrastrutture e la mobilità personale, che hanno connotato nettamente la seconda metà del secolo scorso in Europa, mostrano oggi alcuni condizionamenti [20]:

- la saturazione del suolo - intesa come infrastrutture sul territorio e come veicoli sulle infrastrutture - la cui ampia consapevolezza è emersa già dagli anni '90 con la diffusione della valutazione d'impatto ambientale;
- la possibile limitatezza della risorsa energetica - del petrolio in particolare, perlomeno a prezzi diffusamente accessibili - dalla quale i trasporti dipendono per circa il 98% nei paesi europei;
- l'immissione in ambiente dei gas e materiale di com-

- yearly revenue for V.A.T. on gas oil = 0.18452 € • 29,084,720,238 litres = 5,366,712,578 €;
- total V.A.T. yearly revenue in 2005 = 3,813,217,33 € + 5,366,712,578 € = 9,179,929,911 €.

Subsequently, in 2005 the consumption of fuels involved, as excise duty and V.A.T., State revenue of approximately 31,712,424,567 €. This value can be added to the V.A.T. for the purchase of vehicles and the road tax.

The last decades have witnessed an economic cycle by which an increase of the road infrastructure was accompanied by the increase of the circulating fleet and vice versa, as well as by fuel consumption, hence of the State income (approximately 31 billion Euro of excise duties and VAT in 2005): an economically profitable circle for industry, Governments, manufacturers and infrastructure managers.

Having available the data of the vehicle fleet, the average distance covered per year and the average emissions of the vehicles [6, 7, 18, and 19], the total emissions in Italy can be estimated per means of transport.

The assumption derived from the previous observations is the possible payment for the use of the natural resources utilized to meet the requirements of transport and mobility, namely:

- oxygen, to be accompanied to the well known considerations on CO₂ which arose in the international panorama, which is instead a combustion product;
- the road soil, meant as payment for the use of the infrastructure on the basis of the actual distance covered (*road pricing*), with the support of transport telematics; this choice is considered important, and it has already been made by the Netherlands for the payment of the road tax in the forthcoming years.

This would impact the transport demand - by generating awareness on the actual utilisation of the distances covered by means of one own's motor vehicle - and a correction can be applied on the related market. In many countries, the current tax system responds to a logic which does not depend on the mileage covered, but is a function of the power and emission class of the engine.

The development of the circulating fleet, infrastructures and personal mobility, which have significantly marked the second half of the last century in Europe, show today some conditioning, namely [20]:

- the saturation of the land, meant as infrastructures on the territory and as vehicles on the infrastructures, whose extended awareness already surfaced in the nineteen nineties with the spreading of the environmental impact assessment;
- the possible limitedness of the energy resource - of oil in particular, at least at widely accessible prices - on which transport depends for at least 98% in the European countries;
- the release within the environment of gases and com-

- bustione, condizionati anch'essi da ragioni di salute, ambientali ed impegni internazionali;
- la manutenzione delle infrastrutture esistenti, intesa come sostenibilità economica nel tempo delle vie di comunicazione; il patrimonio dello Stato aumenta sia con la realizzazione di nuove infrastrutture sia mediante un'adeguata manutenzione e l'aggiornamento della rete esistente;
 - la sicurezza, obiettivo condizionante imposto dall'UE in ambito stradale che, essendo fissato come riduzione degli incidenti in modo assoluto e non di tasso, risulta incompatibile con la crescita della mobilità;
 - l'incremento condizionato alle relazioni tra persone, obiettivo possibilmente etico, nel quale la crescita della mobilità, vista in passato come positiva per l'accrescimento delle relazioni fuori dal proprio contesto abitativo di riferimento, può diventare incompatibile con le relazioni locali, con la famiglia ed il regolare svolgimento di molte attività lavorative.

6. Quali soluzioni si possono prospettare in un'economia che cambia?

Quanto è emerso dalle precedenti osservazioni implica che in Europa non si debba necessariamente attendere un aumento della mobilità e connessi consumi, mentre occorre perseguirne sicurezza, qualità ed efficienza, soprattutto energetica.

Il nostro sistema economico, nei Paesi europei, pare stia quindi passando da un contesto basato prevalentemente sulla produzione - industriale e civile, quest'ultima intesa, nella fattispecie, come costruzione di infrastrutture di trasporto - ad un altro basato su efficienza, qualità e sicurezza.

Stante però la situazione mondiale, una delle principali sfide che la nostra società si trova di fronte è l'approvvigionamento e gestione dei flussi d'energia nonché le conseguenze del loro impiego sulle persone e l'ambiente in senso lato. La crescita della mobilità non sembra infatti riguardare tanto l'UE quanto alcuni Paesi dell'Est asiatico.

Tale problematica è d'elevata influenza in tutti i settori di consumo energetico, in particolare nel settore dei trasporti, che dipendono oggi quasi esclusivamente dal petrolio.

Come soluzione trasversale al problema energetico si offre la tecnologia, strumento con il quale l'uomo può porre rimedio al fatto che la risorsa prevalentemente usata per consentire i trasporti divenga scarsa, oppure possa essere percepita come tale, rendendo efficienti e razionalizzando i consumi delle proprie attività (anche con sistemi telematici, "ITS" o *Intelligent Transport Systems*) e sviluppando un sistema che possa essere sostenibile con un contenuto apporto dei combustibili fossili.

- bustible materials, which involve matters of health, environment and international commitments;
- the maintenance of the existing infrastructures, meant as economic sustainability of the communication networks throughout time; the State capital increases both with the development of new infrastructures and through the updating of the existing network;
 - safety, which is a conditioning objective dictated by the EU on roads and which - since it has been established as a reduction of the accidents in absolute terms and not of rate - results to be incompatible with the growth of mobility;
 - the increment linked to the relationships between people, a possibly ethic objective in which the continuous growth of mobility - which was seen in the past as positive for the growth of the relationships beyond the reference housing context - may become incompatible with the local relationships, with the family and the regular development of several working activities.

6. What solutions can be prospected in a changing economy

What has arisen from the previous remarks implies that, in Europe, we should not necessarily expect an increase in either mobility or in the consumption related to it, whilst safety, quality and efficiency - mainly as far as energy is concerned - are to be pursued.

Subsequently, our economic system, in the European countries, seems to be passing from a context prevalently based on production -which is both industrial and civil, the latter is meant specifically as building of transport infrastructures- to another one based upon efficiency, quality and safety.

However, on the grounds of the world scenario, one of the main challenges our society is facing is the procurement and management of the energy flows, as well as the consequences of their use on both people and the environment in the wide meaning of the word. The growth of mobility does not actually seem to concern the EU but - rather - some countries of East Asia.

Such issues are highly influencing all the sectors of energy consumption, in particular as related to the transport sector, which nowadays depends almost exclusively on oil.

Technology is offered as a crosswise solution to the energy issue, as a tool through which Man can remedy the fact that the resource which is prevalently being utilized to enable transport may become scarce, or that it may be perceived as such, by improving efficiency or rationalizing the consumption of His own activities (telematic systems, "ITS" or *Intelligent Transport Systems*) and developing a structure which can be sustainable with a limited supply of fossil fuels.

Il messaggio conclusivo si può quindi così sintetizzare: si può perseguire il miglioramento dell'esistente in termini di qualità, sicurezza ed efficienza, dei motori e del sistema dei trasporti, anche con l'ausilio della telematica e sistemi "ITS"; l'intento è cercare di realizzare un'indipendenza dei trasporti rispetto alla pressoché unica risorsa energetica, il petrolio, per non trovarsi da questo vincolati e temporaneamente immobilizzati: la via è quella dell'efficienza e delle alternative energetiche. Il sistema ferroviario risulta quindi offrire, in tale ottica, una buona o ottima soluzione - laddove adeguato a soddisfare la mobilità delle persone ed il trasporto merci - per sua costituzione.

The conclusive message could then be summarized as follows: the improvement of what exists can be pursued in terms of quality, safety and efficiency of both engines and transport systems, also through the support of telematics and "ITS"; the intent would be trying to develop independency in transport on the almost sole energy resource, i.e. oil, in order not to be chained by it and temporarily immobilized: the path is the one of both efficiency and alternative energies. In this perspective, the railway system results therefore to offer a good and even optimum solution - wherever is it appropriate to meet both mobility and freight - because of its own constitution.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] B. DALLA CHIARA, "Domanda ed uso dell'energia nei sistemi di trasporto", Presentazione per la VII Conferenza su "Energia: 2010 ed oltre" su Efficienza energetica nei trasporti, Politecnico di Torino, 3 marzo 2010.
- [2] B. DALLA CHIARA, R. RICAGNO, M. SANTARELLI, (2008), "Sostenibilità energetica dei trasporti: analisi dei consumi e della soluzione ferroviaria", *Ingegneria Ferroviaria*, vol. LXIII, pp. 531-543, numero 6, giugno 2008.
- [3] EIA – Energy Information Administration, *International Energy Outlook*, June 2006.
- [4] Unione Petrolifera, "Data book", Energia e Petrolio, 2009.
- [5] B. DALLA CHIARA, P. DEGIOANNI, F.P. FUMAROLA, "Riepilogo di sistemi di trasporto innovativi", *Ingegneria Ferroviaria*, anno LXIII, numero 1, gennaio 2008.
- [6] European Commission, *The annual energy and transport review for 2004*, December 2005.
- [7] European Commission, *Energy and Transport in Figures 2005*, 2005.
- [8] European Commission, *European Energy and Transport: scenarios on energy efficiency and renewables*, 2006.
- [9] European Commission, *European Energy and Transport: scenarios on high oil and gas prices*, 2006.
- [10] European Commission, *Well-to-Wheel analysis of future fuels and power trains in the European context: WELL-to-WHEEL REPORT, Version 1b*, January 2004.
- [11] European Commission, Eurostat, G. CAMPBELL, *Panorama of Transport*, Edition 2007, Luxembourg.
- [12] S. MAGGI, "Storia dei trasporti in Italia", Ed. Il Mulino, ISBN-13: 9788815105516, 2005.
- [13] G. WOLDEAMANUEL MINTESNOT, R. CYGANSKI, A. SCHULZ, A. JUSTEN, "Variation of households' car ownership across time: application of a panel data model", *Transportation*, Springer (NL), ISSN 0049-4488, Issue volume 36, number 4 / July, 2009, pagg. 371-387.
- [14] The Worldwatch Institute, "State of the World 2007, our urban future", 2007.
- [15] TRENITALIA, Rapporto Ambientale 2005, 2005.
- [16] Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (CIFI), Atti del convegno "Per un uso attento dell'energia nel trasporto su ferro", presso il Politecnico di Milano, 28 gennaio 2010.
- [17] B. DALLA CHIARA, "Sistemi di trasporto intermodali: progettazione ed esercizio", maggio 2009, ISBN: 978-88-8482-299-4, pagg. 288. EGAF Editore.
- [18] M.W. JØRGENSEN, S.C. SORENSON, Estimating Emissions from Railway Traffic, "Report for the Project MEET – Methodologies for Estimating air pollutant Emission from Transport", July 1997.
- [19] H. STRELOW, "Statistic in focus: Passenger Transport in the European Union", September 2006.
- [20] F. DEFLORIO, B. DALLA CHIARA, M. BAROSSO, "Controllo accessi in aree urbane: comparazione di strategie basate su sistemi telematici (ITS) mediante modelli di micro-simulazione del traffico", in "Interventi e metodologie di progetto per una mobilità sostenibile", Seminario scientifico 2008, a cura di Vittorio ASTARITA, Sergio D'ELIA, Demetrio Carmine FESTA, ISBN 978-88-568-1230-5, pagg. 189-203.