

2. Definizione ed analisi delle possibilità d'intervento

L'attuazione di politiche di risparmio energetico e di programmi per la riduzione dei consumi di combustibili fossili e delle emissioni inquinanti da essi derivanti, sono ormai gli obiettivi principali della Politica Energetica a livello internazionale. Il Protocollo di Kyoto¹, approvato nel dicembre 1997, ha stabilito una riduzione complessiva del 5,3% rispetto ai valori del 1990 delle emissioni di sei gas che contribuiscono alla formazione dell'effetto serra. I gas in questione sono l'anidride carbonica (CO₂), che è il principale responsabile del surriscaldamento atmosferico, il metano (CH₄), il protossido d'azoto (N₂O), gli idrofluorocarburi (HFC), i perfluorocarburi (PFC) e l'esafluoruro di zolfo (SF₆). In riferimento alle strategie d'intervento ed alle linee guida stabilite dal Protocollo di Kyoto, l'UE ha deciso di adottare delle politiche e delle misure per il contenimento complessivo delle emissioni di tali gas serra (cfr. Tabella 2.1).

Per quanto riguarda il settore dei trasporti, responsabile nel 1990 del 15,8% delle emissioni totali di CO₂ (stimate in circa 461 milioni di tonnellate nel 1990), del 2,3% del CH₄, del 2,4% degli N₂O, del 34% degli NO_x e del 10% degli SO_x, gli obiettivi nazionali prevedono una riduzione di 18-21 Mt di CO₂ per il 2008-2012.

Tabella 2.1 – Obiettivi di riduzione [%] delle emissioni previsti dal Protocollo di Kyoto

	Ossidi di zolfo	Ossidi di azoto	Ammoniaca	Composti Organici Volatili
Italia	-70	-48	-10	-48
Francia	-68	-54	-4	-63
Germania	-90	-60	-28	-69
Regno Unito	-83	-56	-11	-53
Rep. Ceca	-85	-61	-35	-49
Bulgaria	-57	-26	-25	-15
Ungheria	-46	-17	-27	-33
U.E.	-75	-49	-15	-57

Fonte: UN/ECE

¹ Paesi firmatari del Protocollo sono: Armenia, Austria, Belgio, Bulgaria, Canada, Croazia, Repubblica Ceca, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Gran Bretagna, Grecia, Irlanda, Italia, Lettonia, Liechtenstein, Lussemburgo, Moldavia, Norvegia, Paesi Bassi, Polonia, Portogallo, Romania, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia, Svizzera, Ungheria, USA.

Per poter formulare dei programmi d'intervento da attuare nel settore dei trasporti su gomma nella Regione Campania, per rispettare gli obiettivi di riduzione dei consumi e delle emissioni previsti dagli accordi internazionali, è necessario analizzare con maggiore dettaglio il quadro dei trasporti su gomma in Campania allo stato attuale.

2.1 Analisi dei trasporti in Campania mediante il Copert III

Al fine di realizzare un'analisi dell'attuale scenario, e di successivi possibili sviluppi, nel settore dei trasporti della Regione Campania, si è ritenuto opportuno utilizzare uno specifico strumento matematico, il Copert III - *COmputer Programme to calculate Emissions from Road Traffic* (Eggleston et al., 1993) (Kouridis et al., 2000) che permette di stimare, sotto opportune ipotesi, le emissioni ed i consumi del parco circolante suddivisi per tipologia di percorso (aree urbane, extraurbane ed autostradali) e di veicolo (autoveicoli, autobus, veicoli merci, motoveicoli, ecc.). In tal modo è stato possibile ottenere una stima più completa e dettagliata del quadro regionale dei trasporti e del suo impatto ambientale.

La stima delle emissioni di inquinanti atmosferici realizzata con il modello Copert III prende in considerazione una serie di parametri riguardanti le caratteristiche generali del fenomeno e le specifiche realtà applicative. Tale metodologia è stata indicata dall'EEA (European Environment Agency, Agenzia Europea per l'Ambiente) come lo strumento da adoperare per la stima delle emissioni da trasporto stradale nell'ambito del programma **CORINAIR** (CORINAIR, 1988; EMEP/CORINAIR, 1999), per la definizione dell'inventario nazionale delle emissioni. Secondo tale metodologia le emissioni dei veicoli possono essere espresse come la somma di tre fattori, dati rispettivamente dalle emissioni a caldo (E_{hot}), cioè le emissioni imputabili alla fase di lavoro dei motori alla temperatura di esercizio, dalle emissioni a freddo (E_{cold}), quando i motori sono ancora in fase di riscaldamento con una temperatura dell'acqua di raffreddamento inferiore a 70°C, e dalle emissioni evaporative (E_{evap}) costituite dai composti organici volatili non metanici (C.O.V.N.M.), rilevanti per i soli veicoli a benzina. In definitiva, le emissioni totali si possono esprimere come:

$$E = E_{hot} + E_{cold} + E_{evap}$$

2.2. Impostazione del modello di calcolo

La suddivisione del parco veicolare in Campania al 31 dicembre 2000 secondo la classificazione prevista dal Copert III è riportata nella seguente Tabella 2.2. Le varie tipologie di veicoli sono state suddivise sia per classi di cilindrata sia per il tipo di normativa antinquinamento di immatricolazione. La fonte principale di riferimento è l'ACI, l'Automobile Club d'Italia (Autoritratto - 1999) (Annuario Statistico - 2000). In tal modo è stato possibile stimare i diversi consumi e i rispettivi quantitativi di inquinanti emessi dai veicoli.

Per il calcolo dei consumi e delle emissioni del parco veicolare della regione è stato necessario fornire al modello delle informazioni specifiche per ciascuna categoria di veicoli, riguardanti, ad esempio, le percorrenze medie annue, la suddivisione percentuale della circolazione nei vari possibili percorsi (urbano, extraurbano e autostradale) e le relative velocità medie. Tali informazioni sono state ricavate a partire da valori di riferimento stimati dal *Conto Nazionale dei Trasporti* (Ministero dei Trasporti, 1998) su scala nazionale ed adattate al parco veicolare di riferimento facendoli variare iterativamente fino alla convergenza sul consumo totale di combustibile del parco. Infatti, il modello realizza una stima del consumo complessivo per ciascun tipo di combustibile e facendo convergere tali valori verso quelli noti, di consumo reale (di fonte ENI), è stato possibile “calibrare” il modello sulle effettive caratteristiche della circolazione regionale.

Tabella 2.2 – Classificazione Copert III del parco veicolare campano al 31/12/2000

Sector	Subsector	Tech	Population
Passenger Cars Gasoline 2.260.136 Diesel 544.024 LPG 187.993	Gasoline <1,4 l	ECE 15/02	516.167
		ECE 15/04	879.206
		Euro I - 91/441/EEC	284.126
		Euro II - 94/12/EC	372.418
	Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/02	48.642
		ECE 15/04	82.854
		Euro I - 91/441/EEC	26.775
		Euro II - 94/12/EC	35.095
	Gasoline >2,0 l	ECE 15/02	3.736
		ECE 15/04	6.364
		Euro I - 91/441/EEC	2.057
		Euro II - 94/12/EC	2.696
	Diesel <2,0 l	Conventional	332.527
		Euro I - 91/441/EEC	28.530
		Euro II - 94/12/EC	80.062
	Diesel >2,0 l	Conventional	77.572
		Euro I - 91/441/EEC	6.656
		Euro II - 94/12/EC	18.677
	LPG	Conventional	141.714
		Euro I - 91/441/EEC	12.159
Euro II - 94/12/EC		34.120	
Light Duty Vehicles 155.826	Gasoline <3,5t	Conventional	22.027
		Euro I - 93/59/EEC	2.259
		Euro II - 96/69/EC	1.511
	Diesel <3,5 t	Conventional	111.030
		Euro I - 93/59/EEC	11.385
Heavy Duty Vehicles 65.466	Gasoline >3,5 t	Conventional	1.372
	Diesel 3,5 - 7,5 t	Conventional	36.512
		Euro I - 91/542/EEC Stage I	3.744
		Euro II - 91/542/EEC Stage II	2.504
	Diesel 7,5 - 16 t	Conventional	18.078
		Euro I - 91/542/EEC Stage I	1.854
		Euro II - 91/542/EEC Stage II	1.240
	Diesel 16 - 32 t	Conventional	64
		Euro I - 91/542/EEC Stage I	7
		Euro II - 91/542/EEC Stage II	4
	Diesel >32t	Conventional	74
		Euro I - 91/542/EEC Stage I	8
		Euro II - 91/542/EEC Stage II	5
	Buses 8.797	Urban Buses	Conventional
Euro I - 91/542/EEC Stage I			369
Euro II - 91/542/EEC Stage II			873
Coaches		Conventional	3.157
		Euro I - 91/542/EEC Stage I	368
Euro II - 91/542/EEC Stage II	873		
Mopeds	<50 cm ³	97/24/EC Stage I	143.125
Motorcycles 143.125	4-stroke <250 cm ³	97/24/EC	57.250
	4-stroke 250 - 750 cm ³	97/24/EC	57.250
	4-stroke >750 cm ³	97/24/EC	28.625

Tabella 2.3 – Informazioni riassuntive sulla velocità del parco veicolare campano.

Sector	Subsector	Speed (km/h)			Driving Share %		
		Urban	Rural	Highway	Urban	Rural	Highway
Passenger cars	Gasoline <1,4 l	30	60	90	40	40	20
	Gasoline 1,4 - 2,0 l	20	60	100	35	40	25
	Gasoline >2,0 l	20	60	100	20	35	45
	Diesel <2,0 l	20	60	100	40	35	25
	Lpg	20	60	90	30	30	40
Light duty vehicles	Gasoline <3,5t	10	40	70	30	60	10
Heavy duty vehicles	Diesel 3,5 - 7,5 t	10	50	80	20	30	50
	Diesel 7,5 - 16 t	10	50	80	20	30	50
	Diesel 16 - 32 t	10	50	80	20	30	50
	Diesel >32t	10	50	80	5	15	80
Buses	Urban buses	20	50	90	70	20	10
Mopeds	<50 cm ³	10	20	0	80	20	0

Seguendo le modalità descritte in precedenza si sono ricavati i valori di percorrenza media, velocità media e share dei percorsi riassunti nella precedente Tabella 2.3

2.2.1. Analisi dei consumi e delle emissioni per l'anno 2000

Dopo aver definito i parametri del sistema è stato possibile elaborare con il modello di calcolo Copert III i dati riguardanti il settore dei trasporti nella Regione Campania, ottenendo un'analisi dettagliata dei consumi e delle emissioni inquinanti suddivisi per tipologia di veicolo e di percorso. In tal modo viene eseguita una fotografia del settore trasporti nella regione, evidenziando i punti critici sui quali concentrare una maggiore attenzione.

Dall'analisi dei risultati, riportati nella Tabella 2.4 e più sinteticamente nella Figura 2.1, emerge in Campania un elevato consumo di combustibile per autoveicoli nelle aree urbane, soprattutto per le piccole e medie cilindrate alimentate a benzina e a gasolio (Figura 2.1 *a, c*). Per quanto riguarda le vetture con impianto GPL (Figura 2.1 *b*) si ha un maggiore equilibrio nella ripartizione dei consumi tra percorsi urbani ed autostradali, mentre per i veicoli merci pesanti (Figura 2.1 *d*) si ha, come atteso, un utilizzo prevalentemente autostradale.

Tabella 2.4 – Analisi Copert III: Ripartizione dei consumi di combustibile in Campania per tipologia di veicolo e di percorso

Fuel Consumption [t]				
<i>Sector</i>	<i>Tech</i>	<i>Urban</i>	<i>Rural</i>	<i>Highway</i>
Passenger Cars				
Gasoline <1,4 l	ECE 15/02	98.539	57.282	29.514
Gasoline <1,4 l	ECE 15/04	224.046	141.608	71.089
Gasoline <1,4 l	Euro I - 91/441/EEC	76.146	51.470	22.637
Gasoline <1,4 l	Euro II - 94/12/EC	99.808	67.464	29.671
Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/02	26.619	11.685	8.709
Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/04	39.698	22.219	14.016
Gasoline 1,4 - 2,0 l	Euro I - 91/441/EEC	15.958	7.263	4.502
Gasoline 1,4 - 2,0 l	Euro II - 94/12/EC	21.663	9.860	6.112
Gasoline >2,0 l	ECE 15/02	1.733	1.319	1.605
Gasoline >2,0 l	ECE 15/04	3.290	2.417	3.403
Gasoline >2,0 l	Euro I - 91/441/EEC	1.156	772	803
Gasoline >2,0 l	Euro II - 94/12/EC	1.782	1.190	1.239
<i>Total gasoline</i>		610.437	374.550	193.300
Diesel <2,0 l	Conventional	261.886	104.618	85.362
Diesel <2,0 l	Euro I - 91/441/EEC	18.658	9.003	6.932
Diesel <2,0 l	Euro II - 94/12/EC	56.189	27.114	20.875
Diesel >2,0 l	Conventional	65.563	26.191	21.370
Diesel >2,0 l	Euro I - 91/441/EEC	4.671	2.254	1.735
Diesel >2,0 l	Euro II - 94/12/EC	14.300	6.900	5.312
<i>Total diesel</i>		421.268	176.081	141.586
LPG	Conventional	53.084	30.663	48.976
LPG	Euro I - 91/441/EEC	5.124	2.963	4.351
LPG	Euro II - 94/12/EC	14.380	8.314	12.208
<i>Total LPG</i>		72.588	41.939	65.535

Light Duty Vehicles		Urban	Rural	Highway
Gasoline <3,5t	Conventional	17.921	16.327	1.913
Gasoline <3,5t	Euro I - 93/59/EEC	2.150	1.963	231
Gasoline <3,5t	Euro II - 96/69/EC	1.438	1.313	154
<i>Total gasoline</i>		21.509	19.603	2.298
Diesel <3,5 t	Conventional	83.265	84.391	12.265
Diesel <3,5 t	Euro I - 93/59/EEC	7.840	7.767	1.109
Diesel <3,5 t	Euro II - 96/69/EC	5.243	5.195	741
<i>Total diesel</i>		96.348	97.353	14.115

Heavy Duty Vehicles		Urban	Rural	Highway
Gasoline >3,5 t	Conventional	154	412	566
<i>Total gasoline</i>		154	412	566
Diesel 3,5 - 7,5 t	Conventional	59.780	28.364	65.763
Diesel 3,5 - 7,5 t	Euro I - 91/542/EEC Stage I	6.130	2.909	6.743
Diesel 3,5 - 7,5 t	Euro II - 91/542/EEC Stage II	4.100	1.945	4.510
Diesel 7,5 - 16 t	Conventional	42.452	28.916	51.971
Diesel 7,5 - 16 t	Euro I - 91/542/EEC Stage I	4.354	2.966	5.330
Diesel 7,5 - 16 t	Euro II - 91/542/EEC Stage II	2.912	1.983	3.565
Diesel 16 - 32 t	Conventional	397	278	428
Diesel 16 - 32 t	Euro I - 91/542/EEC Stage I	43	30	47
Diesel 16 - 32 t	Euro II - 91/542/EEC Stage II	25	17	27
Diesel >32t	Conventional	153	228	1.074
Diesel >32t	Euro I - 91/542/EEC Stage I	17	25	116
Diesel >32t	Euro II - 91/542/EEC Stage II	10	15	73
<i>Total diesel</i>		120.372	67.676	139.647

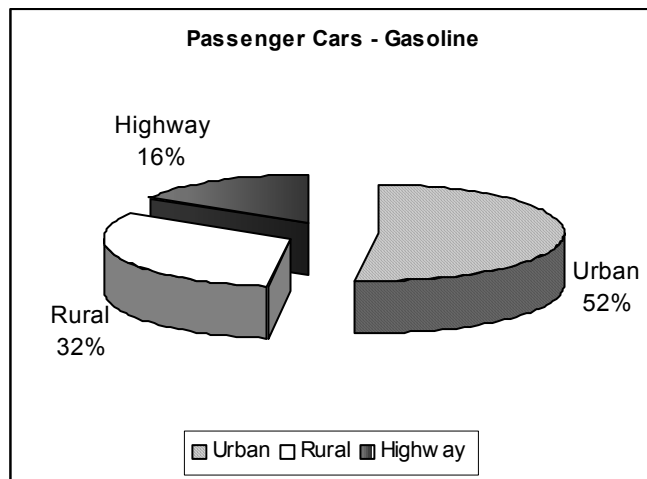
Buses		<i>Urban</i>	<i>Rural</i>	<i>Highway</i>
Urban Buses	Conventional	35.335	6.797	2.637
Urban Buses	Euro I - 91/542/EEC Stage I	4.130	794	308
Urban Buses	Euro II - 91/542/EEC Stage II	9.771	1.880	729
Coaches	Conventional	37.057	6.458	2.828
Coaches	Euro I - 91/542/EEC Stage I	4.320	753	330
Coaches	Euro II - 91/542/EEC Stage II	10.247	1.786	782
<i>Total diesel</i>		100.859	18.467	7.614

Tabella 2.5 – Consumi riassuntivi di combustibile in Campania nel 2000.

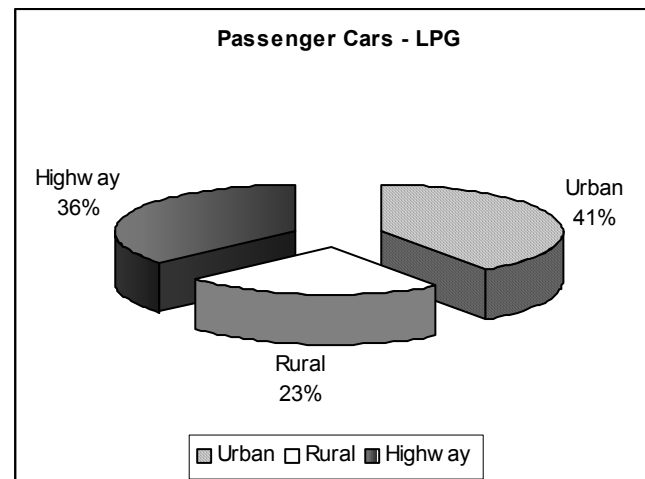
	Fuel Consumption [tep]
Passenger Cars - diesel	753.714
Passenger Cars - gasoline	1.237.202

Mopeds		<i>Urban</i>	<i>Rural</i>	<i>Highway</i>
<50 cm ³	97/24/EC Stage I	14.313	3.578	0
<i>Total gasoline</i>		14.313	3.578	0
Motorcycles				
4-stroke <250 cm ³	97/24/EC	2.496	4.679	873
4-stroke 250 - 750 cm ³	97/24/EC	2.696	5.053	943
4-stroke >750 cm ³	97/24/EC	1.498	2.807	524
<i>Total gasoline</i>		6.690	12.539	2.341

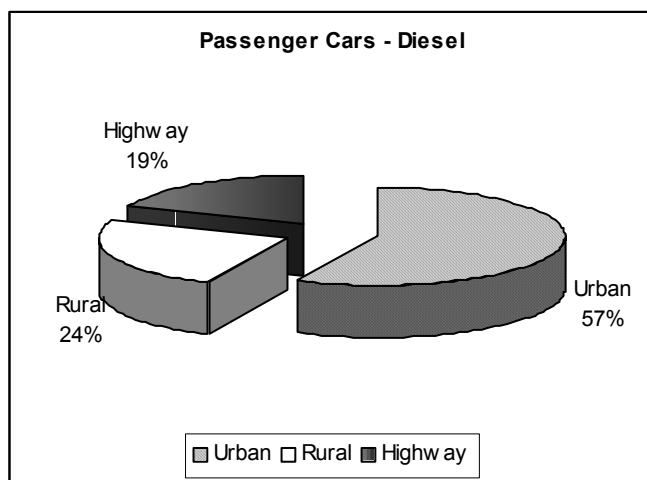
Passenger Cars - LPG	198.064
All Duty Vehicles - diesel	546.221
All Duty Vehicles - gasoline	46.770
Buses	129.478
All Motorcycles	41.433
Total	2.952.882



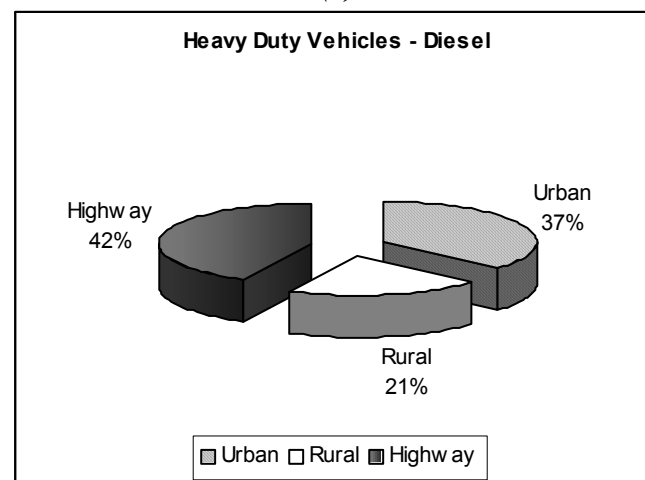
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.1 – Analisi grafica riassuntiva della ripartizione dei consumi di combustibile per le tipologie più rappresentative del parco veicolare campano

L'introduzione di un indice esprime il rapporto tra il consumo di combustibile, espresso in tep, ed il numero di veicoli equivalenti² permette una valutazione della ripartizione dei consumi tra le varie tipologie di veicoli nella regione. La seguente Figura 2.2 evidenzia un maggior consumo per auto equivalenti per la categoria degli autobus rispetto agli autoveicoli privati e ai veicoli merci. Tale risultato è dovuto alla prevalenza di tratti urbani percorsi dagli autobus, che incidono negativamente sull'intensità energetica complessiva di tali mezzi. Tuttavia, se riferito agli utenti per singola tipologia di mezzo di trasporto, il dato di consumo unitario risulta più favorevole (circa 10 volte) per gli autobus rispetto alle automobili. Per i veicoli da trasporto, invece, l'analisi deve essere svolta in relazione alla funzione del sistema di trasporto ed una valutazione congrua richiederebbe il calcolo della quantità di merci trasportate. Analisi più dettagliate saranno necessarie nella attuazione delle strategie regionali di attuazione degli interventi strutturali finalizzati alla riduzione ed alla razionalizzazione dei consumi energetici nei singoli settori. Infatti, i dati riportati nella Figura 2.2 sono stati ottenuti utilizzando i coefficienti di conversione medi nazionali (cfr. Tabella 1.21) che non tengono conto delle inefficienze del sistema (basse velocità medie, traffico elevato, ecc.) che possono determinare consumi equivalenti più elevati.

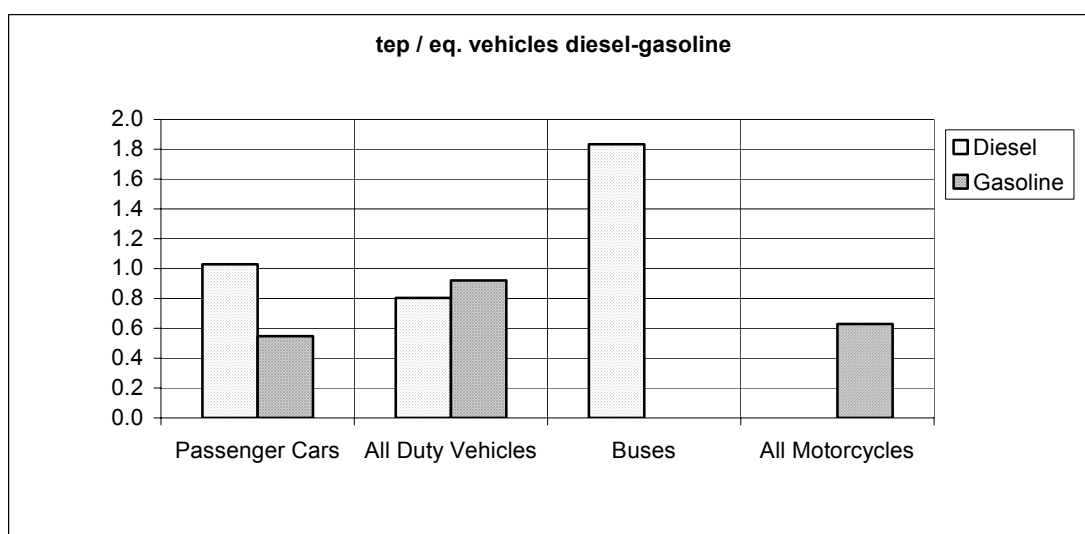


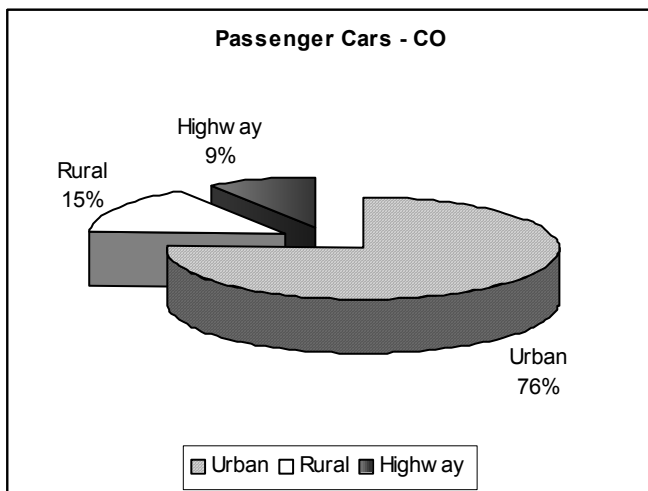
Figura 2.2 – Consumo unitario in tep/auto equivalenti per le varie categorie di veicoli.

² Per la descrizione della procedura eseguita per il calcolo delle auto equivalenti si veda il paragrafo 1.4.2 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

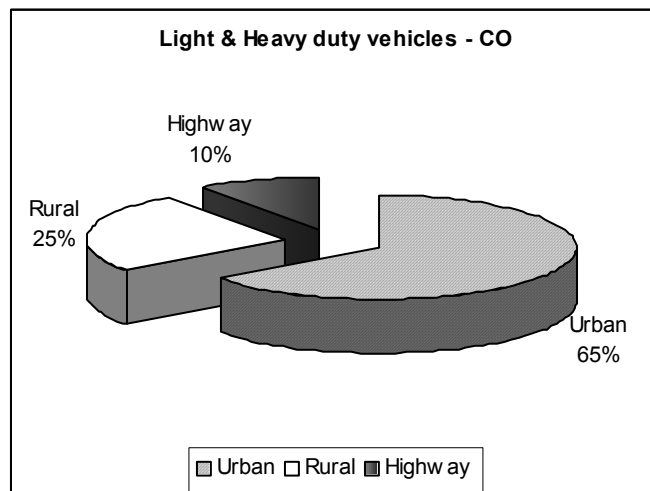
Per quanto riguarda le emissioni inquinanti, la seguente Figura 2.3 riassume la ripartizione del CO nelle varie tipologie di percorso per le principali categorie di veicoli. I valori assoluti delle emissioni di CO dovute al settore trasporti per la Campania, stimati dal modello Copert III a partire dalle ipotesi descritte in precedenza, sono stati riassunti nella Tabella 2.6. In particolare le Figura 2.3 (a) e (b) evidenziano la distribuzione delle emissioni di CO nei percorsi urbani, extraurbani ed autostradali, rispettivamente per gli autoveicoli ed i veicoli merci. Tale rappresentazione grafica evidenzia la notevole prevalenza di emissioni di CO in ambito urbano, soprattutto per gli autoveicoli (il 76%). La Figura 2.3 (c) mostra la ripartizione totale delle emissioni di CO tra le varie tipologie di veicoli, sottolineando la grande quota di emissioni apportata dalle autovetture (88,5% dell'immissione totale di CO). La Figura 2.3 (d) riporta l'andamento di un indice esprimente il rapporto tra la quantità di CO emessa da una determinata tipologia di veicoli ed il numero complessivo di tali veicoli. Tale indice rappresenta un possibile strumento per una valutazione quantitativa del potere inquinante, relativamente alle emissioni di CO, di ogni categoria di veicoli del parco circolante. Da tale analisi emergono valori molto elevati dell'indice sopra descritto per gli autobus ed i veicoli merci, derivanti dall'elevata potenza impegnata da questi ultimi.

Tabella 2.6 – Stima con Copert III delle emissioni di CO [t] in Campania - 2000

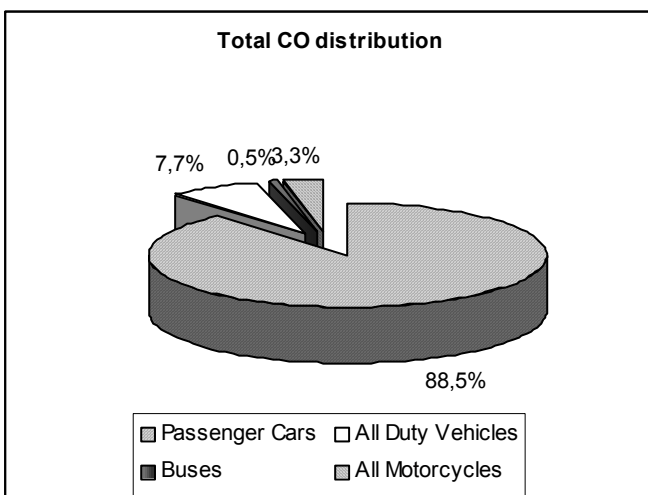
<i>CO [t] total emissions</i>	
Passenger Cars	<i>256.280</i>
All Duty Vehicles gasoline	<i>23.846</i>
Buses	<i>1.512</i>
Motorcycles	<i>10.383</i>
Total	<i>292.020</i>



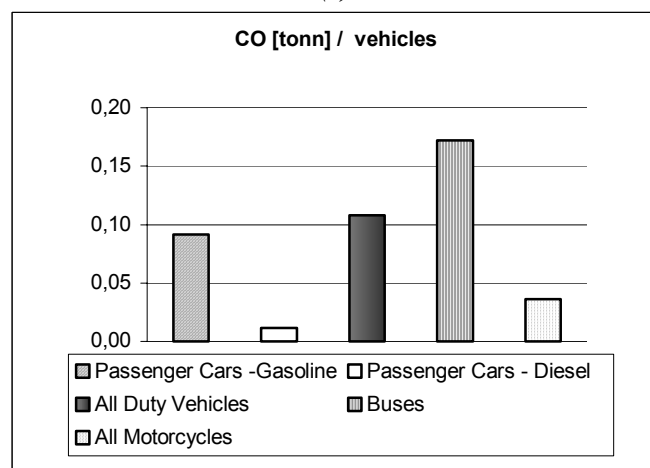
(a)



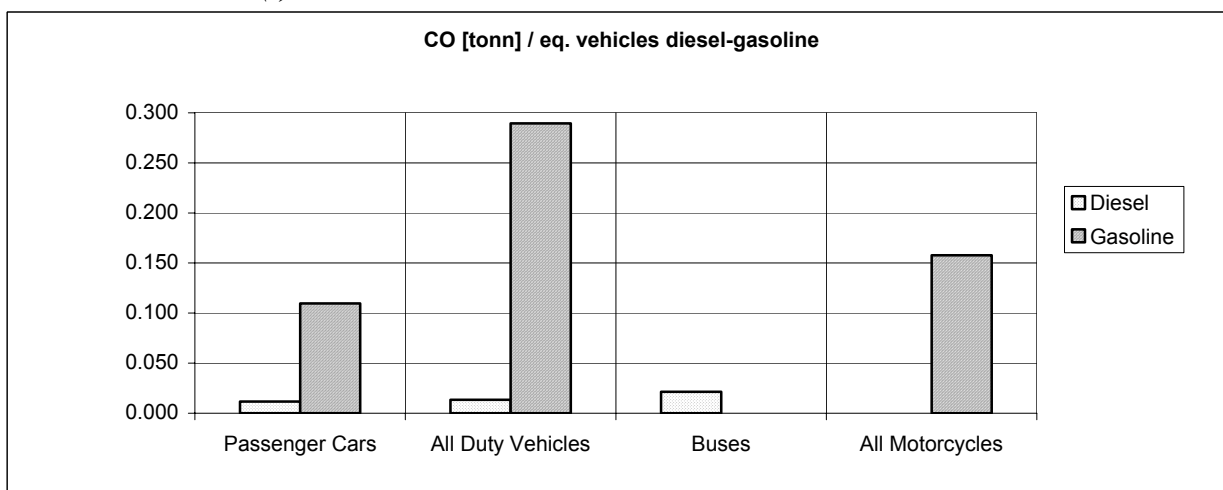
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 2.3 – Analisi grafica delle emissioni di CO in Campania.

È opportuno notare che i dati di CO stimati con il modello Copert III risultano sensibilmente inferiori ai dati ENEA³ che riportano per il 1998 un valore superiore di circa il 55% (460.000 [t]). Il maggiore livello di emissione di CO rispetto al modello, che assume veicoli in perfetta efficienza e rispondenti alle norme di omologazione, è attribuibile all'obsolescenza del parco circolante. Infatti uno scarso grado di manutenzione dei motori determina sensibili scostamenti del livello di emissione dal valore di riferimento.

Per quanto riguarda la stima delle emissioni di ossido di azoto NOx, la seguente Tabella 2.7 riassume i valori, espressi in tonnellate, attribuibili alle singole categorie di veicoli e calcolati con il modello Copert III. Il dato ENEA riferito al 1998 prevede un livello di NOx superiore al dato pari a 81.928 tonnellate, corrispondente al 83,6% del complessivo regionale.

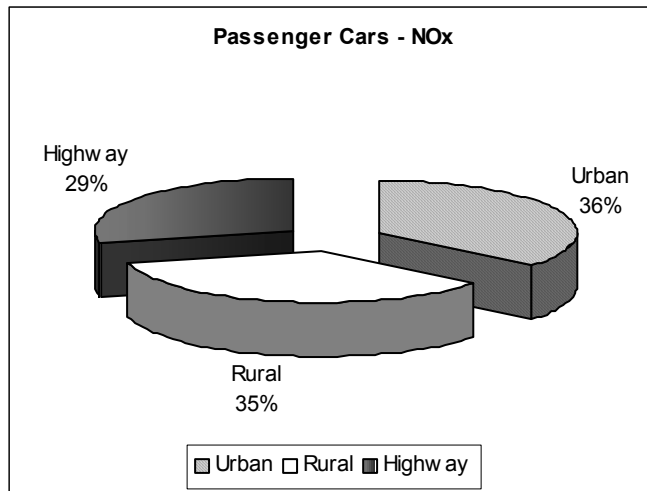
Con l'utilizzo dello strumento matematico Copert III si è stimato, oltre al valore complessivo per singole tipologie di veicoli, anche la distribuzione delle emissioni di ossido di azoto nella Regione per le varie tipologie di percorso (Figura 2.4). I risultati ottenuti mostrano che le emissioni di tale sostanza nei tratti urbani, extraurbani ed autostradali è alquanto omogenea sia per gli autoveicoli (Figura 2.4 a), sia per i veicoli merci (Figura 2.4 b). Rispetto alle emissioni di monossido di carbonio, per gli NOx si ha un notevole contributo dovuto ai veicoli merci e agli autobus (Figura 2.4 c). Infatti, tali sistemi di trasporto impiegano motori a ciclo Diesel con livelli di emissione di NOx maggiori rispetto ai motori ad accensione comandata.

L'analisi delle emissioni per numero di veicoli circolanti (Figura 2.4 d) indica che gli autobus manifestano dei rapporti molto elevati, che tuttavia si riducono notevolmente in relazione al numero di autoveicoli equivalenti corrispondente (Figura 2.5).

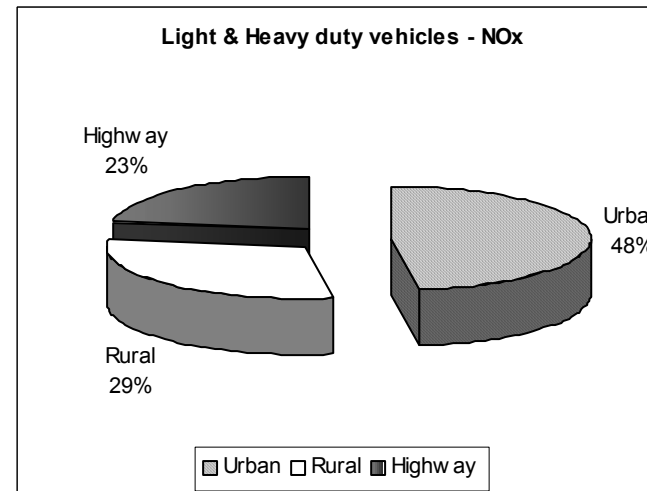
Tabella 2.7 – Valori stimati delle emissioni di NOx [t] in Campania - 2000.

<i>NOx [t] total emissions</i>	
Passenger Cars	<i>36.194</i>
All Duty Vehicles	<i>15.728</i>
Buses	<i>5.058</i>
All Motorcycles	<i>191</i>
Totale	<i>57.180</i>

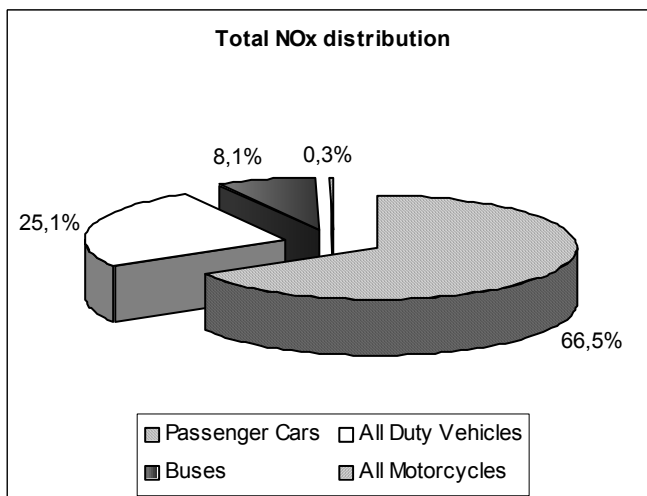
³ I dati di riferimento ENEA, riportati anche per altre specie inquinanti, sono valutati secondo la metodologia CORINAIR utilizzando i fattori di emissione medi valutati su base nazionale. Il codice COPERT III impiega la stessa metodologia CORINAIR senza tener conto di valori medi nazionali.



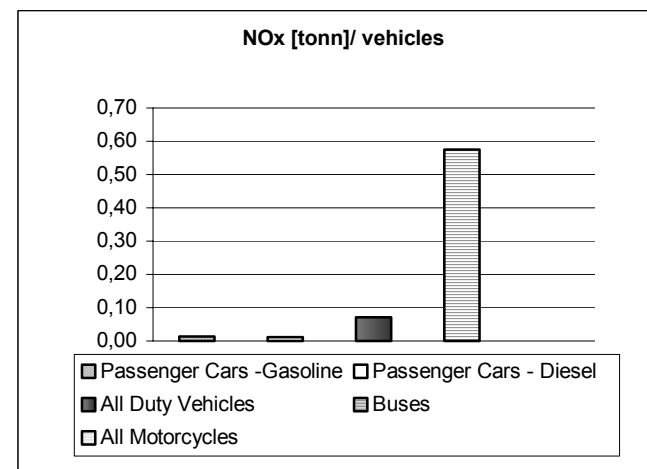
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.4 - Analisi grafica delle emissioni di NOx in Campania.

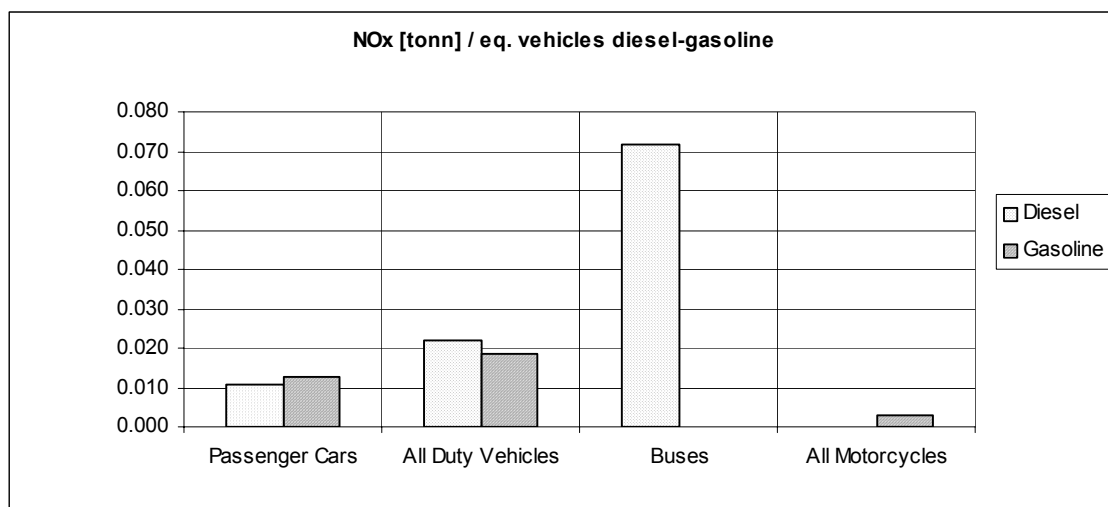


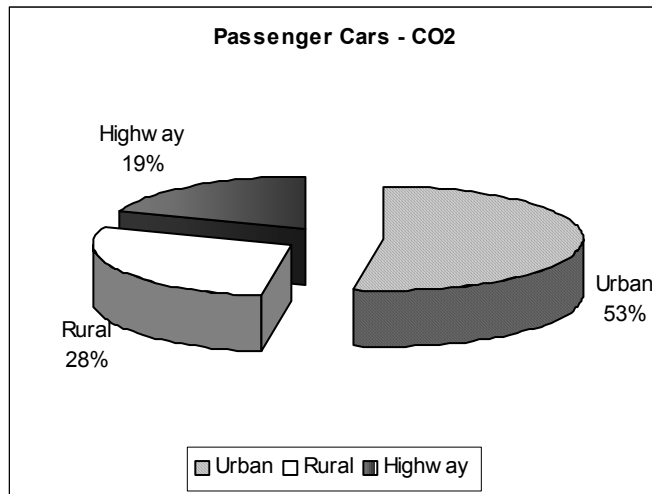
Figura 2.5 - Distribuzione delle emissioni di NOx [t] per veicolo equivalente.

Le emissioni di anidride carbonica CO₂ calcolate con il modello Copert III, seguendo le modalità illustrate in precedenza (cfr. par. 2.1.1), sono state riassunte nella seguente Tabella 2.8. È opportuno ricordare che la CO₂ non è un gas velenoso per gli esseri umani ma contribuisce notevolmente all'effetto serra ed i livelli di immissione nell'ambiente sono stati regolamentati dall'accordo internazionale di Kyoto. I dati forniti dall'ENEA per il 1998 forniscono un livello di 8.085.000 tonnellate di CO₂, confrontabile con il valore della Tabella 2.8. La congruenza tra i dati calcolati ed il dato ENEA è dovuta alla stretta relazione che esiste tra CO₂ e livelli di consumo.

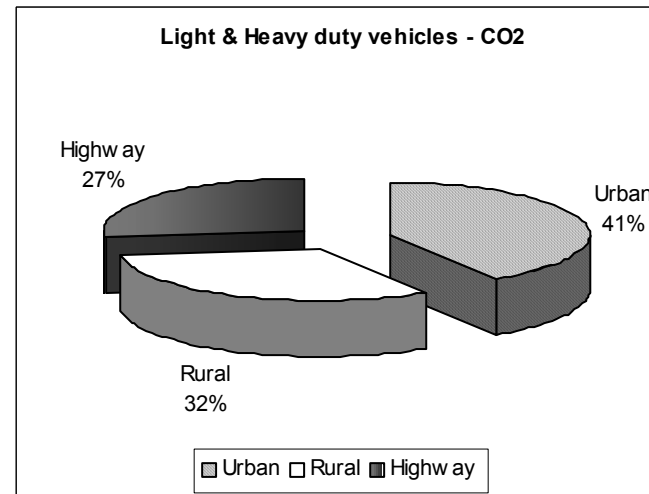
Tabella 2.8 – Stima delle emissioni di CO₂ in Campania – 2000

<i>CO₂ [t] total emissions</i>	
Passenger Cars	<i>5.754.694</i>
All Duty Vehicles	<i>1.778.895</i>
Buses	<i>390.477</i>
All Motorcycles	<i>106.025</i>
Total	<i>8.030.092</i>

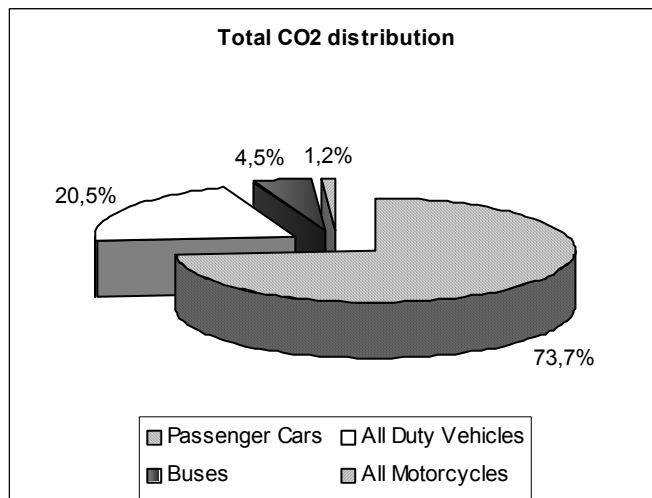
La seguente Figura 2.6 mostra la distribuzione delle emissioni di CO₂ per le varie tipologie di veicoli e di percorsi, mentre la successiva Figura 2.7 evidenzia i maggiori livelli di emissioni unitarie per gli autobus rispetto alle altre categorie. È da notare però che la differenza tra emissione per numero di auto equivalenti tra gli autobus e le autovetture private non è molto elevata, per cui rapportando le emissioni anche al numero di passeggeri trasportati la situazione si capovolgerebbe a vantaggio del trasporto pubblico, come già citato in precedenza.



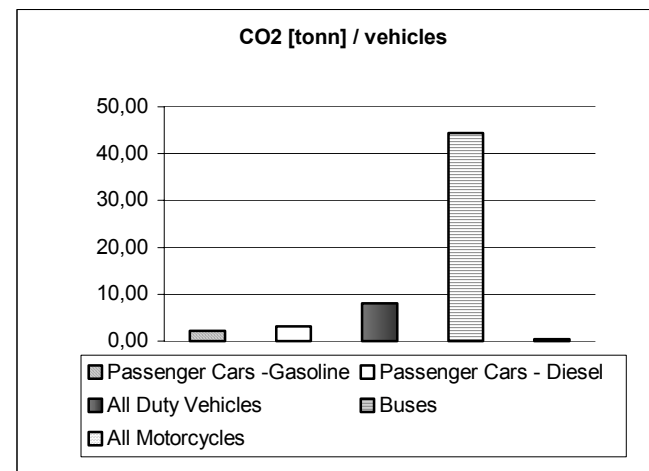
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2.6 - Analisi grafica delle emissioni di CO₂ in Campania

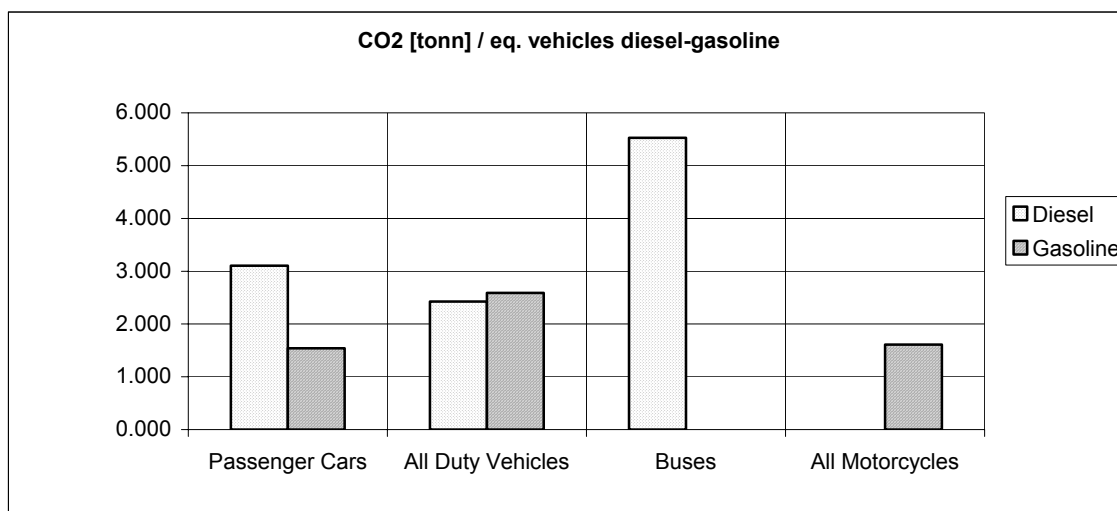


Figura 2.7 - Distribuzione delle emissioni della CO₂ [t] per veicolo equivalente.

2.3. Previsione dei consumi di combustibile al 2010

Nel presente paragrafo vengono illustrati i risultati delle previsioni di consumo fino al 2010 in assenza di interventi strutturali sul parco veicolare. Nella previsione di crescita non si è tenuto conto dell'incremento medio annuo del periodo 1991-2000, in tale periodo, infatti, il tasso di crescita del parco veicolare è stato del 4,8% circa per anno e le cause che hanno determinato tale crescita, in presenza di condizioni economiche favorevoli, non sono verosimilmente ripetibili nel corso dei prossimi anni. Dalla Tabella 1.4 si nota che la Campania, nel periodo 1991-2000, ha avuto un incremento del parco veicolare pari al 48% (con crescita media annua 4,8%), rispetto al valore medio nazionale del 17%. Inoltre, il tasso di crescita dovrebbe essere depurato degli effetti legati agli incentivi alla sostituzione delle autovetture (+23% nel periodo 1995-1996) ed alla riduzione della pressione fiscale sui veicoli equipaggiati con motore a ciclo Diesel. Questi due interventi, infatti, hanno portato ad un rinnovamento effettivo del parco veicolare pari al 3,5% annuo. A valle delle considerazioni appena svolte, per il presente studio si è utilizzato come indice di riferimento il rapporto tra abitanti e veicoli che nel 1999 è pari a 1,85 (cfr. § 1.2.1 e Tabella 1.5) assumendo quindi un aumento del parco veicolare dipendente dalla crescita demografica. Il rapporto abitanti veicoli infatti consente di eseguire delle stime più attendibili rispetto alla definizione di scenari che prevedano una crescita del parco auto svincolata dalla popolazione. Infatti, se si prevedesse il parco veicoli sulla base di considerazioni economiche legandolo all'andamento del PIL si creerebbe implicitamente un legame con l'indice di efficienza energetico. Si è preferito, quindi, valutare quest'ultimo indice mediante il rapporto tra consumi e PIL stimati indipendentemente, il primo dal numero di veicoli e dalle caratteristiche del parco circolante (tipo di alimentazione, veicoli da trasporto, tecnologia), l'altro dai dati statistici ISTAT.

Nelle stime, oltre a tener conto del miglioramento delle prestazioni dei veicoli in termini di consumi ed emissioni, si è anche modificata la composizione del parco autoveicolare tenendo conto delle previsioni di crescita dei veicoli alimentati a gasolio rispetto a quelli alimentati a benzina, secondo i dati forniti dall'Unione Petrolifera (cfr. Tabella 2.9). È opportuno ricordare che i veicoli con motore a ciclo Diesel presentano dei consumi inferiori rispetto ai veicoli alimentati a benzina.

Tabella 2.9 – Variazione della composizione dei veicoli rispetto al tipo di alimentazione.

Composizione del parco veicolare [%]			
<i>Anno</i>	<i>Benzina</i>	<i>Diesel</i>	<i>GPL</i>
2000	75,5	18,2	6,3
2003	72,8	20,2	7,0
2005	69,5	23,4	7,1
2005	64,6	28,1	7,3

Nella simulazione dei consumi dal 2000 al 2010 si sono considerati i periodi intermedi relativi al 2003 ed al 2005 in corrispondenza della progressiva entrata in vigore dei nuovi limiti di emissione (Euro III, Euro IV ed Euro V).

Nel seguito vengono riportati gli andamenti dei consumi di benzina, gasolio e totali espressi in tonnellate equivalenti di petrolio (tep) e l'intensità energetica del PIL del settore trasporti espressa in tep/MEuro; i dati di consumo sono stati confrontati con gli andamenti tendenziali valutati su base statistica, mentre per l'intensità energetica del PIL viene riportato l'andamento dello stesso su base nazionale.

Dalla Tabella 2.10 si nota la riduzione dei consumi per benzina e gasolio, con un incremento del GPL; al 2010 il consumo atteso presenta una riduzione al 3,7%. Un leggero incremento dei consumi totali è previsto per il 2003, mentre dal 2005 la tendenza alla riduzione dovrebbe stabilizzarsi. Il gasolio presenta una riduzione consistente, infatti, le analisi svolte portano ad una previsione nella riduzione dei consumi pari al 7,5%, con una stabilità della domanda fino al 2003 ed una marcata flessione nel periodo 2003-2005 (-4,1%), mentre nel periodo 2005-2010 la riduzione (-3,4%) dovrebbe stabilizzarsi su valori medi annui più ridotti (0,68%). Il dato relativo al periodo 2003-2005 dovrà essere confermato dalle statistiche dei prossimi anni in quanto il risultato ottenuto si basa su due fattori concorrenti, il previsto aumento dei veicoli alimentati a gasolio (circa il 2%, cfr. Tabella 2.9) e il sensibile miglioramento dell'efficienza dei motori a ciclo Diesel. Dai dati tecnici dei nuovi veicoli alimentati a gasolio, immessi sul mercato dal 1999 al 2003, si prevede un miglioramento dell'efficienza media per veicolo di poco superiore al 15%, mentre per il 2010 la tecnologia motoristica dovrebbe portare un incremento dell'efficienza pari al 30% circa che, combinata all'aumento di 10 punti della composizione del parco veicolare, può

portare alla riduzione di consumo prevista. Viceversa, la variazione dei consumi di benzina dovrebbe essere del -2,8% al 2010, tale riduzione meno marcata rispetto al gasolio è dovuta ad una differente congiuntura tecnica dei motori alimentati a benzina. Infatti, nel medio termine è previsto un ridotto miglioramento dei rendimenti di conversione energetica dei motori ad accensione comandata, che hanno raggiunto un elevato livello di maturità tecnologica già nel corso degli ultimi dieci anni grazie al largo uso dell'elettronica. Inoltre, al momento la ricerca è orientata verso sistemi con prestazioni in grado di soddisfare le limitazioni imposte dai vincoli legislativi in materia di inquinamento, trascurando gli obiettivi energetici. Sotto il profilo puramente tecnico, è opportuno ricordare che con gli attuali sistemi di abbattimento delle emissioni allo scarico dei veicoli alimentati a benzina è obbligatorio il ricorso a gradi di dosatura della miscela comburente fissati, mentre i motori con tecnologia GDI (Iniezione Diretta di Combustibile), operanti con miscele povere di combustibile, garantiscono livelli di consumo inferiori rispetto ai motori attualmente disponibili. Sebbene una limitata scelta di tali veicoli sia già disponibile sul mercato, la complessità tecnica, il conseguente costo e l'orientamento di molte aziende automobilistiche verso soluzioni più radicali a lungo termine (veicoli ibridi, uso dell'idrogeno) ne limiteranno la diffusione nel medio termine.

L'incremento dei consumi di GPL (+17,4% al 2010) è determinato da un aumento del numero di veicoli alimentati a GPL (cfr. Tabella 2.9), secondo una tendenza consolidata nel corso degli ultimi anni. Si assisterà anche ad un aumento del numero di veicoli alimentati a metano con la progressiva sostituzione dei veicoli a GPL ed un incremento nelle vendite dei combustibili gassosi.

Tabella 2.10 – Consumi complessivi di combustibile per autoveicoli, autocarri, bus, motocicli.

Consumi [tep]				
<i>Anno</i>	<i>benzina</i>	<i>gasolio</i>	<i>GPL</i>	<i>totale</i>
2000	1.325.705	1.432.357	198.064	2.956.127
2003	1.324.286	1.431.063	218.212	2.973.562
2005	1.292.411	1.371.893	215.293	2.879.597
2010	1.287.416	1.324.826	233.572	2.845.815

Nella Figura 2.8 è riportato il confronto tra gli andamenti del consumo totale dei combustibili previsti con il modello Copert III (cfr. Tabella 2.10) ed i dati ISTAT. I dati calcolati presentano una sovrastima costante pari al 5% rispetto ai dati ISTAT con la medesima tendenza verso la citata riduzione dei consumi al 2010. Il minore tasso di riduzione dei consumi tra 2005 e 2010 è causato dal raggiungimento di una condizione di stabilità del parco circolante che complessivamente presenta un aumento delle immatricolazioni del 15% circa con un incremento netto del circolante pari al 6,5% tra il

2000 ed il 2010 ed una quota di veicoli alienati pari all'8,5%. La riduzione complessiva è ottenuta grazie all'uscita dal parco circolante dei veicoli con tecnologia obsoleta (8,5%), che contribuiscono ad aumentare i consumi, e l'uso di veicoli con tecnologia più avanzata (15%). Infatti, dal 2005 il parco circolante verifica un rinnovamento pari ad un quarto della consistenza riferita al 2000 con il 26% dei veicoli alienati; per le autovetture alimentate a benzina solo il 7,5% viene dismesso mentre le vetture alimentate a gasolio presentano un livello di dismissione pari al 73%. Questi dati consentono di interpretare gli andamenti dei consumi di benzina e gasolio illustrati nelle Figura 2.9 e Figura 2.10.

Per quanto attiene ai consumi di benzina (cfr. Figura 2.9) si riscontra una sovrastima ($\approx 7-10\%$) con la riduzione dei consumi più marcata per i dati statistici ISTAT. La tendenza alla stabilità dei consumi tra il 2005 ed il 2010 è causata dal raggiungimento di una condizione di saturazione dei livelli di efficienza del parco circolante con riduzioni marginali dei consumi a seguito del minore livello di rinnovamento del parco veicolare ($-7,5\%$).

I consumi di gasolio (cfr. Figura 2.10) al 2000 presentano un buon livello di accordo rispetto ai dati statistici ISTAT con una lieve sovrastima del 2%. Nel caso in esame la tendenza alla riduzione è più marcata rispetto ai consumi di benzina a causa del citato miglioramento tecnologico dei motori alimentati a gasolio e del maggiore grado di rinnovamento del parco circolante.

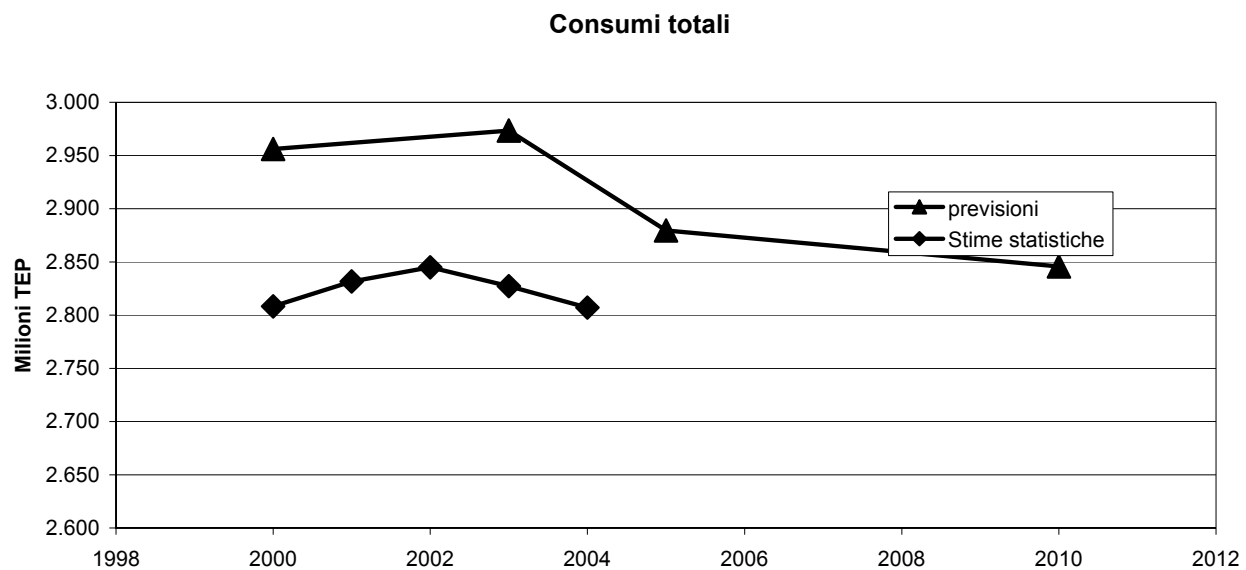


Figura 2.8 – Confronto tra i consumi totali di combustibile previsti ed i dati statistici.

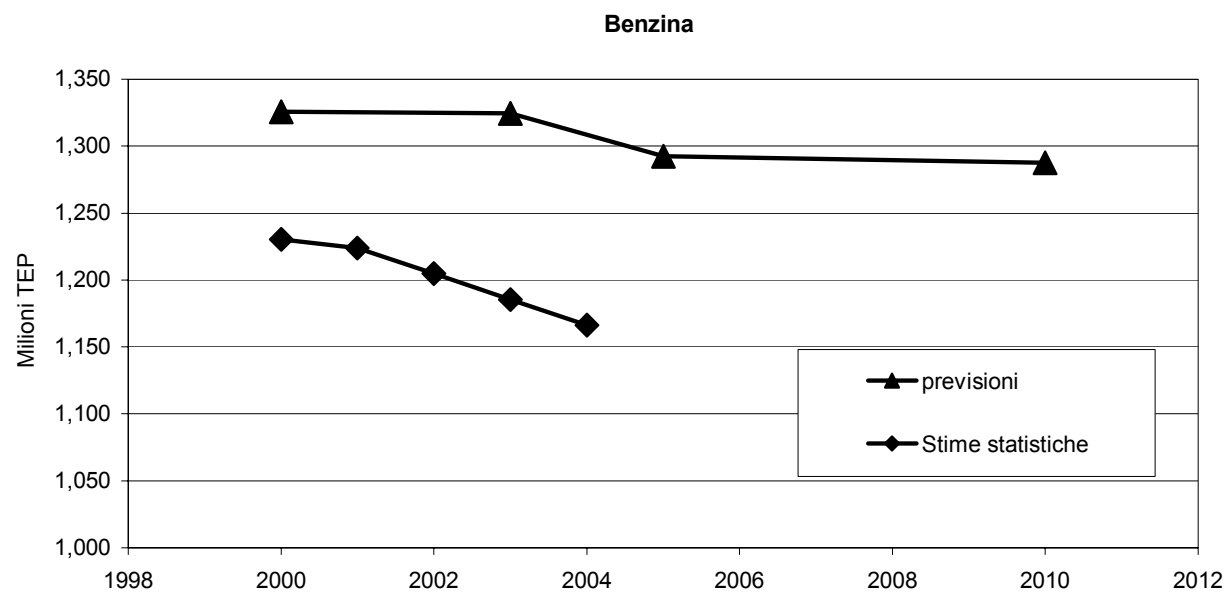


Figura 2.9 – Confronto tra i consumi di benzina previsti ed i dati statistici.

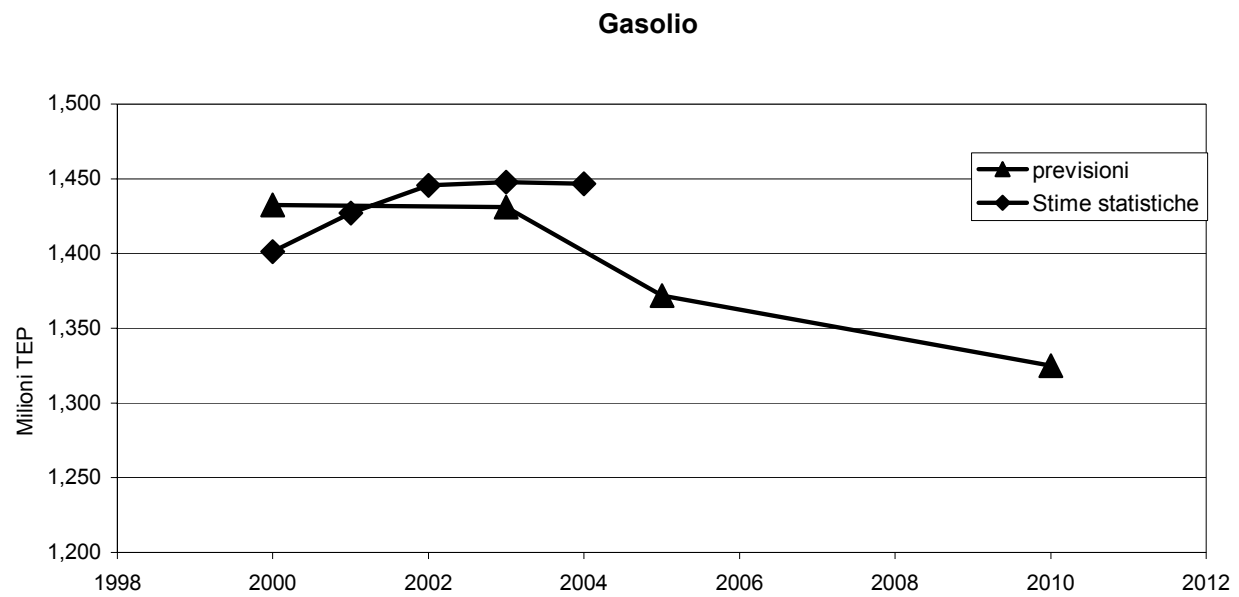


Figura 2.10 - Confronto tra i consumi di gasolio previsti ed i dati statistici

L'andamento dell'intensità energetica del PIL valutato nel periodo 2000-2010 è riportato in Figura 2.11, nella stessa figura è rappresentato anche l'indice nazionale dal 1995 con una proiezione statistica (dati ISTAT) fino al 2010, per completezza è anche rappresentato l'andamento dell'indice della Campania riferito al periodo 1995-2000, già analizzato nel paragrafo 1.4.3 (cfr. Figura 1.13).

Dall'analisi della figura, si nota che la riduzione dei consumi, prevista per lo scenario analizzato nel corso del presente paragrafo, porta ad una riduzione dell'indice di intensità energetica con un andamento tendenziale analogo all'andamento nazionale. Tuttavia, è opportuno notare che lo scostamento medio tra i due indici è dell'ordine del 19% rispetto al 15% nel periodo 1995-1999 (cfr. § 1.4.3). Pertanto, la prevista riduzione dei consumi del 3,7% consentirà di migliorare lo sfruttamento energetico nel settore trasporti ma con un peggioramento relativo rispetto alla media nazionale. Queste considerazioni mettono in evidenza la necessità di interventi mirati che consentano di ridurre ulteriormente l'intensità energetica del PIL. L'intensità energetica del PIL per ciascuna tipologia di combustibile utilizzato è riportata nella Figura 2.12 e la relativa ripartizione percentuale nella Tabella 2.11.

Per quanto attiene alle previsioni dei livelli inquinanti è prevista una riduzione rispetto ai valori di riferimento valutati per il 2000 (cfr. Tabella 2.6 per CO, Tabella 2.7 per NOx e Tabella 2.8 per CO₂) tale riduzione è proporzionale alla riduzione del 3,7% prevista per i consumi complessivi.

Tabella 2.11 – Frazioni dell'intensità energetica del PIL per tipologia di combustibile, i valori assoluti sono riportati nel grafico di Figura 2.12.

Composizione dell'intensità energetica [%]			
	<i>Benzina</i>	<i>Gasolio</i>	<i>GPL</i>
2000	44,8	48,5	6,7
2005	44,5	48,1	7,6
2010	44,9	47,6	7,6

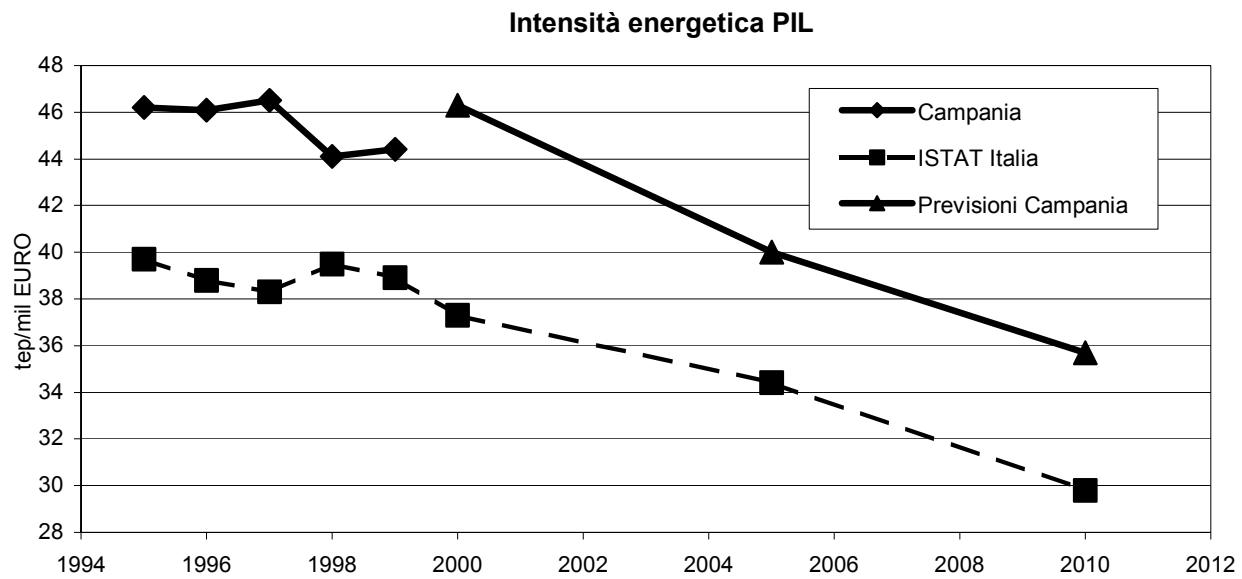


Figura 2.11 – Intensità energetica del PIL, confronto con l'andamento dell'intensità energetica del PIL in Italia

Intensità energetica PIL per tipologia di combustibile

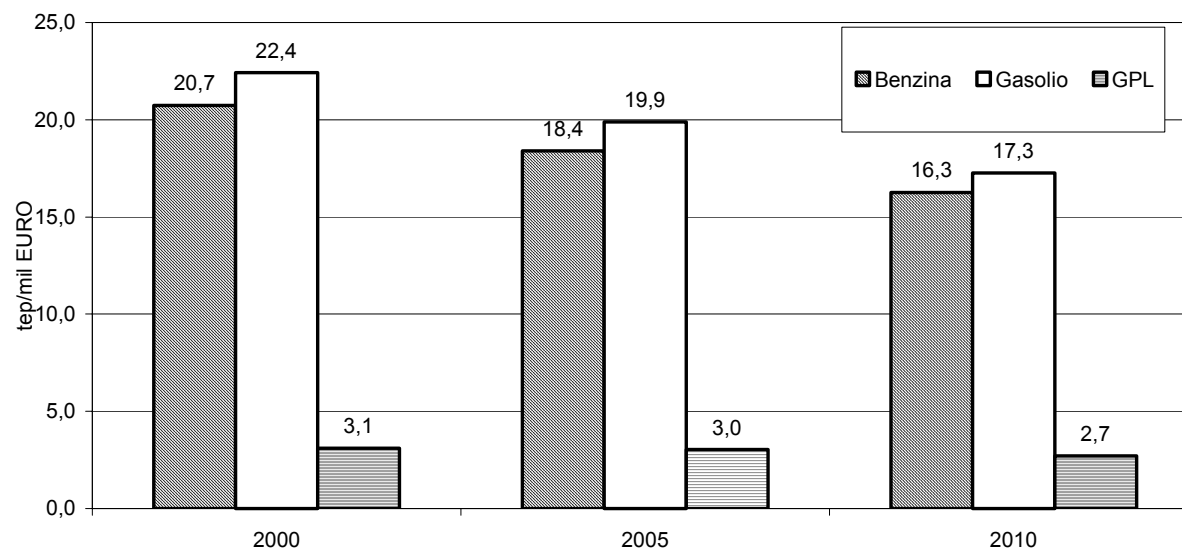


Figura 2.12 – Intensità energetica del PIL per tipologia di combustibile e relative quote percentuali rispetto al totale

3. Linee d'indirizzo

Nel corso della presente sezione vengono individuate delle linee guida per la definizione degli interventi mirati al conseguimento della riduzione dei consumi energetici nel settore dei trasporti, con un diretto risultato sulla riduzione dell'anidride carbonica (CO₂) immessa nell'ambiente. Il conseguimento del secondo obiettivo può essere anteposto alla riduzione dei consumi se si considera vincolante il trattato di Kyoto, che impone una riduzione dei livelli di CO₂ e degli altri inquinanti¹ (cfr. Tabella 2.1). In termini di strategie di intervento, la riduzione dei consumi può dar luogo una generale riduzione delle emissioni inquinanti, mentre il perseguire su scala globale in tutti i settori (trasporti, consumi domestici, generazione di energia elettrica, ecc.) gli obiettivi del trattato di Kyoto potrebbe determinare una riduzione dei consumi meno marcata. Infatti, il raggiungimento della soluzione ottimale di un problema multi-obiettivo (rispettare contemporaneamente tutti i vincoli imposti dal trattato di Kyoto e ridurre i consumi), con soluzioni spesso contrastanti, richiederebbe un elevatissimo onere economico e sociale, attesa la indisponibilità di soluzioni non sperimentali attuabili sotto il profilo tecnologico, economico e sociale.

È opportuno notare la complessità degli interventi mirati a limitare e razionalizzare un settore fondamentale nella determinazione dello sviluppo della società, che concorre a definire il livello di benessere dei singoli. Infatti, oltre alle prevedibili implicazioni di natura tecnologica legata ai mezzi ed ai sistemi di trasporto, vi è una componente sociale e culturale che può rappresentare un vincolo non trascurabile nell'attuare misure di mobilità sostenibile, che rappresenta l'obiettivo di una programmazione di medio e lungo termine. Pertanto, come riportato nel seguito, la sola politica di intervento mirata all'ammodernamento del sistema (es. introduzione di veicoli a basso impatto ambientale) non può che rappresentare un aspetto del problema, maggiori possono essere i benefici se si attuano politiche che favoriscano i sistemi di trasporto collettivo, l'uso limitato dei mezzi nei centri abitati, un maggiore ed efficace controllo dei veicoli, la razionalizzazione del trasporto merci, con incentivi al decongestionamento delle aree urbane.

Le ipotesi di intervento nel settore trasporti verranno analizzate a partire dallo scenario di riferimento elaborato nella precedente sezione (cfr. § 2.2.1), assumendo come obiettivo la riduzione dei consumi finalizzata alla riduzione dell'intensità energetica del PIL (cfr. Figura 2.11) ed alla conseguente riduzione del livello di anidride carbonica immessa nell'ambiente. Si valuteranno gli effetti potenziali di soluzioni tecnologiche alternative e differenti strategie attuabili in relazione a semplici implicazioni di carattere economico e sociale.

È opportuno notare che lo scenario di riferimento al 2000 è stato definito assumendo dei vincoli molto stretti in termini di aumento del parco veicolare con un tasso di crescita medio annuo pari allo 0,6% tra il 2000 ed il 2010 con un livello di veicoli immatricolati pari al 1,35% per anno rispetto ad un tasso di crescita annuo del

¹ Il soddisfacimento dei vincoli imposti dal trattato di Kyoto prevede per la Campania una riduzione complessiva delle emissioni di CO₂ compresa tra il 4 ed il 4,5%.

periodo 1991-2000 pari al 4,8%. Tra le ipotesi assunte quella relativa alla crescita del parco circolante risulta molto critica ma è l'unica che può garantire, senza altri interventi mirati, la riduzione dei consumi e mantenere un divario costante (+19%) tra l'intensità energetica regionale e quella nazionale.

3.1.Valutazioni su possibili scenari ed interventi

Nei seguenti paragrafi vengono riportate delle valutazioni quantitative e qualitative in merito ad ipotesi di scostamento dalle condizioni di riferimento relative allo scenario illustrato nel paragrafo 2.2.1. Gli scenari tracciati sono realizzabili nel contesto socio-economico regionale e tengono conto di un elevato livello di fattibilità tecnologica, trascurando soluzioni ancora a livello sperimentale.

3.1.1. Incremento del parco circolante al 2010

Ipotizzando che si verificano delle congiunture economiche e sociali tali da ridurre il rapporto abitanti veicoli (1,80 nel 2003, 1,75 nel 2005 ed 1,65 nel 2010), si determinerebbe un aumento complessivo del parco circolante pari al 17,8%, rispetto alla crescita del parco circolante del 6,5% ipotizzata nella precedente sezione. In tali condizioni i consumi totali di combustibile aumenterebbero dell'8,7% rispetto al 2000 ed un andamento dell'intensità energetica riportato nella Figura 3.1 con un incremento di circa 4 [tep/MEuro] al 2010 ed una differenza media del +28 % rispetto alle stime nazionali. Per la CO₂ si verificherebbe un aumento del livello di emissione comparabile alla crescita dei consumi.

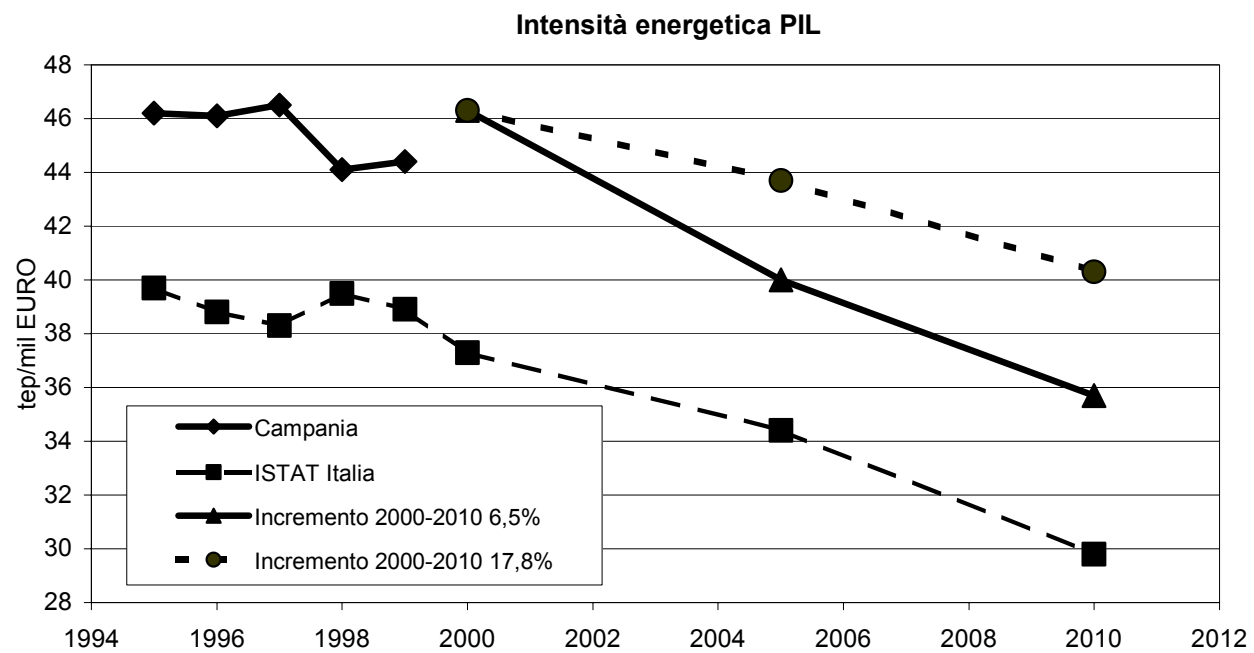


Figura 3.1 – Confronto tra gli andamenti dell'intensità energetica del PIL per due ipotesi di crescita del parco veicolare e l'andamento previsto a livello nazionale

3.1.2. Sostituzione di autoveicoli convenzionali con veicoli ibridi

La riduzione dei consumi può essere perseguita attraverso l'utilizzo di veicoli ibridi che impiegano per la trazione sia un motore a combustione interna sia un motore elettrico (maggiori dettagli su tale tecnologia sono forniti nel materiale descrittivo allegato). Ai fini della presente analisi di scenario si ipotizza un consumo di combustibile medio di tali veicoli pari a 28,5 [km/l] con un'autonomia circa doppia rispetto ai veicoli convenzionali. Al fine di verificare i possibili vantaggi in termini di riduzione complessiva dei consumi di combustibile, sono state eseguite tre analisi di scenario a partire dal caso base analizzato nella precedente sezione (A, B, C - cfr. Tabella 3.1). Per ogni scenario si è ipotizzato che i veicoli ibridi sostituiscano una quota crescente di veicoli alimentati a benzina ed a gasolio, lasciando inalterata la composizione ed i consumi relativi agli altri veicoli. Nella Tabella 3.1 sono state riportate le variazioni dei consumi stimati e le quote percentuali di veicoli ibridi rispetto all'insieme delle classi di autoveicoli a benzina e Diesel, con valori limitati per lo scenario A e con quote crescenti per gli scenari B e C. Dall'analisi della Tabella 3.1 e della Figura 3.2, si nota che una apprezzabile riduzione dei consumi e dell'intensità energetica si può ottenere con lo scenario C che prevede al 2010 una quota di veicoli ibridi del 9,5% e del 8,5% rispetto al totale degli autoveicoli a benzina e Diesel. Per lo scenario C, infatti, la riduzione dei consumi di benzina e gasolio per autotrazione è, rispettivamente, del 4,61% e del 4,68%. Il risparmio totale di combustibile al 2010 riferito al caso base è pari al 3,4%, determinando una riduzione nei consumi del 7% rispetto al consumo complessivo del 2000.

È opportuno notare che la possibilità di immatricolare dei veicoli ibridi nelle percentuali elevate previste nello scenario C può essere verificata solo in presenza di una forte riduzione dei costi di acquisto di tali veicoli, che al momento presentano livelli di prezzo superiori al 50% rispetto ai corrispondenti autoveicoli convenzionali.

Tabella 3.1 – Variazione dei consumi per tre scenari relativi all'introduzione di autoveicoli a propulsione ibrida. Le quote relative a benzina e gasolio si riferiscono al consumo totale delle categorie di riferimento

	Anno	Veicoli ibridi in sostituzione di autoveicoli a benzina e Diesel [%]		Variazione consumo, valori riferiti al caso base (Tabella 2.10) [%]		
		Benzina	Diesel	Benzina	Gasolio	Totale
A	2005	1,91	1,45	-1,01	-0,84	-0,70
	2010	4,60	4,10	-2,30	-2,34	-1,70
B	2005	2,89	2,20	-1,51	-1,27	-1,00
	2010	6,50	5,80	-3,22	-3,28	-2,40
C	2005	7,01	5,28	-3,53	-2,95	-2,30
	2010	9,50	8,50	-4,61	-4,68	-3,40

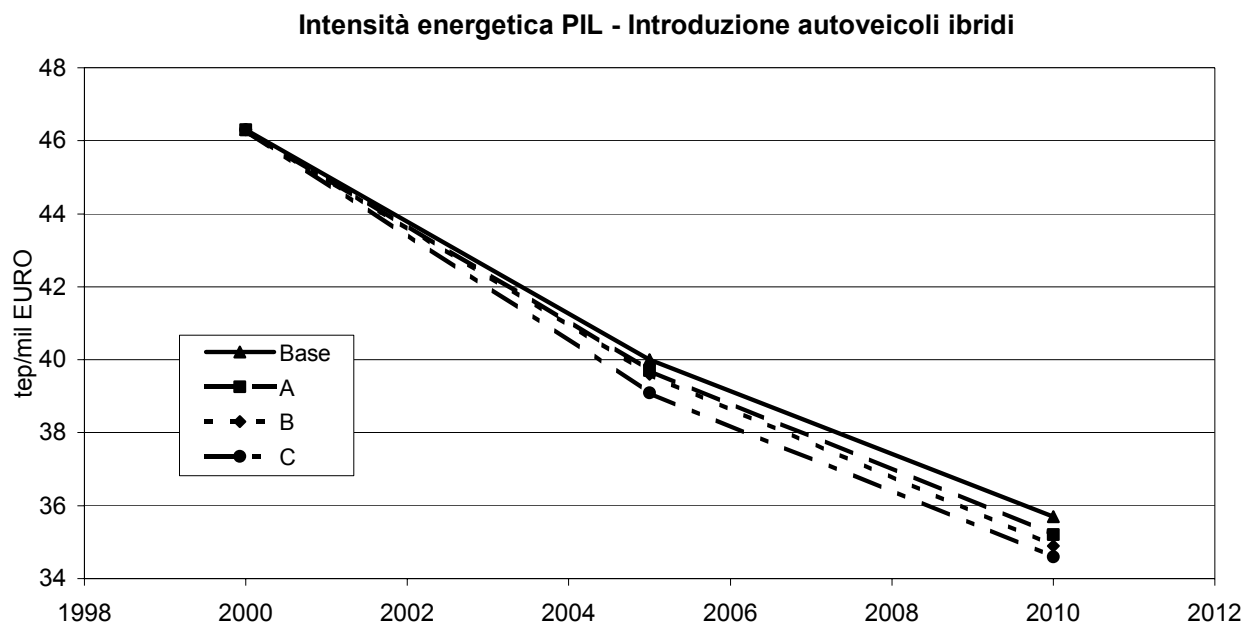


Figura 3.2- Andamento dell'intensità energetica del PIL a seguito dell'introduzione di veicoli ibridi secondo i tre scenari riportati nella Tabella 3.1.

3.1.3. *Valutazioni sull'uso del trasporto pubblico urbano*

I consumi energetici legati alla mobilità, se analizzati in un contesto d'insieme ampio, oltre ad essere dipendenti dalla tecnologia, sono influenzati da fattori socio-culturali che determinano dei modelli comportamentali ben radicati negli utenti del sistema trasporti. Tali modelli comportamentali sono stati oggetto di studi di notevole rilevanza e consentono di valutare scenari sempre più realistici e, quindi, di determinare gli interventi di pianificazione delle modalità di trasporto. Nella regione Campania le condizioni di riferimento hanno portato al radicarsi di modelli comportamentali fortemente individualistici con l'affermarsi del mezzo proprio quale modalità di trasporto preferenziale su base locale e regionale. L'analisi di scenario sintetizzata nel seguito tende a dare delle risposte quantitative ad una ipotesi di trasporto urbano che utilizzi maggiormente il mezzo di trasporto pubblico rispetto all'automobile.

Lo scenario di riferimento prevede il soddisfacimento della domanda di mobilità mediante autobus. Non si è tenuto in conto l'ipotesi di trasporto ferroviario, infatti, l'uso del treno in luogo dell'automobile porterebbe ad una forte alterazione del bilancio energetico dei trasporti. In tal caso, si rimuoverebbe dal bilancio l'energia necessaria a soddisfare la domanda di mobilità relativa alla quota di utenza che utilizza il trasporto ferroviario. Una valutazione consistente richiederebbe la rivalutazione complessiva del bilancio energetico regionale inglobando i consumi energetici ferroviari.

L'analisi è stata svolta ipotizzando che una quota di autoveicoli (benzina e Diesel) non venga utilizzata nelle aree urbane, nelle elaborazioni si è assunto che per ogni autoveicolo vi sia un corrispondente utente del sistema di trasporto pubblico. Pertanto, si è considerato l'incremento di autobus necessari a soddisfare l'aumento di domanda di trasporto pubblico secondo dei rapporti variabili tra la riduzione di veicoli e l'incremento degli autobus. Il bilancio energetico è stato quindi rivalutato considerando la differenza netta tra la riduzione dei consumi del parco autoveicoli ed il corrispondente incremento del consumo degli autobus nelle aree urbane. Inoltre, al fine di tener conto dell'efficienza del sistema trasporti regionale nelle aree urbane, si è preferito derivare i coefficienti di equivalenza tra autobus e veicoli dai dati statistici regionali, in luogo dei corrispondenti dati di equivalenza energetica ricavati su base tecnica e riferiti alla realtà nazionale, utilizzati nel paragrafo 2.1.2 (Figura 2.2).

Nella Figura 3.3 sono stati riportati i risultati dell'analisi svolta assumendo una riduzione dell'utilizzo degli autoveicoli nelle aree urbane pari al 10%. Per ogni autobus si è considerato un numero di veicoli non utilizzati variabile tra 30 e 80, che corrisponde al numero di passeggeri per autobus che non utilizza l'autovettura negli spostamenti urbani. Dalla figura si nota che la riduzione complessiva del consumo varia tra lo 0,5% ed il 2,5% circa nel passare da 35 a 80 passeggeri per autobus. Il livello di soglia necessario a realizzare un risparmio di combustibile è pari a circa 30 autoveicoli per autobus, infatti dall'analisi dei dati statistici si nota che il rapporto tra i consumi di combustibile degli autobus urbani ed i consumi degli autoveicoli nelle aree urbane è pari a 28,7. Il rapporto tra i consumi si riduce a 19 se valutato tenendo conto anche dei

tratti extrurbani ed autostradali. Dall'analisi della Figura 3.3 si nota una tendenza alla saturazione della riduzione dei consumi per elevati valori del rapporto veicoli autobus, è opportuno notare che nelle simulazioni non si è tenuto in conto del miglioramento dell'efficienza del sistema di trasporto pubblico a seguito della riduzione dei veicoli circolanti. In base a tale assunzione, che è dipendente dalla tipologia di approccio seguita in fase di modellazione matematica, si sono ritrovate riduzioni marginali del consumo indipendenti dalla percentuale di autoveicoli sostituiti.

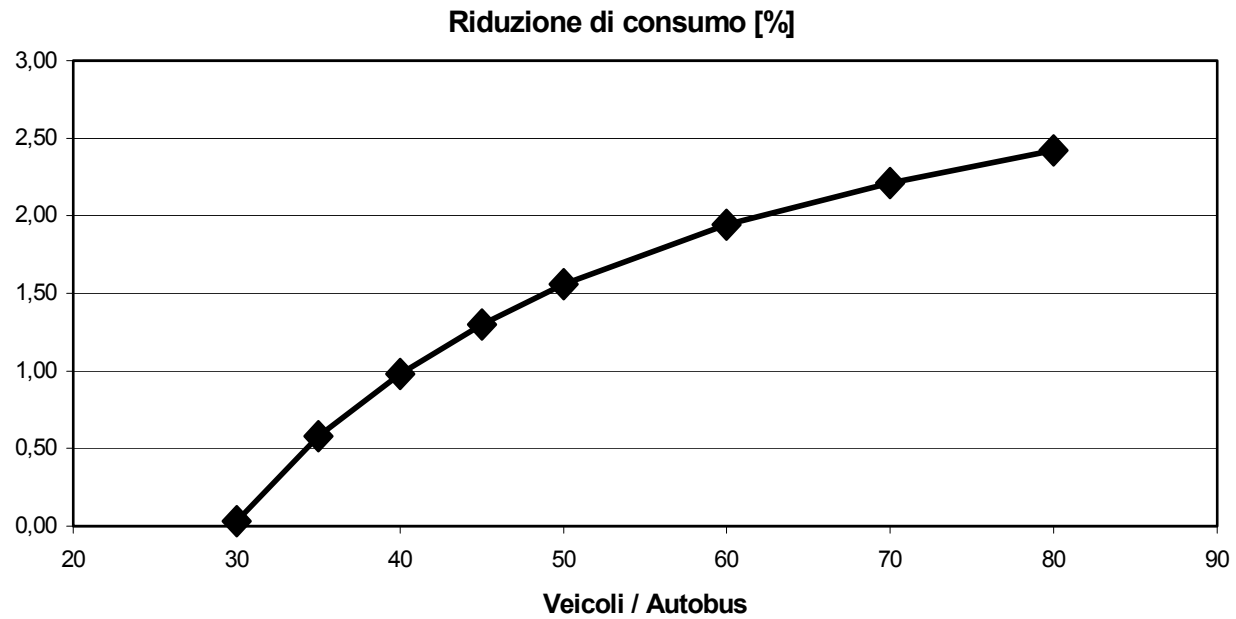


Figura 3.3 - Riduzione percentuale dei consumi complessivi di combustibile (tep) a seguito di una riduzione del 10% dell'uso degli autoveicoli nelle aree urbane, al variare del numero di veicoli non utilizzati per autobus.

3.2. Considerazioni conclusive

L'insieme degli scenari analizzati consente di tracciare delle linee guida da seguire nella definizione degli interventi mirati a razionalizzare e ridurre i consumi energetici nel settore dei trasporti. Dal quadro complessivo si può affermare che, nei limiti delle ipotesi assunte, l'insieme degli interventi determinerebbe una riduzione dei consumi al 2010 pari a circa il 9% rispetto al valore di riferimento del 2000.

Il livello di riduzione del consumo porterebbe nel 2010 ad un valore dell'intensità energetica del PIL pari a circa 33 [tep/MEuro] rispetto a 35,7 [tep/MEuro] previsti in assenza di interventi strutturali e con una crescita del parco veicolare del 6,5% tra il 2000 ed il 2010.

Sotto il profilo ambientale la riduzione dei consumi del 9% garantirebbe il soddisfacimento delle limitazioni imposte dal trattato di Kyoto per la CO₂. Inoltre, misure volte ad introdurre i veicoli ibridi e ad incentivare l'uso del mezzo pubblico su base urbana assicurerebbero vantaggi ancora più marcati in termini di emissioni inquinanti nelle aree a maggiore rischio ambientale.

Al termine del lavoro bisogna ricordare che il livello tecnologico del sistema trasporti regionale è molto limitato e la capacità di introduzione di nuove tecnologie di trasporto è rallentata da fattori di natura economica e culturale. Pertanto, parallelamente agli interventi di razionalizzazione energetica ipotizzati, è necessario promuovere ed attivare linee di studio e di ricerca in grado di incrementare il livello tecnologico del sistema trasporti.

Infine, la realizzazione di sistemi di trasporto intermodali, in via di realizzazione nella regione Campania, aumenterà l'uso dei sistemi collettivi di trasporto nelle aree extraurbane con un ulteriore miglioramento del bilancio energetico regionale.

Bibliografia

- ACI – Automobile Club d'Italia, *Annuario Statistico 2000*, - 2000
- ACI – Automobile Club d'Italia, *Autoritratto 1999*, - 2000.
- Battellini F., Femia A., Tudini A., *Matrici di conti economici integrati con conti ambientali (NAMEA): prima applicazione in Italia*, - ISTAT DCNA e DCPT/U.O. Contabilità Ambientale – 2000.
- Bennet M., Newborough M., *Auditing energy use in cities*, Energy Policy, Vol. 29 (2001), pp. 125 – 134.
- Brown M.A. et al., *Scenarios for a clean energy future*, Energy Policy, Vol. 29 (2001), pp. 1179-1196.
- CORINAIR (1988): *European Inventory of emissions of pollutants into the atmosphere*, commission of the European Communities – CORINAIR project, DG XI, 30/3/1988.
- Eggleston S., Gaudioso D., Gorißen N., Joumard R., Rijkeboer R.C., Samaras Z. and Zierock K.-H.(1993), *CORINAIR Working Group on Emissions Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic*, - Volume 1: *Methodology and Emission Factors*. Final Report, Document of the European Commission ISBN 92-826-5571-X.
- EMEP/CORINAIR (1999): *Atmospheric Emission Inventory Guidebook*, second edition, September 1999.
- ENEA – Rapporto Energia Ambiente 2001, *Il quadro di riferimento*, coordinatore: Pietro Menna – 2001.
- Funk K., Rabl A., *Electric versus conventional vehicles: social costs and benefits in France*, Transportation Research Part D 4 (1999), pp. 397 – 411.
- Hackney J., Neufville R., *Life cycle model of alternative fuel vehicles: emissions, energy, and cost trade-offs*, Transportation Research Part A 35 (2001), pp. 243 – 266.
- Kirby H.R., Hutton B., McQuaid R.W., Raeside R., Zhang X., *Modelling the effects of transport policy levers on fuel efficiency and national fuel consumption*, Transportation Research Part D 5, (2000), pp.265-282.
- Kouridis C., Ntziachristos L. and Samaras Z. - ETC/AEM, COPERT III user's manual, Computer programme to calculate emissions from road transport, - European Environment Agency - November 2000.
- Ministero dei Trasporti e della Navigazione, *Piano Generale dei Trasporti*, - 2001.
- Ministero dei Trasporti e della Navigazione, *Conto Nazionale dei Trasporti*, - 1998.
- Ministero dei Trasporti e della Navigazione, *Conto Nazionale dei Trasporti*, - 1999.
- Montella M., *Statistiche dei Trasporti Anno 1999*, Annuario ISTAT – 1999.
- Nakata T., *Analysis of the impact of hybrid vehicles on energy systems in Japan*, Transportation Research Part D 5 (2000), pp. 373 – 383.
- Patterson M.G., *What is energy efficiency?* Energy Policy, Vol. 24, No. 5 (1996), pp. 337-390.
- Plaut P.O., *The comparison and ranking of policies for abating mobile-source emissions*, Transportation Research Part D 3, No. 4 (1998), pp. 192 – 205.
- Van den Brink R., Van Wee B, *Why has car-fleet specific fuel consumption not shown any decrease since 1990? Quantitative analysis of Dutch passenger car-fleet specific fuel consumption*, Transportation Research Part D 6 (2001) 75 - 93.

ALLEGATI

A.1. Sfruttamento dell'energia

Il reperimento dell'energia necessaria per far fronte al continuo aumento della richiesta di energia rappresenta al momento una delle problematiche di maggior interesse. Non è solo retorica, infatti, l'affermare che l'energia oggi è un vero e proprio fabbisogno fisiologico per il genere umano, come lo sono l'acqua ed il cibo. Ciò è vero soprattutto nei paesi maggiormente evoluti, in cui un banale black out dell'impianto di distribuzione dell'energia elettrica può mandare in crisi un'intera città, bloccando i mezzi di trasporto pubblici ed i principali strumenti che accompagnano la nostra vita quotidiana, dagli elettrodomestici alle attrezzature usate negli impianti di produzione e per finire ai calcolatori che amministrano di tutto nei vari uffici pubblici.

Come sarebbe quindi la nostra vita senza l'energia che permette il funzionamento di tutte quelle apparecchiature che sicuramente facilitano molte delle attività quotidiane della nostra vita "moderna"?

Rispondere ad una simile domanda sarebbe come immaginare di vedere un mondo simile a quelli mostrati in uno dei tanti film di fantascienza, dove un qualche evento catastrofico distrugge la società così come oggi la conosciamo, riportandoci ad una specie di vita preistorica. In realtà proprio l'esistenza di questo genere di film mostra la concretezza di questa nostra paura, un po' come avviene per altre fobie che ci portiamo dietro e che raccontiamo nei film o in vecchie leggende quasi per esorcizzarle.

Ma ritorniamo a quella che è la questione che maggiormente ci interessa, ovvero il "problema dell'energia". Esso racchiude intrinsecamente svariate problematiche che vanno dall'impatto ambientale e socio-culturale a problemi di carattere logistico e tecnico-economico, per cui diventa complessa, oltre che la sua soluzione, un'esposizione organica ed oggettiva di tutte le sue sfumature.

È un dato di fatto ormai che la domanda di energia è in continua crescita sia nei paesi industrializzati, intenti a conservare la loro posizione di leadership sul mercato, che in molti paesi in via di sviluppo che hanno bisogno di risorse in misura crescente per poter far fronte alla evoluzione industriale. Per questo possiamo affermare che il "problema dell'energia" non è altro che quello di riuscire a reperire l'energia che servirà in futuro per soddisfare il fabbisogno mondiale. In realtà questo è soltanto la punta dell'iceberg, infatti i veri problemi iniziano quando si discute sui modi per reperire tale energia. Si pensi ad esempio a quello che può essere l'impatto ambientale che un maggiore utilizzo delle risorse della Terra può produrre nell'arco del medio o lungo periodo; si pensi all'effetto serra, al buco nell'ozono o, più in generale, all'inquinamento delle acque e dell'aria (smog). Ma questo è solo uno degli aspetti collaterali, ai quali poi se ne possono aggiungere altri, come ad esempio l'influenza che può avere sull'economia di un paese la scelta di una fonte di energia piuttosto che un'altra. Si pensi, a tal proposito, alle conseguenze che ha avuto nel XX secolo la scelta del petrolio come fonte di energia primaria. È emblematico il fatto che la maggior parte del petrolio venga estratto in alcuni dei paesi più poveri al mondo, dove la quasi totalità delle ricchezze è gestita da quella minoranza che controlla l'estrazione del petrolio.

Ancora si pensi all'impatto macroeconomico che ha avuto nel mondo la crisi petrolifera degli anni '70. In quella circostanza è stata palese la dipendenza di alcuni dei paesi più industrializzati del mondo dal petrolio, e quindi dalla volontà di chi controlla tale mercato. Ancora oggi l'oscillazione dei prezzi del "barile" di petrolio si ripercuote sul costo della vita di tutti quei paesi, come l'Italia, che basano la propria economia su tale prodotto.

Infine un ulteriore aspetto da considerare è quello riguardante la qualità dell'energia, ovvero la maggiore economicità di utilizzo e stoccaggio dell'energia. Questo fattore potrebbe sembrare, da un punto di vista etico, di marginale importanza rispetto agli altri elencati finora, ma si è dimostrato finora quello che maggiormente ha influenzato le scelte riguardanti il problema energia.

Ecco che in funzione di quanto esposto si riesce già a capire quello che può essere il palcoscenico sul quale si recita il "problema dell'energia", i cui attori protagonisti sono gli attualissimi dibattiti sulla necessità di avere un'energia "pulita" e "rinnovabile" nel rispetto dell'ambiente e dell'economia dei paesi in via di sviluppo. Ma come ogni rappresentazione che si rispetti dietro le quinte ha il proprio "regista" che muove i fili secondo quelli che sono gli obiettivi economici dei singoli paesi o delle grandi multinazionali che operano in questo settore.

Infine vi è un altro aspetto altrettanto importante da non trascurare, ovvero il fatto che è possibile aumentare la disponibilità di energia anche attraverso l'ottimizzazione di quella di cui si dispone. Infatti migliorare i rendimenti, minimizzando gli sprechi di energia, è equivalente al produrre più energia.

A.1.1. Previsione sui fabbisogni futuri e sulle possibilità di sviluppo

Prima di poter approfondire le problematiche sollevate nel paragrafo precedente può risultare conveniente esaminare un po' di cifre su quelli che sono i consumi annui di energia e le stime sui fabbisogni futuri.

Come è risulta dal diagramma in Figura A.1, stimato sulla base di una media degli ultimi cinque anni, la quasi totalità dell'energia che viene consumata nel mondo deriva da petrolio, gas naturale e carbone. Si noti che attualmente il carbone è quasi esclusivamente adoperato nella produzione di energia elettrica. Al contrario, nei paesi occidentali, è completamente scomparso nel settore industriale, e trova applicazione solo per uso domestico.

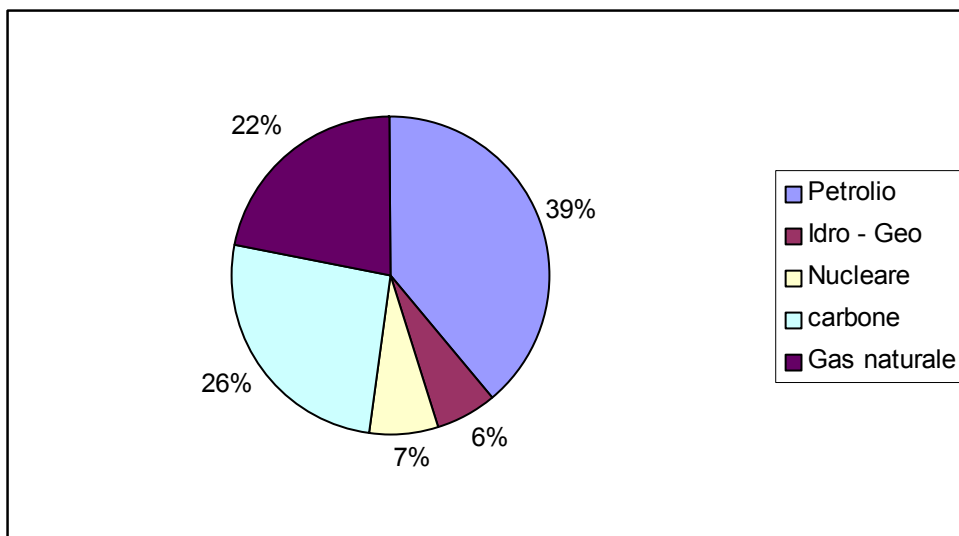


Figura A.1 – Distribuzione delle fonti di energia nel mondo nel quinquennio 1995-2000

In passato l'importanza delle fonti di energia su scala mondiale non era quella rappresentata nel diagramma di Figura A.1, ma ha avuto, a cavallo del XX secolo, una sua evoluzione che è stata largamente influenzata soprattutto dalla diffusione del petrolio prima e dei gas naturali dopo. A partire dalla scoperta del petrolio (1859), il carbone che era la principale fonte di energia, subì un continuo e costante calo, portando il petrolio, intorno agli anni 70', al primo posto per importanza tra le fonti primarie di energia. L'ascesa dell'*oro nero* ha avuto una flessione verso la fine degli anni 80' in seguito alla diffusione di altre fonti di energia rinnovabili quali idroelettrica, geotermica, eolica e nucleare. La tendenza verso queste nuove forme di energia ha subito un forte incentivo in seguito alla crisi petrolifera degli anni 70', che ha avuto forti ripercussioni sull'economia dei paesi industrializzati, con la conseguente consapevolezza di dover sviluppare nuove tecnologie che permettessero di sfruttare fonti energetiche alternative.

Come si è già accennato in precedenza, la richiesta mondiale di energia è in continuo aumento, e ciò comporta una serie di problematiche (anche queste già accennate nella parte introduttiva), tra cui forse la più importante è quella di stabilire quali devono essere le fonti che permetteranno di soddisfare il fabbisogno futuro. Gli studi prevedono un andamento asintotico della domanda di energia che dovrebbe stabilizzarsi intorno ai 10,5 MTEP annui, quasi ad indicare una saturazione dello sviluppo mondiale. Con la sigla TEP si intendono le "tonnellate equivalenti di petrolio", vale a dire che un TEP equivale ad 11.628 kWh che corrispondono a circa 8558 cvh, corrispondente al consumo annuo di energia elettrica di circa 2 famiglie italiane.

In base all'attuale utilizzo delle fonti di energia cosiddette rinnovabili (idrogeno, geotermico, eolico, fotovoltaico, ecc) non è possibile ipotizzare che queste possano rimpiazzare l'uso dei combustibili fossili e nucleari. Tuttavia c'è chi ritiene, in base a recenti studi tutt'ora in corso che intensificando gli sforzi nella ricerca finalizzata

ad ottimizzare lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabili, sia possibile sostituire completamente le vecchie fonti energetiche fossili. Per quanto riguarda la produzione di energia elettrica, se si esclude il contributo dell'energia idraulica (17% del totale) nei paesi industrializzati dell'OCSE, il contributo delle fonti rinnovabili è oggi inferiore al 0,5%. Le previsioni più attendibili stimano che, nel 2005, tale contributo possa raggiungere il 5% (estendibile all'8% nel caso di un'aggressiva politica di incentivazione, ma riducibile al 3% nel caso di non sostenuto sviluppo delle nuove tecnologie di conversione).

Oggi solo l'energia idroelettrica, quella geotermica ed in parte quella da biomassa, vengono convertite in modo significativo con tecnologie considerate mature. Le fonti rinnovabili forniscono, a livello mondiale, un contributo al fabbisogno dell'energia commercializzata dell'ordine del 8%, proveniente in maggior parte dai grandi impianti idroelettrici. Tale contributo raggiunge circa il 18% se si considerano anche le fonti non commerciali, soprattutto lignee e rifiuti vegetali e animali nei paesi in via di sviluppo. Nell'Unione Europea, le energie rinnovabili contribuiscono per il 6% (circa 43 milioni di TEP) alla copertura dei bisogni di energia primaria. L'obiettivo indicato dal Libro Bianco della Commissione europea è di raggiungere la quota del 12% per il 2010.

Ogni anno sulle terre emerse (149 milioni di chilometri quadrati) il sole irradia energia equivalente a 19.000 miliardi di TEP (tonnellate equivalenti petrolio). La domanda annuale di energia nel mondo è attualmente di 8 miliardi di TEP mentre in Italia la domanda nel 1994 è stata di 167 milioni di TEP. Da tali dati emerge che è possibile in futuro riuscire ad ottenere energia pulita e rinnovabile in quantità più che sufficiente rispetto ai fabbisogni.

Come è possibile osservare dal diagramma di Figura A.2, il potenziale sfruttabile delle fonti rinnovabili derivanti dalla radiazione solare e riferito all'utilizzo dell'1% delle terre emerse (1,49 milioni di chilometri quadrati) è stimabile in 14 miliardi di TEP all'anno per l'energia solare diretta, in 2.2 miliardi di TEP all'anno per l'energia eolica, in 4.6 miliardi di TEP all'anno per l'energia dalle biomasse, in 1.7 miliardi di TEP all'anno per l'energia idroelettrica, in 0.8 in altre forme di energia.

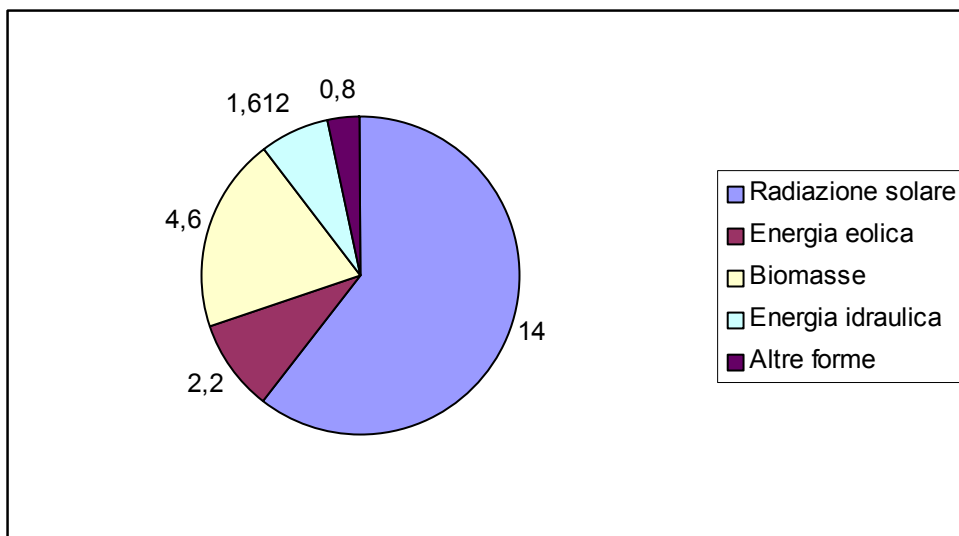


Figura A.2 – Potenza sfruttabile delle fonti rinnovabili in miliardi di TEP all'anno

A.1.2. L'impatto ambientale dovuto all'aumento del fabbisogno energetico

Negli ultimi anni la richiesta di energia nel mondo è cresciuta vertiginosamente, mentre le risorse sono per la maggior parte ancora quelle scoperte molti anni fa. Le energie rinnovabili non vengono sfruttate a pieno ed il petrolio è ancora oggi la maggiore fonte di energia. Riguardo l'inquinamento, l'atmosfera è un sistema dinamico in continuo movimento; le sostanze che la compongono si trasformano continuamente per effetto di reazioni chimiche ed esiste un continuo scambio di materia tra l'atmosfera, gli oceani, il suolo e gli esseri viventi. L'inquinamento è, in un certo senso, l'alterazione di questo stato di equilibrio dinamico. L'origine dell'inquinamento può essere naturale, ad esempio l'inquinamento dovuto alle attività vulcaniche o da decomposizione naturale, da reazione fotochimiche di ozono ad alta quota o smog dovuto alle foreste. Un'altra fonte di inquinamento, ovviamente, è dovuta all'attività umana. Quest'ultima, di natura entropica, cresce in funzione dello sviluppo della nostra vita quotidiana.

A.1.2.1. Effetto serra

Il problema della produzione e del consumo dell'energia elettrica si pone al giorno d'oggi con maggiore peso ed interesse rispetto al passato più recente. I problemi ecologici legati all'effetto serra, all'inquinamento di suolo e acqua, che prima apparivano lontani, mostrano con forza gravi conseguenze che vanno dall'aumento della temperatura del globo terrestre, ormai ampiamente documentato, alla difficoltà di reperire sorgenti d'acqua potabile. Non di rado le cause di tali conseguenze, oltre che all'attività industriale, sono strettamente legate alla produzione di energia elettrica tramite lo sfruttamento di idrocarburi e la combustione di carbon fossile, da cui si generano enormi quantità, oltre che di anidride solforosa ed idrogeno solforato, di anidride carbonica, responsabili proprio, come è noto, del temibile effetto serra e delle piogge acide. Gli effetti che si riscontrano oggi sull'ambiente, risultano ancora più

preoccupanti rispetto alla impossibilità di rinnovare le risorse. Ecco perché appare sempre più opportuno ricorrere a fonti alternative, non solo dal punto di vista della rinnovabilità, ma, essenzialmente, dal punto di vista del minore impatto ambientale. Vento, sole, acqua, potrebbero essere sufficienti, secondo studi di un certo rilievo, a soddisfare i nostri bisogni energetici, eppure, a livello europeo, essi forniscono un contributo che raggiunge appena il 6%. E' assai preoccupante che la tecnologia in questi settori non sia riuscita a crescere con lo stesso ritmo che si registra in altri settori scientifici: solo questo basta a dimostrare che al raggiungimento dell'obiettivo del pieno sfruttamento di tali fonti si frappongono barriere di varia natura, prima fra tutte economico-finanziaria, ma anche politico-legislativa, infrastrutturale e informativa. Secondo gli studi dell'Unione Europea, evidenziati dal recente Libro Verde, potenziando l'impegno politico a livello comunitario, nazionale e regionale, sarebbe possibile elevare la quota di mercato delle rinnovabili al 12,5 % per il 2010.

Nel 1990 i combustibili fossili (solidi, liquidi e gassosi) hanno soddisfatto circa l'88 % dei consumi mondiali. Il restante 12 % è stato fornito dall'energia idroelettrica (che è un'energia rinnovabile) e da quella nucleare, mentre il contributo delle altre energie rinnovabili (solare, eolica) è stato del tutto trascurabile. Nei prossimi anni è prevista una maggiore diversificazione delle fonti di energia. Secondo alcune stime le fonti rinnovabili (senza contare l'energia idroelettrica) daranno un contributo pari al 15 % del totale e nell'auspicabile ipotesi che tale contributo sia tutto a discapito dei combustibili fossili, la percentuale di loro pertinenza diminuirebbe dall'attuale 88 % al 73 %.

Secondo questa ipotesi la percentuale relativa all'impiego dell'energia idroelettrica e nucleare dovrebbe dunque rimanere pari al 12 %. Tale scenario presuppone che nel 2020 la produzione da parte di queste due fonti sia maggiore del 50 % rispetto a quella del 1990. In considerazione delle difficoltà che sta incontrando la diffusione dell'energia nucleare, non è sicuro che questa ipotesi possa essere verificata, ed in tal caso la percentuale da attribuire ai combustibili fossili potrebbe essere maggiore del previsto 73 %.

Tabella A.I - Consumi annuali mondiali di energia. Dati in MTEP

Consumo	Anno 1990 (dati storici)		Anno 2020 (previsioni)	
	MTEP	%	MTEP	%
Comb. fossili (solidi, liquidi, gassosi)	7095,9	88	8818,4	73
Idroelettrico, nucleare	934,4	12	1449,6	12
Altre rinnovabili (eolica, solare, biomassa)	23	-	1812,0	15
Totale	8053,3	100	12080,0	100

Dal quadro che si è delineato risulta evidente che il fabbisogno energetico mondiale è al momento affidato per gran parte ai combustibili fossili. Anche per il prossimo futuro le previsioni, pur presupponendo un massiccio intervento delle fonti rinnovabili tradizionali (idroelettrica) e non (solare, eolica, ecc.) confermano la grande importanza dei combustibili fossili. Fino a non molti anni fa una previsione del genere avrebbe preoccupato in ragione della adeguatezza delle risorse. Superata questa problematica, grazie al continuo reperimento e sfruttamento di nuovi giacimenti, si pone attualmente un diverso pressante problema: quello della compatibilità della produzione di energia con la conservazione dell'ambiente.

Un aspetto particolare di questo problema è quello conosciuto come effetto serra. L'uso dei combustibili fossili comporta la loro combustione, il cui principale prodotto è l'anidride carbonica (CO₂). Ma accade che le molecole dell'anidride carbonica sono trasparenti rispetto alle radiazioni solari (ad onda corta), ed opache rispetto alle radiazioni termiche (ad onda lunga). In altri termini i raggi solari arrivano indisturbati sulla terra e la riscaldano. A sua volta la terra scaldata irraggia calore verso lo spazio esterno. L'anidride carbonica, insieme ad altri aeriformi, fra i quali il vapor d'acqua, contrasta questo irraggiamento e da quindi luogo al fenomeno noto come effetto serra. Si tratta approssimativamente di un fenomeno analogo a quello di cui tutti noi abbiamo avuto occasione di prendere coscienza nel momento in cui siamo entrati in un'auto lasciata al sole con i finestrini chiusi. I vetri, così come la CO₂, sono trasparenti alle radiazioni solari ma opachi alle radiazioni termiche e l'interno dell'auto si surriscalda.

Non sarà a questo punto inutile osservare che l'effetto serra è un fenomeno essenziale per la vita sul pianeta. Se non ci fosse, la temperatura media della terra sarebbe pari a -19°C invece di 15°C. L'effetto serra naturale è dunque pari a 34°C. Quando, nei problemi di impatto ambientale, si parla dell'effetto serra si fa riferimento a una forzatura di quello naturale (radiative forcing), dovuta alla variazione delle concentrazioni nell'atmosfera dei gas-serra fra i quali, appunto la CO₂.

Dal 1850 al 1985 la concentrazione della CO₂ nell'atmosfera è aumentata da circa 275 a circa 345 ppm (parti per milione), ossia del 25%. Nello stesso lasso di tempo la temperatura media del globo è aumentata di 0,6°C. Stante la premessa fatta poco sopra è stato fin troppo semplice trarre la conclusione che tale aumento è attribuibile alla forzatura dell'effetto serra causato dall'incremento di concentrazione dell'anidride carbonica. Inevitabile, a questo punto, che ad esser messi sotto accusa fossero i combustibili fossili. La combustione di 7095,9 MTEP di combustibili fossili di cui alla Tabella A.I ha infatti determinato, nell'anno 1990, l'immissione nell'atmosfera di circa 23.500 milioni di tonnellate di anidride carbonica. A partire dai dati riportati in Tabella A.I, è possibile stimare le emissioni di CO₂ negli anni 2010 e 2020 così come riportato in Tabella A.II, in cui le emissioni (in milioni di tonnellate all'anno) sono state divise in due parti. La prima, pari al 57 % del totale è quella attribuibile alle 38 nazioni industrializzate che hanno siglato l'accordo di Kyoto. Il restante 43% è invece da attribuirsi ai pesi non impegnati nello stesso accordo.

Tabella A.II - Emissioni di CO₂ ad opera dei combustibili fossili (milioni di tonnellate/anno)

Anno	1990	2010	2020
Paesi industr. = 57%	13.395	15.560	16.646
Altri paesi = 43%	10.105	11.740	12.558
Totale	23.500	27.300	29.205

Partendo da queste ragguardevoli emissioni e tenuto conto della loro permanenza nell'atmosfera si è arrivati a prevedere che la concentrazione della CO₂ nell'aria nel 2050 potrebbe essere il doppio di quella del 1850. È stato facile impostare il semplice calcolo:

Se un incremento del 25% dell'anidride carbonica ha portato a un riscaldamento di 0,6 °C, un raddoppio della concentrazione porta a un riscaldamento di 2,4 °C. Da questo aumento di temperatura si fanno discendere gli effetti di cui tutti abbiamo sentito dire: dall'aumento del livello dei mari dovuto allo scioglimento dei ghiacci e alla dilatazione dell'acqua, alla desertificazione di zone fertili; dal raffreddamento dell'Europa, causato dalla attenuazione della Corrente del Golfo alla inondazione di molti paesi, eccetera. Come si vede si tratta di effetti tali da implicare imprevedibili conseguenze nei sistemi socio-economici del mondo intero.

A.1.2.2. Il protocollo di Kyoto

Il quadro prospettato evidentemente non poteva non allarmare studiosi, ambientalisti e amministratori. Tutti si sono attivati per promuovere iniziative diverse. Si è così arrivati, dopo la Conferenza di Rio del 1992, al Protocollo di Kyoto del

dicembre 1997, che prevede di ridurre, entro il 2010, del 5,2% rispetto al livello del 1990 le emissioni di CO₂. Questo obiettivo si riferisce alle 38 nazioni industrializzate responsabili, come già si è detto, del 57% delle emissioni, e lascia liberi gli altri paesi. L'obiettivo prefisso non è certo facilmente raggiungibile. Da uno studio effettuato dal Resource Data International, emerge che la richiesta riduzione di emissioni, limitatamente al settore della produzione di energia elettrica, costerebbe agli Stati Uniti circa 1500 miliardi di dollari. Si tratta di costi tali da far prendere in considerazione rimedi fantascientifici quali quello di disperdere negli oceani la CO₂ prodotta.

In Italia, sempre per lo stesso settore la riduzione delle emissioni comporterebbe un ricorso alle fonti rinnovabili tale da richiedere un investimento di circa 60 mila miliardi di lire dovuto al fatto che il costo dell'unità di energia prodotta dal "rinnovabile" è assai maggiore di quello di origine "tradizionale" ed all'investimento iniziale dovrebbe perciò essere aggiunto un onere di esercizio.

Per realizzare lo scopo previsto dal protocollo di Kyoto però è necessario agire oltre che sul settore della produzione di energia elettrica, anche su un altro settore notevolmente "energivoro": quello dei trasporti. Così, ad esempio in Italia, secondo i dati Enel 1991, a fronte di un consumo di 36,8 MTEP per la produzione di energia elettrica, si è avuto un consumo di 36,4 MTEP di combustibili per il settore dei trasporti.

La Lega per l'Ambiente, ancora prima del Protocollo Giapponese si era occupata del problema e nel 1991 aveva prodotto per conto del Ministero per l'Ambiente uno studio per la riduzione dei gas-serra. Per il settore dei trasporti prendeva in considerazione tre tipi di azione:

- aumento dell'efficienza dei mezzi di trasporto;
- spostamento del traffico verso la ferrovia, il cabotaggio e i mezzi pubblici;
- riduzione e razionalizzazione del traffico.

Avrebbero dovuto portare dal 1990 al 2005 a una minor emissione pari a circa il 4 per cento. L'uso del condizionale è d'obbligo perché secondo le statistiche – per altro confermate dall'esperienza quotidiana – l'obiettivo non è stato per ora centrato. Il solo modesto aumento dell'efficienza infatti non ha inciso significativamente sul "trend" delle emissioni. Quanto si è detto per l'Italia è verosimilmente applicabile anche a quasi tutte le altre nazioni industrializzate.

Si ha dunque ragione di ritenere che anche per il settore dei trasporti come per quello della produzione di energia elettrica le previste riduzioni difficilmente potranno essere completamente attuate. (E' di questi giorni la notizia che la ratifica del Protocollo di Kyoto per ora non verrà sottoposta alla approvazione del Congresso degli USA).

A.1.2.3. Gli effetti del Protocollo

Dopo aver accennato ad alcune delle difficoltà che si oppongono alla piena realizzazione dell'accordo giapponese, è interessante vedere quale sarebbe il risultato se invece il documento potesse diventare operativo.

Facendo riferimento ai dati riportati nella Tabella A.II, se non si assume nessun provvedimento le emissioni di anidride carbonica nell'anno 2010 sarebbero presumibilmente pari a 27.300 milioni di tonnellate. Nella piena osservanza del Protocollo invece le emissioni dei paesi firmatari dovrebbero essere inferiori del 5,2% a quelle del 1990 e perciò pari a 12.698 milioni di tonnellate. Sommando a questa emissione quella dei paesi non firmatari (11.740 milioni) si ottiene una emissione totale di 24.438 milioni. In base a questi dati è abbastanza facile comprendere come l'adempimento o meno alle limitazioni previste dall'accordo abbia effetti del tutto secondari. In cifre:

- senza il Protocollo nel 2010 l'aumento di temperatura dovrebbe essere pari a 0,7 °C rispetto al 1985);

- con il Protocollo lo stesso aumento sarebbe invece pari a 0,63 °C. La differenza fra l'applicazione e la non applicazione delle restrizioni fissate a Kyoto risulta essere di 7 centesimi di grado.

In sintesi, le Nazioni che hanno sottoscritto il trattato si impegnano a ridurre le emissioni di sostanze inquinanti.

Anche nel caso di più drastiche riduzioni o di accordi che coinvolgessero i paesi non impegnati, gli eventuali aumenti di temperatura non sarebbero, a questo punto, scongiurabili. Ciò a causa dell'inerzia termica che fa sì che aumenti di temperatura e forzatura siano sfalsati, anche di decine di anni.

Alla luce di questi dati è facile comprendere le ragioni di un diffuso malcontento rispetto alle misure proposte in occasione dell'assise giapponese e della successiva Conferenza di Buenos Aires, sia da parte degli "ambientalisti" che ritengono insufficienti le misure proposte che da parte degli "energetici" che le ritengono invece inutili.

Partendo dal dato certo che il soddisfacimento del fabbisogno energetico mondiale è basato sui combustibili fossili alcuni studiosi sono arrivati alla conclusione che la massiccia emissione di CO₂ che ne deriva, determina e continuerà a determinare una non trascurabile forzatura dell'effetto serra con conseguenze catastrofiche. Per una più completa e più esatta comprensione dei fenomeni di cui si è andati parlando sino a questo punto è però necessario prendere in considerazione diversi altri fattori di non secondaria importanza.

In primo luogo da alcuni studi emerge che a partire dal 1960 altri gas-serra (quali, soprattutto, il metano e i cloro-fluoro-carburi), possano aver contribuito in maniera tutt'altro che trascurabile alla forzatura dell'effetto serra. Si stima che tale contributo possa essere responsabile del riscaldamento di almeno 0,2 °C.

Una diversa causa di incertezza è dovuta al fatto che non è dato di sapere se nel 1850 – anno a partire dal quale si dispone di dati affidabili ma nel quale si colloca anche il termine della cosiddetta "piccola era glaciale" – la temperatura del globo era o meno in equilibrio, sempre tenendo presente l'enorme inerzia termica del pianeta terra.

Un'altra incertezza infine deriva dalle discusse ricerche di Frii-Christensen e Lassen, che nel fenomeno del riscaldamento terrestre fanno intervenire le variazioni dei cicli solari. Più precisamente, gli aumenti di temperatura media potrebbero essere

associati ad una riduzione del periodo dell'attività solare, con una conseguente maggiore intensità delle radiazioni.

In effetti le ricerche effettuate da questi studiosi forniscono dati secondo i quali le temperature medie sono in sorprendente sincronismo con le variazioni del periodo del ciclo solare. Ad ogni accorciamento del periodo – che è attualmente di diversi mesi più breve dei circa 11 anni di un secolo fa – corrisponde un aumento della temperatura media. Mentre fino a pochi anni fa la teoria dei ricercatori danesi aveva incontrato negli ambienti scientifici un deciso scetticismo, attualmente si ritiene che l'accorciamento del ciclo solare possa anch'esso avere un certo peso sul fenomeno del riscaldamento.

Tali considerazioni determinano notevoli incertezze nella valutazione delle "condizioni al contorno" assunte per la formulazione dei modelli matematici. Al limite potrebbe, paradossalmente, essere azzerato il contributo della CO₂ alla forzatura termica.

Ci sono altri motivi per i quali le catastrofiche conclusioni di cui si è detto sopra devono essere riformulate e sono insiti nelle difficoltà che i modelli matematici incontrano nel considerare certe variabili.

La prima, e forse più importante, è relativa all'effetto della nuvolosità. Infatti le nubi possono determinare tanto un riscaldamento della terra (il vapor d'acqua, come l'anidride carbonica, è un efficace gas-serra), quanto il suo raffreddamento (le nubi riflettono i raggi solari e gli impediscono di raggiungere il pianeta).

Ramanathan afferma: "Una aumentata evaporazione degli oceani potrebbe alterare la distribuzione delle nuvole. A causa della mancanza di una precisa teoria la natura di questa variazione non può essere definita. L'importanza della nuvolosità è una delle maggiori cause di incertezza nella teoria dei cambiamenti climatici".

Altro motivo di incertezza riguarda la capacità degli oceani e la loro possibilità di adeguarsi ad aumentate concentrazioni di anidride carbonica nell'atmosfera. Gli oceani costituiscono un enorme "pozzo" della CO₂ atmosferica. Purtroppo però il meccanismo del passaggio dell'aria agli strati acquei superficiali nonché il successivo trasferimento del gas carbonico dalle acque superficiali a quelle profonde, è un fenomeno molto complesso, difficilmente assoggettabile a modelli teorici.

Non è poi possibile ignorare un'altra variabile, anch'esso di incerta valutazione: riguarda la deforestazione.

Le foreste infatti, oltre alla importante funzione di "assorbitori" di CO₂ hanno anche la capacità di controllare la quantità di radiazione solare assorbita dalla terra. Reale, facendo riferimento al Nord Africa, afferma: "La differenza di precipitazioni riscontrate fra queste due simulazioni – con e senza le foreste – è più grande di quella che si ottiene facendo raddoppiare l'anidride carbonica".

Si è visto poco sopra che fattori di tipo antropico, quali le emissioni di anidride carbonica, possono influenzare il radiative forcing. Subito dopo si è però detto che allo stato attuale delle conoscenze il quadro del cambiamento climatico è tutt'altro che chiaro.

Con ragionevole certezza si può solo affermare quanto segue:

- Sussiste la possibilità che il consumo dei combustibili fossili induca un aumento della temperatura media del nostro pianeta. È però certo che non siamo in grado di quantificarlo.

- Al ruolo dell'anidride carbonica deve essere associato quello di altri gas-serra. I più importanti dei quali sono il metano e i cloro-fluoro-carburi.

- Sull'aumento di temperatura del globo può avere influenza la variazione del ciclo della radiazione solare.

- I modelli matematici – che costituiscono l'unico modo per affrontare lo studio del fenomeno, dato che, com'è ovvio, non si può procedere per via sperimentale – non sono in grado di tener conto di alcuni importantissimi fattori controllanti (nubi; oceani; foreste), né di altri fattori di "feed back" (albedo dei ghiacciai; particolato nell'atmosfera; variazioni di temperatura della stratosfera).

- I rimedi che si sono fino ad ora proposti per contrastare il riscaldamento terrestre sono di attuazione problematica. Comunque, anche se potessero essere realizzati, risulterebbero praticamente inutili.

Nella ipotesi che la forzatura radioattiva sia attribuibile alla emissione di CO₂ ha poco senso pensare a un rimedio quale una modesta e parziale riduzione della sua emissione. Per avere effetti tangibili la riduzione dovrebbe essere assai maggiore di quella ipotizzata e soprattutto dovrebbe interessare il mondo intero.

Un'utopia. Che, oltre, tutto, negli anni immediatamente a venire non avrebbe alcuna efficacia a causa della già richiamata grande inerzia del sistema.

Per affrontare i problemi derivanti dal cambiamento climatico è opportuno pensare, da subito, ad opere di prevenzione. Ad esempio si dovrebbero scongiurare i pericoli della desertificazione e della siccità disponendo adeguati mezzi di irrigazione artificiale e/o cambiando il tipo di coltivazione con altra più resistente. I pericoli delle inondazioni e delle erosioni dovrebbero essere rimossi con opere di protezione e di salvaguardia del suolo. Ma soprattutto si deve pensare alla riforestazione. È stato calcolato che una foresta può assorbire 8 tonnellate/anno di anidride carbonica per ettaro di superficie. Un programma di riforestazione di 350 milioni di ettari – che l'IPCC (Intergovernment Panel on Climate Change) ritiene fattibile – potrebbe assorbire 2800 milioni di tonnellate di CO₂ all'anno. Una quantità pari al 12 per cento della emissione del 1990. Anche lo stesso Protocollo di Kyoto, del resto, prevede la possibilità di commutare la riduzione di emissione con l'impianto di foreste assorbitrici. (Si tratta della cosiddetta Carbon Credit).

A.2. Inquinamento atmosferico da autotrazione

Il problema dell'inquinamento atmosferico dovuto ai gas di scarico dei motori a combustione interna, sia ad accensione comandata che ad accensione per compressione, è da anni di grande attualità non solo in America ed in Europa ma anche in tutti quei paesi industrializzati in cui è presente un rapido sviluppo del traffico motorizzato. I veicoli automobilistici, equipaggiati con motori a combustione interna, costituiscono, infatti, le principali sorgenti d'inquinamento atmosferico nelle aree urbane ad intenso traffico soprattutto per quanto riguarda gli strati dell'atmosfera prossimi al terreno. Nei gas di scarico di un motore endotermico, oltre ai prodotti non tossici della combustione completa degli idrocarburi (anidride carbonica CO_2 e l'acqua H_2O) e all'azoto N_2 inerte dell'aria, sono presenti diversi inquinanti: ossidi di carbonio (CO), ossidi d'azoto (globalmente indicati con NO_x), prodotti della combustione incompleta o della decomposizione parziale del combustibile (sinteticamente chiamati HC); particelle solide portate in sospensione dai gas, derivanti dall'ossidazione incompleta del combustibile o da composti metallici in esso presenti (il particolato); prodotti di ossidazione d'impurità del combustibile (zolfo) ed infine anidride carbonica (CO_2). È opportuno ricordare che le emissioni variano notevolmente a seconda delle condizioni di regime e del carico del motore, delle condizioni di manutenzione e di messa a punto dello stesso nonché dalla composizione delle benzine impiegate. Le cause che danno vita alla formazione degli inquinanti sono profondamente diverse e richiedono un'attenta valutazione dei fenomeni chimico-fisici che si manifestano all'interno di un cilindro del motore. Il monossido di carbonio (CO) si forma, infatti, nella zona di reazione per effetto della decomposizione termica degli idrocarburi e con successiva ossidazione ad anidride carbonica.

Il fenomeno è chiaramente controllato dalla cinetica chimica ma la rapida diminuzione della temperatura, come conseguenza della fase di espansione, provoca il "congelamento" della reazione impedendo l'ulteriore ossidazione del monossido di carbonio; si manifesta così una notevole concentrazione del CO nei gas di scarico. La combustione incompleta degli idrocarburi ha origine nella fase di compressione quando parte della carica fresca è forzata ad entrare in piccoli interstizi (crevices) presenti tra pistone, cilindro e fasce elastiche venendo rapidamente assorbita dal velo di lubrificante aderente alle pareti del cilindro. Durante la successiva fase di combustione, il fronte di fiamma non riesce a penetrare nelle crevices e per di più la fiamma si spegne per effetto del raffreddamento indotto dalle pareti del cilindro. Lo strato di idrocarburi incombusti o parzialmente ossidati che così viene a formarsi, è "raschiato" dal pistone durante la fase di scarico forzato e rimescolato con gas combusti ad alta temperatura subendo una parziale ossidazione. Gli ossidi d'azoto, invece, si formano alle alte temperature raggiunte nella zona di reazione per effetto dell'ossidazione dell'azoto presente nell'aria.

I piccoli tempi a disposizione e gli elevati gradienti di temperatura presenti in camera di combustione, rendono difficile il raggiungimento di una condizione di equilibrio chimico tra i reagenti per cui la diminuzione di temperatura, dovuta alla fase

di espansione, determina il congelamento delle reazioni chimiche e la presenza degli ossido di azoto NO_x tra i gas di scarico.

Nei motori ad accensione per compressione, le emissioni più nocive sono rappresentate dal “particolato”, particelle costituite da un nucleo granitico solido ed insolubile su cui si deposita per condensazione ed assorbimento uno strato di idrocarburi allo stato liquido. Le notevoli concentrazioni d’inquinanti nei gas di scarico provocano danni irreversibili all’ecosistema e alla salute dell’uomo: si ha infatti un’alterazione della composizione dei gas costituenti l’atmosfera e l’introduzione di particelle e specie chimiche altamente reattive; le reazioni che i prodotti inquinanti della combustione subiscono in presenza di una forte intensità della luce solare, sono all’origine di un fenomeno pericoloso, lo smog fotochimico, che provoca affezioni alle vie respiratorie, irritazioni agli occhi e danni alla vita vegetale; gli ossidi di carbonio sono gas velenosi e possono risultare mortali se presenti nell’aria in concentrazioni superiori al 4%; le particelle che costituiscono il particolato hanno azione cancerogena e le ridotte dimensioni permettono di attraversare le vie respiratorie e raggiungere i polmoni. In anni recenti sono state, poi, adottate molteplici iniziative per ridurre le emissioni di anidride carbonica (CO₂) che causano un’alterazione del bilancio tra l’energia assorbita ed irradiata dalla terra ed un innalzamento della temperatura del pianeta (effetto serra). Alcune indicazioni sulle dimensioni del problema dell’inquinamento originato dalle emissioni dei mezzi di trasporto sono riportate nelle seguenti tabelle:

Tabella A.III - Contributo dei mezzi di trasporto all’inquinamento atmosferico di are urbane mediamente industrializzate

Inquinante emesso	Effetto prodotto	Contributo totale [%]	Autovetture A ciclo Otto [g/km]	Autovetture a ciclo Diesel [g/km]
Ossido di carbonio (CO)	Avvelenamenti affezioni cardiovascolari	80:90	2	1
Ossidi d’azoto (NO e NO ₂)	Danni a vie respiratorie, smog fotochimico	50:70	0.2	0.3
Idrocarburi incombusti (HC)	Smog fotochimico, danni fisiologici	60:80	0.3	0.2
Particolato	Effetti, mutagenici	30:50	0	0.08

Tabella A.IV - Percentuali tipiche di alcuni costituenti dei gas di scarico di un motore ad accensione per comandata, privo di controllo delle emissioni

Condizioni di funzionamento	Minimo	Accelerazione	Velocità costante	Decelerazione
Anidride carbonica CO ₂ [%]	9.5	10.5	12.5	9.5
Ossido di carbonio CO [%]	2	2	0.4	2
Idrocarburi incombusti HC [ppm]	4000	2500	2000	20000
Ossidi d'azoto NO _x [ppm]	100	1500	1000	100

Per limitare i danni prodotti dai crescenti livelli di motorizzazione, il Parlamento europeo ha svolto un ruolo decisivo nella formulazione di una politica contro l'inquinamento atmosferico ed è riuscito ad imporre limiti più severi per le emissioni di scarico dei veicoli. A tal proposito la Comunità Europea ha recentemente indicato all'Associazione Costruttori Europei dell'Automobile (ACEA) gli obiettivi di abbattimento della CO₂ per i veicoli: dal valore medio per l'anno 2000 di circa 190 g/km si dovrà raggiungere il limite di 120 g/km nel 2012. Attualmente la normativa ECE Fase 3, in vigore dal 2001, impone i limiti per le emissioni riportate nella seguente Tabella A.V:

Tabella A.V - Normativa ECE Fase 3

Emissioni [g/km]	CO	HC	NO _x
Fase 3 (anno2001)	2.3	0.2	0.15

Per il futuro sono state previste norme ancora più severe: nel 2005, infatti, entrerà in vigore la Fase 4 con emissioni ancora più ridotte come indicato in Tabella A.VI.

Tabella A.VI - Normativa ECE fase 4

Emissioni [g/km]	CO	HC	NO _x
Fase 4 (anno2005)	1.00	0.10	0.08

Allo scopo di rispettare le normative europee in tema d'inquinamento, i costruttori hanno adottato diverse soluzioni:

- Impiego di combustibili alternativi (GPL, metano, idrogeno) ed adeguamento delle benzine con eliminazione dello zolfo e degli additivi a base di piombo.
- Smagrimento della miscela per ridurre le emissioni di HC e CO e ricircolo dei gas combusti (EGR) per ridurre la temperatura massima di combustione causa di formazione degli NO_x.
- Accelerazione del processo di combustione allo scopo di renderlo quanto più completo possibile.
- Utilizzo di catalizzatori trivalenti capaci di ridurre gli NO_x a N₂ e di ossidare gli HC e CO a CO₂ e H₂O.
- Sviluppo di sistemi ad iniezione diretta di benzina (GDI).

Nonostante questi interventi, sensibili riduzioni degli inquinanti sono state ottenuti con veicoli “alternativi” quali i veicoli elettrici ed ibridi. I veicoli elettrici si configurano come degli Zero Emission Vehicle (ZEV), ossia come dei veicoli ad emissioni nulle, e trovano maggiore applicazione nei centri urbani dove il volume e le condizioni di traffico dei veicoli tradizionali generano un maggiore inquinamento; gli “all-electric” si distinguono anche per l’assenza di rumorosità del motore riducendo, in tal modo, danni fisici generati da una maggiore pressione sonora (stordimento, stanchezza, riduzione dell’attenzione). Si riscontrano, tuttavia, una serie di svantaggi non trascurabili: scarsa autonomia, eccessivo peso ed ingombro delle batterie; vita media delle batterie non elevata (due o tre anni); costo d’acquisto superiore a quello di un veicolo tradizionale dovuto ai ridotti volumi di produzione che non consentono di ammortizzare gli investimenti richiesti per la progettazione e la produzione.

Il problema dell’accumulo dell’energia elettrica a bordo del veicolo rimane tuttora critico, nonostante i numerosi studi compiuti. Risulta ancora basso il rapporto tra l’energia accumulata e l’unità di peso, che varia dai 40 Wh/kg delle batterie piombo-acido ai 90 Wh/kg di quelle, più recenti, al sodio e cloruro di nichel, passando attraverso i 55 Wh/kg delle batterie al nichel-cadmio. Tra le proposte pervenute dalle attività di ricerca appare interessante la tecnologia sodio-zolfo, con cui può essere raggiunta una densità di energia anche di 100 Wh/kg con ingombri più ridotti. Ovviamente le diverse soluzioni presentano costi e numero massimo di cicli di carica-scarica assai differenti, questi ultimi potendo variare dai 600-1000 delle batterie piombo-acido ai 2000 delle più costose batterie nichel-cadmio. Va sottolineato infine che batterie quali quelle al sodio e cloruro di nichel necessitano temperature di lavoro comprese tra i 270 °C e i 350 °C. Per la ricarica delle batterie, anche di tipo rapido, sono stati messi a punto dall’industria del settore diversi tipi di colonnina, le cui caratteristiche tecniche, soprattutto per quanto attiene alle misure di sicurezza, seguono specifiche norme di unificazione messe a punto dalla CEI-CIVES (Comitato Elettrotecnico ed elettronico Italiano – Commissione Italiana Veicoli Elettrici Stradali).

Per quanto riguarda le problematiche di impatto ambientale, i benefici apparenti legati all’impiego dei veicoli elettrici, richiedono però ulteriori osservazioni. Anzitutto alcuni studi, mostrano che le perdite connesse con la conversione dei combustibili tradizionali in energia elettrica e l’utilizzo di quest’ultima per la

propulsione del veicolo elettrico, sono di gran lunga superiori a quelle relative all'estrazione, alla raffinazione e all'utilizzo del petrolio per la propulsione dei veicoli tradizionali. In altre parole, circa l'83% dell'energia contenuta nel petrolio allo stato grezzo sarà disponibile nelle stazioni di servizio sotto forma di benzina o gasolio mentre soltanto il 20% o il 27% dell'energia primaria utilizzata per produrre elettricità è disponibile per la ricarica delle batterie. Studi scientifici stabiliscono che, considerando la catena dei rendimenti connessi alla produzione di energia elettrica, i veicoli *all-electric* presentano un'efficienza di poco superiore a quella di un veicolo convenzionale. Inoltre se è vero che i veicoli elettrici presentano emissioni nulle, è pur vero che la produzione degli inquinanti si sposta semplicemente dai centri urbani a quelli di produzione dell'energia elettrica e a seconda dell'energia primaria utilizzata nella conversione, si possono registrare tassi d'inquinamento ancor più elevati. Dalla Tabella A.VII, in cui sono riportati i risultati della catena di rendimenti del combustibile dalla sua estrazione fino all'utilizzo finale su veicolo e le stime sulle emissioni inquinanti, si evince che le centrali produttrici di energia elettrica, che si avvalgono di carbone o petrolio quale fonte di energia primaria, introducono nell'atmosfera concentrazioni di ossidi di zolfo (SO_x) notevolmente superiori rispetto ai tradizionali motori a combustione interna, mentre le emissioni di anidride carbonica (CO₂) ed ossidi di azoto (NO_x) risultano comparabili (Tabella A.VII).

Tabella A.VII - Risultati di rendimenti ed emissioni dall'estrazione dell'energia primaria fino all'uso attraverso il veicolo.

Tipo di veicolo e combustibile	Catena di rendimenti (%)	Emissioni relative all'intero processo di conversione dell'energia primaria del combustibile [g/km]				
		SO ₂	NO _x	CO	HC	CO ₂
M.C.I.						
Gasolio	10.2	0.124	0.391	2.130	0.217	275.724
Metanolo	8.5	0	0.534	1.062	0.217	253.368
Etanolo	8.1	0.025	0.323	1.180	0.081	27.324
CNG	10.8	0	0.248	1.056	0.099	209.277
Idrogeno	9.4	0	0.379	0.012	0.466	240.948
Elettrici						
Carbone	16.5	1.074	0.503	0.043	0.006	301.185
Gas naturale	15.1	0	0.323	0.056	0.006	187.542
Petrolio	14.6	0.578	0.323	0.050	0.012	285.039
Nucleare	14.4	0.062	0.031	0	0	15.525
Adv.NG	20.0	0	0.224	0.124	0.043	142.209
Fuell Cell						
Metanolo	17.6	0	0.168	0.06	0	146.556
Etanolo	15.1	0.012	0.050	0.081	0.012	17.388
Gas Naturale	21.7	0	0	0	0	121.716
Idrogeno	21.0	0	0.068	0.006	0	122.337

Per limitare gli inconvenienti derivanti dalla sola propulsione elettrica, è stata sviluppata l'idea di armonizzare al meglio le buone prestazioni del motore a

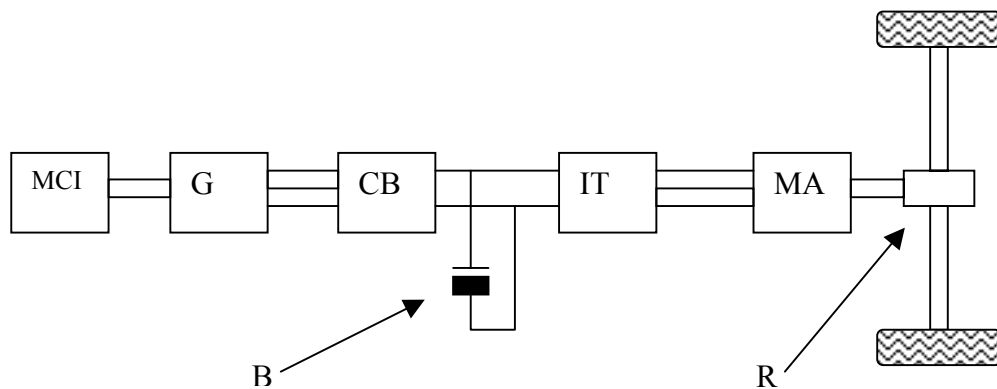
combustione interna e la silenziosa e non inquinante trazione elettrica, dando origine allo sviluppo dei veicoli ibridi.

A.2.1. I veicoli ibridi

Il veicolo ibrido è un mezzo a bordo del quale coesistono un sistema di trazione elettrica ed uno di conversione di energia di altra natura. La seconda fonte potenziale di forza motrice può essere costituita da:

- Un motore a combustione interna a ciclo Otto o Diesel;
- Un impianto con celle a combustibile;
- Un impianto con turbina a gas;

Gli ibridi si dividono in ibridi serie ed ibridi parallelo, a seconda che il propulsore ausiliario contribuisca o meno alla trazione del veicolo. Nei primi la fonte alternativa di energia costituisce a tutti gli effetti un gruppo elettrogeno avente come unico scopo la ricarica costante del pacco batterie, demandando interamente alla parte elettrica la trazione del veicolo: il motore termico ha, difatti, un funzionamento a “punto fisso” in corrispondenza di zone coppia-giri di massima efficienza. Ne consegue una riduzione delle emissioni inquinanti per la possibilità di eliminare le fluttuazioni del rapporto di miscela, indotte da ripetuti transitori di carico. Il sistema si caratterizza anche per la semplicità meccanica nella trasmissione del moto: nel lay-out di un ibrido serie manca, infatti, una frizione dal momento che è presente un unico asse che eroga coppia sul gruppo riduttore differenziale (Figura A.3).



MCI = Motore a combustione interna
CB = Carica batterie
MA = Macchina asincrona
B = Pacco Batterie

G = Generatore sincrono
IT = Inverter trifase
R = Riduttore

Nella fase di progettazione di un ibrido serie occorre un accurato dimensionamento del motore termico in modo tale da fornire le prestazioni richieste con la minima potenza installata: ciò spiega il motivo per cui l'ibrido serie viene applicato su profili di missione ben definiti, ossia su tratti di percorrenza noti a priori come ad esempio per gli autobus urbani per il trasporto pubblico. Questa tipologia di ibrido non brilla, però, in efficienza a causa delle numerose perdite insite nei processi di trasformazione dell'energia: la potenza meccanica del motore a combustione interna viene, difatti, trasformata in elettrica da parte del generatore, poi accumulata nelle batterie ed infine nuovamente riconvertita in energia meccanica dal motore elettrico. Nel seguito sono illustrati i flussi energetici per alcune condizioni di funzionamento di un veicolo ibrido serie. La Figura A.4 mostra il caso in cui la potenza resistente alle ruote è superiore di quella erogata dal gruppo elettrogeno: le batterie forniscono il delta di potenza richiesto per la trazione.

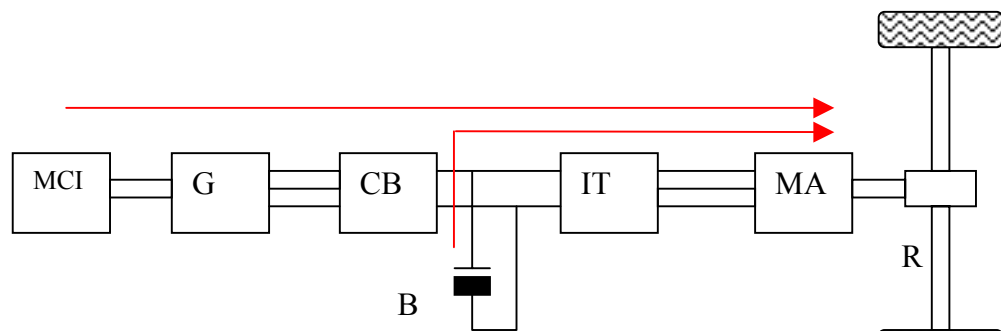


Figura A.4 - Caso I: la potenza resistente alle ruote è superiore di quella erogata dal gruppo elettrogeno

La Figura A.5 illustra il caso in cui la potenza resistente alle ruote è minore di quella erogata dal gruppo elettrogeno: in tali condizioni le batterie ricevono il surplus di potenza incrementando, in tal modo, la propria autonomia.

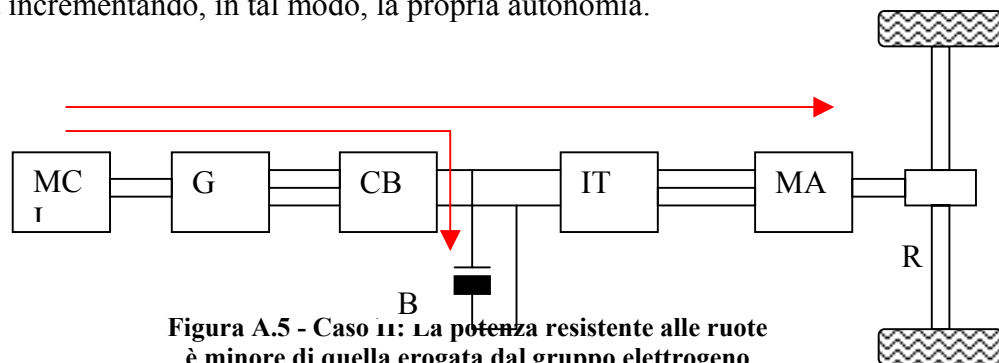


Figura A.5 - Caso II: La potenza resistente alle ruote è minore di quella erogata dal gruppo elettrogeno

In Figura A.6 viene, infine, riportato l'andamento dei flussi energetici quando il veicolo affronta transitori decelerativi: in tali condizioni la macchina elettrica si comporta da generatore e sia l'energia recuperata nella frenata che quella prodotta dal gruppo elettrogeno vengono riversate nelle batterie.

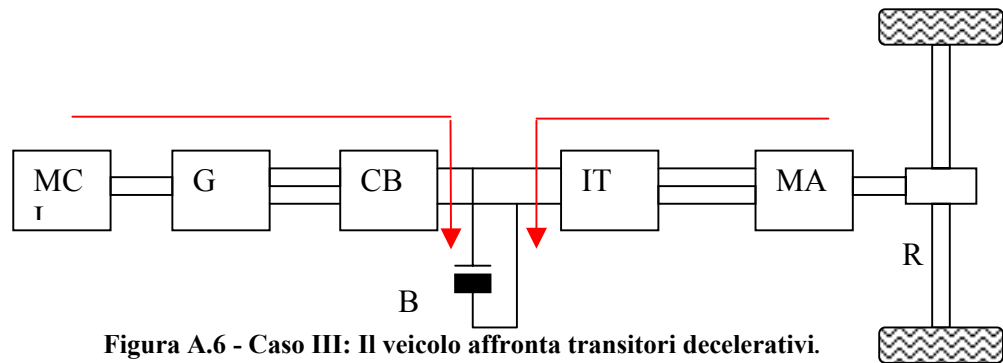
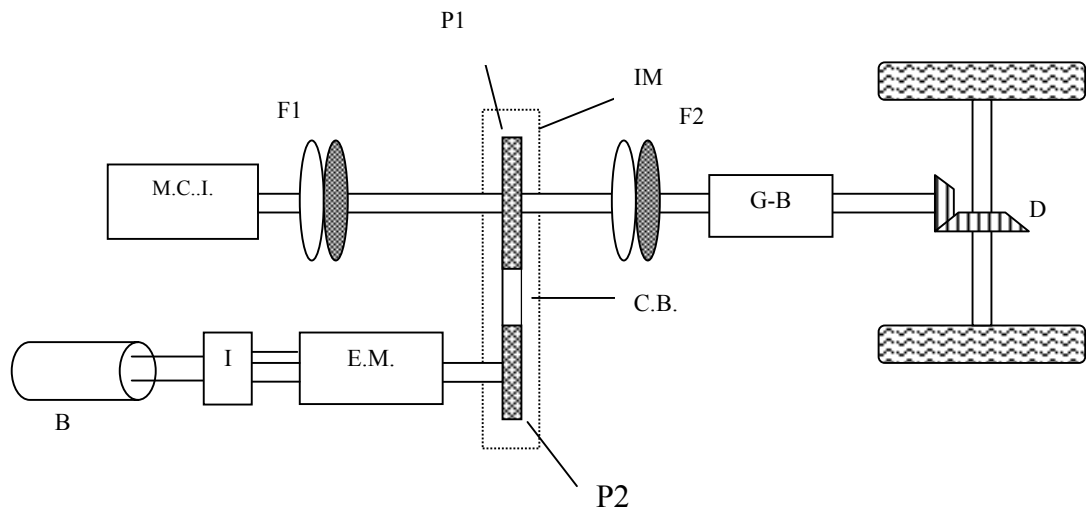


Figura A.6 - Caso III: Il veicolo affronta transitori decelerativi.

Nel veicolo ibrido parallelo, invece, i due propulsori, termico ed elettrico, hanno la possibilità di trasmettere una parte della propria potenza all'albero di trasmissione: questa tipologia di ibrido si apprezza, infatti, per la flessibilità di ripartizione del carico alle ruote tra i due sistemi di trazione nonché per un minor dimensionamento dei propulsori con inevitabili vantaggi in termini di costi, peso e di adattabilità ad utilizzi e percorsi differenti. Nell'ibrido parallelo le batterie non sono più dimensionate sulla potenza di picco, condizione indispensabile nel lay-out in serie, e l'autonomia del veicolo è più tradizionalmente vincolata alla capacità volumetrica del serbatoio di carburante; inoltre non è richiesta la presenza del generatore visto che la ricarica delle batterie può essere effettuata dalla macchina elettrica che commuta il proprio stato, da motore a generatore, quando viene trascinato. Si sfrutta, infatti, la proprietà di reversibilità delle macchine ad induzione per cui quando all'asse della macchina elettrica viene applicata una coppia motrice tale da imprimere una velocità di rotazione del rotore superiore a quella del campo magnetico rotante, si raggiunge una condizione di "supersincronismo" che comporta un cambio di segno nella coppia e nella potenza erogata.

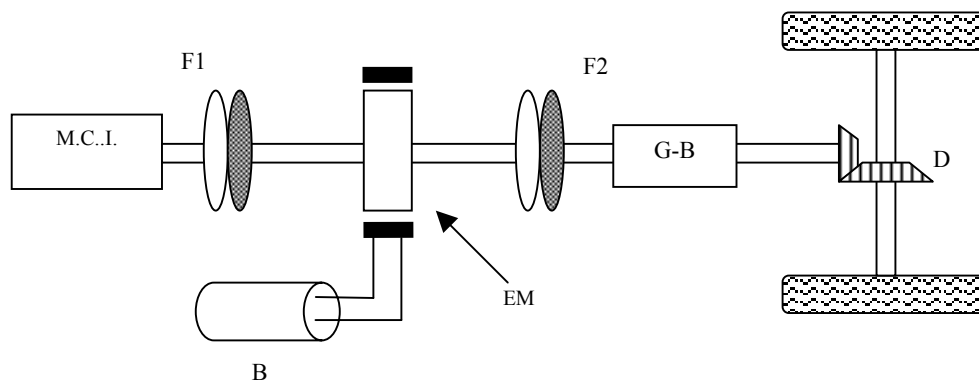
A.2.2. Configurazioni di un veicolo ibrido parallelo

I veicoli ibridi paralleli presentano due distinte configurazioni a seconda che i due propulsori insistano, o meno, sullo stesso asse. Tali tipologie di lay-out, che danno origine a consumi ed emissioni differenti, vanno sotto il nome di ibrido parallelo a due assi, o “ibrido parallelo” propriamente detto, e di ibrido parallelo ad un’asse, conosciuto anche con il nome di “minimo ibrido” per la sigla M.H.V. (Minimal Hybrid Vehicle). Nelle seguenti figure viene illustrata la disposizione dei propulsori nei due differenti lay-out:



M.C.I. = Motore a combustione interna
E.M. = Macchina elettrica
B = Pacco batterie
C.B. = Cinghia dentata
P1, P2 = Pulegge

F1, F2 = Innesti a frizione
G-B = Scatola cambio
IM = Interfaccia meccanica
I = Inverter
D = Differenziale



M.C.I. = Motore a combustione interna
E.M. = Macchina elettrica
B = Pacco batterie

F1, F2 = Innesti a frizione
G-B = Scatola cambio
D = Differenziale

Figura A.8 - Lay-out di ibrido parallelo ad un asse

La differenza principale tra le due configurazioni consiste nella disposizione del motore elettrico: nell'ibrido ad un asse (Figura A.8) la macchina elettrica insiste sullo stesso asse del motore termico, assolvendo, nel contempo, alla funzione di volano motore. E' questa una configurazione che si fa apprezzare per la maggior compattezza dell'insieme, minori pesi e che punta essenzialmente ad un miglioramento dei consumi con un sensibile abbattimento delle emissioni. Nella configurazione a due assi (Figura A.7), l'asse del motore elettrico è meccanicamente connesso a quello del termico mediante una catena cinematica; la macchina elettrica presenta, inoltre, una potenza superiore rispetto a quella adottata nella configurazione ad un asse, e perciò offre maggiori prestazioni. Questa tipologia di ibrido permette di viaggiare in modalità elettrica per percorsi relativamente lunghi e di mantenere, per la presenza del motore termico, una completa mobilità ed autonomia.

A.2.3. Modalità di funzionamento di un veicolo ibrido parallelo

I veicoli ibridi sono noti per la flessibilità di ripartizione del carico tra i due propulsori raggiungendo sempre un trade-off tra elevate prestazioni e ridotti consumi di carburante. Per raggiungere questi target, gli ibridi possono funzionare in diverse modalità a seconda dello stato di carica delle batterie, dei tratti di percorrenza, urbani o extraurbani, e delle esigenze del conducente. In funzione di queste variabili, una sofisticata centralina elettronica gestisce i flussi energetici permettendo al veicolo di viaggiare nelle seguenti modalità:

IBRIDO : i due motori, termico ed elettrico, sono entrambi collegati alla trasmissione e forniscono la potenza necessaria per soddisfare la richiesta di coppia. La propulsione è garantita, ai bassi carichi, dal solo motore elettrico ma all'aumentare delle velocità e dei carichi viene acceso il motore termico ed inserito in parallelo mediante l'innesto a frizione F1 (Figura A.9). Una volta acceso, il motore termico viene coadiuvato dal motore elettrico che, nei transitori, fornisce l'esubero di coppia richiesta per la trazione. Il motore termico aumenta, quindi, con molta gradualità la potenza

erogata per quel tanto che occorre per mantenere le velocità in crescita: adeguandosi dolcemente alle nuove condizioni di regime, il motore termico lavora con un rapporto di miscela prossimo allo stechiometrico, permettendo al catalizzatore di lavorare nelle condizioni di massima efficienza per la riduzione delle emissioni. Questa modalità di funzionamento viene mantenuta finché lo stato di carica delle batterie risulta superiore ad un valore limite, in genere compreso tra il 25% ed il 30%, raggiunto il quale il sistema provvede alla ricarica delle batterie.

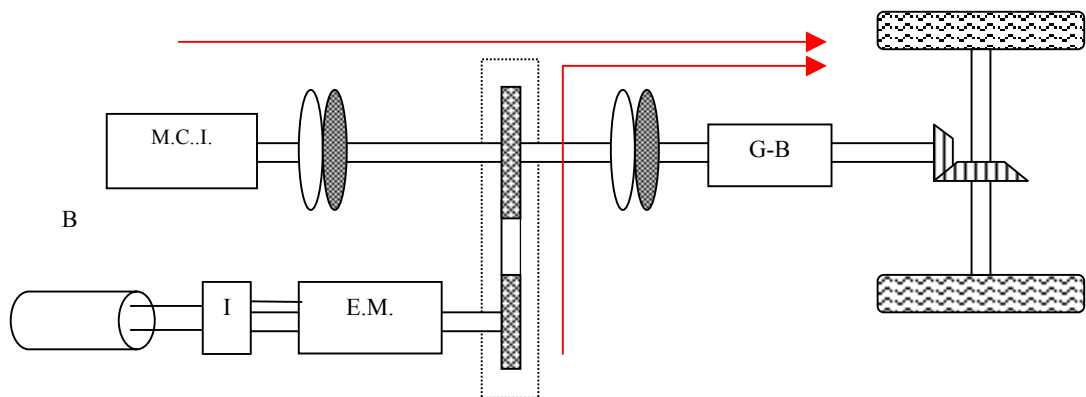


Figura A.9- Modalità ibrida: i due propulsori agiscono in parallelo

ELETTRICA : il motore termico è spento e la frizione F1 (Figura A.10) è disinnestata. La propulsione è garantita dal solo motore elettrico purché le batterie abbiano un livello di carica superiore al valore limite (Figura A.10). Nel funzionamento della vettura in modalità elettrica, occorre comunque assicurare il funzionamento degli organi ausiliari mossi, nei veicoli tradizionali, dal motore termico: si utilizza, quindi, un motorino elettrico e una tradizionale batteria da 12 volt che preleva energia dalle batterie di trazione. In queste condizioni di marcia, il veicolo si configura come uno ZEV (Zero Emission Vehicle), ossia come un veicolo ad emissioni nulle. La modalità elettrica viene essenzialmente utilizzata nei tratti di percorrenza urbani caratterizzati da ripetute accelerazioni e funzionamenti al minimo e dove esiste una maggiore difficoltà nella dispersione degli inquinanti a motivo della scarsa ventilazione e della presenza degli edifici.

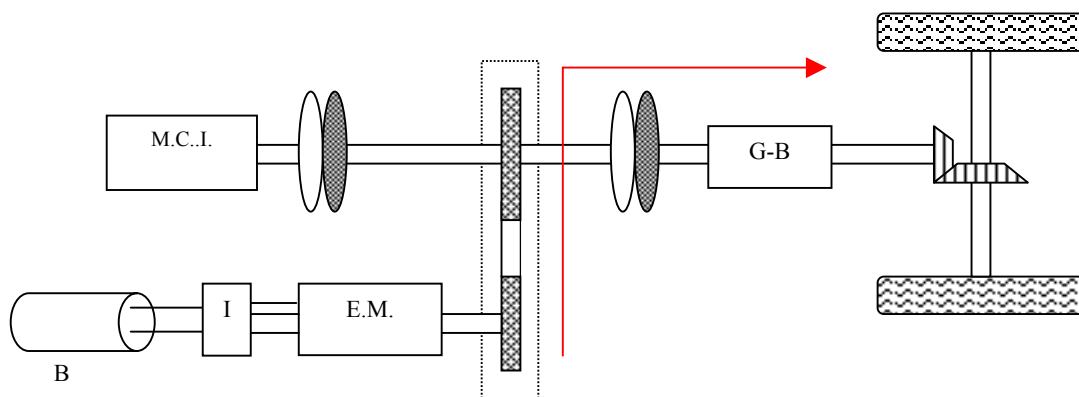


Figura A.10 - Modalità Elettrica: la trazione è assicurata dal solo motore elettrico mentre il motore termico è spento e scollegato dalla trasmissione

TERMICO : La potenza necessaria all'avanzamento è assicurata dal solo motore termico senza attingere energia dalle batterie (Figura A.11): tale condizione di funzionamento viene adottata nei tratti extra-urbani quando il veicolo raggiunge la velocità di crociera e quando il profilo di missione non richiede delle extra-potenze al motore elettrico. Ciò assicura una maggiore autonomia delle batterie.

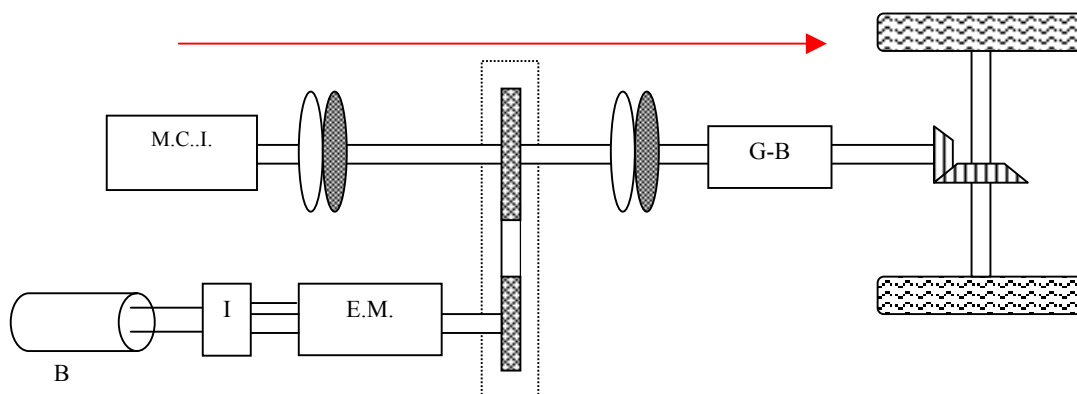


Figura A.11 - Modalità Termico: la trazione è assicurata dal motore termico; le batterie sono in tampone ed il veicolo viaggia a velocità costante

RICARICA: la modalità di ricarica viene resa automaticamente operativa quando lo stato di carica delle batterie raggiungono la minima autonomia. Può essere effettuata in due diverse maniere a seconda del propulsore che fornisce energia per la trazione: nel primo caso il motore termico fornisce potenze tali da soddisfare la richiesta di coppia e da trascinare nel contempo la macchina elettrica che assume così un funzionamento da generatore; nel secondo caso il motore termico provvede a ricaricare le batterie ed alimentare il motore elettrico tramite un alternatore; in queste condizioni la trazione è assicurata dal motore elettrico.

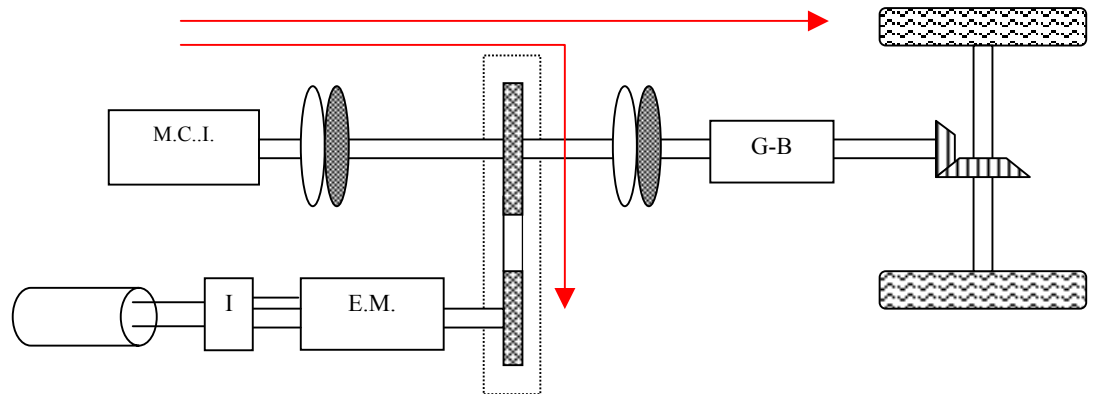


Figura A.12 - Modalità Ricarica: il motore termico fornisce coppia per la trazione e allo stesso tempo provvede alla ricarica delle batterie.

Si sottolinea, infine, che nelle differenti modalità ora illustrate, la macchina elettrica si trasforma in generatore d'energia in tutte le fasi di rilascio o di frenatura del veicolo: si può in tal modo ricaricare le batterie evitando lo spillamento d'energia dal combustibile (Figura A.13).

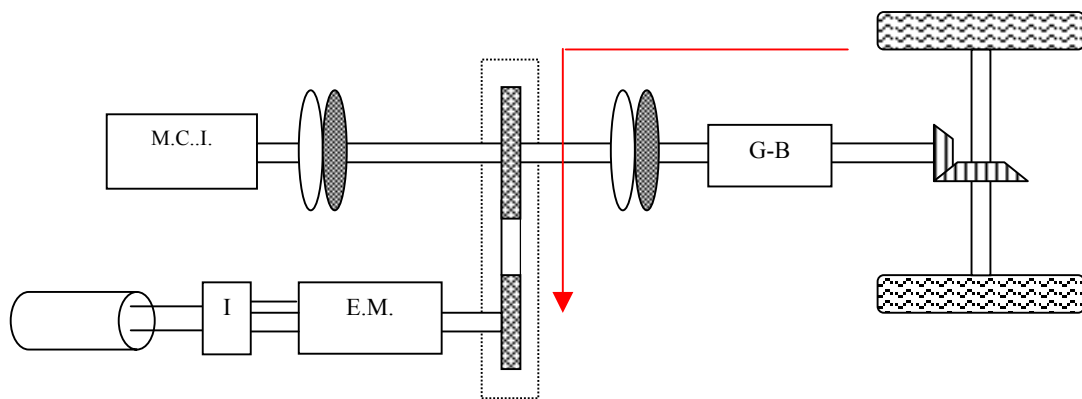


Figura A.13 - Decelerazione: nei transitori decelerativi la macchina elettrica si comporta da generatore consentendo la ricarica delle batterie ed una minor usura dei freni