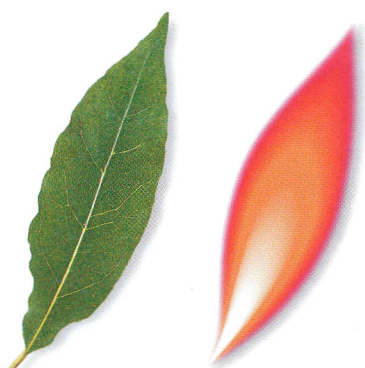
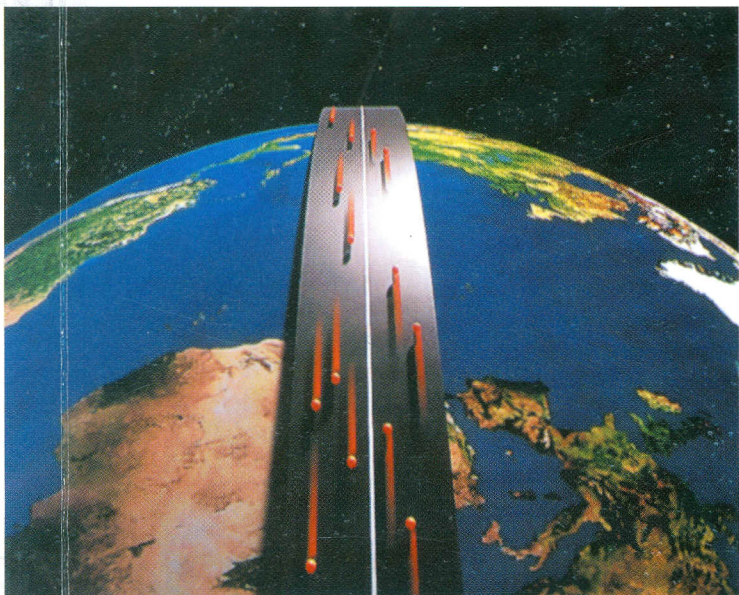


La ricerca sui trasporti per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di inquinanti

CNR - Direzione del Progetto Finalizzato Trasporti 2°



CONFERENZA
NAZIONALE
ENERGIA
E AMBIENTE

Roma, Palazzo dei Congressi
25 - 28 novembre 1998



**CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
PROGETTO FINALIZZATO TRASPORTI 2**

**LA RICERCA SUI TRASPORTI PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI
ENERGETICI E DELLE EMISSIONI INQUINANTI**

Gruppo di lavoro:

Prof. Ing. Ennio Cascetta
Direttore PFT2 - Coordinatore

Ing. Antonio Bartolucci, Ing. Maurizio Bielli, Ing. Vincenzo Delle Site, Ing. Olga Landolfi
Direzione PFT2

Prof. Ing. Demetrio Festa
Università della Calabria - esperto PFT2

INDICE

<i>1. Premessa e sintesi delle conclusioni</i>	<i>pag.</i>	<i>3</i>
<i>2. Il contesto di riferimento</i>	<i>" "</i>	<i>5</i>
<i>3. Le possibili azioni per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti</i>	<i>" "</i>	<i>11</i>
<i>3.1 Aspetti legislativi, normativi, economici</i>	<i>" "</i>	<i>11</i>
<i>3.2 Pianificazione e gestione delle reti</i>	<i>" "</i>	<i>21</i>
<i>3.3 Veicoli e combustibili</i>	<i>" "</i>	<i>37</i>
<i>3.4 Sistemi di controllo della marcia veicolare, del traffico e della mobilità</i>	<i>" "</i>	<i>49</i>
<i>4. Le attività di ricerca</i>	<i>" "</i>	<i>54</i>
<i>4.1 Le principali attività dell'ENEA</i>	<i>" "</i>	<i>54</i>
<i>4.2 Le ricerche sviluppate dal PFT2 del CNR</i>	<i>" "</i>	<i>58</i>
<i>5. Le prospettive di ricerca</i>	<i>" "</i>	<i>71</i>
<i>5.1 Pianificazione e gestione dei sistemi di mobilità</i>	<i>" "</i>	<i>72</i>
<i>5.2 Veicoli e combustibili</i>	<i>" "</i>	<i>78</i>
<i>5.3 Sistemi di controllo della marcia veicolare, del traffico e della mobilità</i>	<i>" "</i>	<i>87</i>
<i>6. Alcune riflessioni sul futuro della ricerca sui trasporti in Italia</i>	<i>" "</i>	<i>93</i>
<i>7. Bibliografia</i>	<i>" "</i>	<i>96</i>

LA RICERCA SUI TRASPORTI PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI E DELLE EMISSIONI INQUINANTI

1. PREMESSA E SINTESI DELLE CONCLUSIONI

Il consumo d'energia e l'inquinamento prodotto dai trasporti dipendono in modo sensibile da tutti i fattori che contribuiscono a definire un sistema di trasporto: quantità e caratteristiche della domanda, infrastrutture, mezzi, sistemi di controllo, organizzazione e gestione dei servizi.

Un sistema di trasporto deve soddisfare molte esigenze fra le quali non è semplice, ed è talvolta impossibile, individuare una gerarchia. Da ciò consegue che nella programmazione e nella gestione dei trasporti l'obiettivo del contenimento dei consumi e delle emissioni inquinanti deve essere perseguito congiuntamente ad altri obiettivi, come l'aumento della sicurezza, l'efficienza economica, le opportunità di sviluppo del territorio.

Com'è noto, dagli accordi di Kyoto derivano obiettivi quantitativi di riduzione delle emissioni di CO₂, entro il 2010, pari al 6.5% rispetto ai valori del 1990; questo limite corrisponde, secondo le stime più accreditate, ad una riduzione di circa il 30% rispetto al valore tendenziale per il 2010.

Per raggiungere un obiettivo così impegnativo, senza pregiudicare le molteplici funzioni affidate al sistema dei trasporti del nostro Paese, sono necessarie dosi massicce d'innovazione sia nel governo del sistema sia nella tecnologia dei veicoli e dei sistemi di controllo.

In particolare, si stima che il contributo dell'innovazione tecnologica alla riduzione dei consumi potrà essere orientativamente non superiore al 10-15%, tenendo conto dei tempi di rinnovo del parco circolante e degli impegni assunti dai Costruttori; il restante contributo potrà venire dalla razionalizzazione del settore dei trasporti, a patto che vengano effettuati adeguati investimenti nella ricerca.

La ricerca deve inoltre affrontare fin da ora tematiche che potranno comportare concrete applicazioni su larga scala solo dopo il 2010, al fine di evitare in futuro ritardi tecnologici nei confronti dei Paesi concorrenti.

Nella prima parte di questo rapporto, dopo un'analisi del contesto di riferimento e del consumo d'energia imputabile ai trasporti, viene fornito un quadro sistematico dei possibili interventi che è possibile effettuare per ottenere significative riduzioni dei consumi e delle emissioni inquinanti, evidenziando le opportunità, ma anche i rischi che si possono incontrare in assenza di un approccio olistico che consideri le diverse componenti del sistema trasporti-territorio-economia-ambiente e le loro reciproche interazioni.

In particolare è evidenziato il ruolo assolutamente non secondario degli aspetti legislativi, normativi ed economici per il governo del settore (normative su veicoli e carburanti, misure

economiche e tariffarie).

Successivamente si analizzano le possibilità ed i limiti connessi alla pianificazione ed alla gestione delle reti di trasporto e si evidenziano i potenziali impatti negativi che alcune azioni possono presentare, per effetto dei cicli di retroazione presenti all'interno del sistema trasporti-territorio-economia-ambiente; queste analisi sono state condotte per il trasporto delle persone a media e lunga distanza in ambito urbano e locale, nonché per il trasporto delle merci alle varie scale.

Si descrivono infine i possibili contributi alla riduzione dei consumi e delle emissioni che possono derivare da miglioramenti tecnologici di veicoli, propulsori, carburanti e sistemi di controllo.

Dopo un'analisi dei risultati più significativi delle ricerche condotte in Italia dal Progetto Finalizzato Trasporti 2 del CNR e dall'ENEA, si passano in rassegna le prospettive di ricerca nel campo della pianificazione e gestione dei sistemi di mobilità, delle tecnologie dei veicoli e dei propulsori, dei sistemi di controllo della marcia dei veicoli e del traffico, e dei sistemi multimodali.

Dalle analisi condotte si ricava che gli obiettivi prefissi non solo sono perseguibili, ma che essi possono costituire un prezioso stimolo all'innovazione organizzativa e tecnologica in un settore che ne ha certamente bisogno.

Risulta altrettanto evidente, però, che uno sforzo di ricerca così ampio e articolato deve essere coordinato in fase di progettazione, finanziamento, esecuzione e diffusione dei risultati. Sono necessari, in altri termini, meccanismi che garantiscano continuità e certezza di finanziamenti e forti capacità di direzione e accumulazione delle conoscenze. Paradossalmente, a fronte di questi bisogni, sta per concludersi l'esperienza del PFT2 del CNR e non è previsto, allo stato attuale, alcun programma che possa costituirne la continuazione.

Nell'ultima parte di questo rapporto è proposto un diverso meccanismo di finanziamento della ricerca sui trasporti nel nostro Paese e la costituzione di una struttura permanente che coordini e valorizzi la ricerca nel settore.

2. IL CONTESTO DI RIFERIMENTO

Il settore dei trasporti contribuisce in maniera molto rilevante all'inquinamento ambientale ed al consumo d'energia in Italia; gli effetti negativi sull'ambiente, provocati da questo campo d'attività, sono destinati a crescere in futuro, se non verranno programmati adeguati interventi di mitigazione.

Il traffico di passeggeri e merci in Italia, come negli altri Paesi ad economia avanzata, risulta, infatti, in costante ascesa: il traffico viaggiatori interno al paese sulle medie e lunghe distanze, espresso in passeggeri-chilometro (pkm), è aumentato nel periodo 1985-1995 del 33.3%; la mobilità urbana (compresa la mobilità di scambio con gli hinterland) è cresciuta, nello stesso periodo, del 97.3%; la mobilità complessiva delle merci, espressa in tonnellate-chilometro (tkm), è aumentata del 26.8% [1,2].

Il consumo finale d'energia nel settore dei trasporti in Italia è stato, nel 1995, di 37.8 Mtep¹ (Tabella 1); la quota più rilevante è stata assorbita dal settore stradale, con 34.1 Mtep, pari al 90.2% del totale. Rispetto al consumo del 1985 (27.1 Mtep), si è avuto in 10 anni un incremento del 39.5%, dovuto quasi esclusivamente all'aumento dal trasporto su strada (Tabella 2).

Nello stesso arco di tempo il consumo totale d'energia è passato, in Italia, da 106,3 a 126 Mtep; la quota riconducibile ai trasporti è aumentata dal 25.5% al 30%.

I trasporti costituiscono pertanto uno dei settori economici a maggiore incidenza sui consumi energetici totali; inoltre, poiché questo settore utilizza prevalentemente combustibili fossili, anche le emissioni di CO₂ dovute ai trasporti sono particolarmente elevate.

Il settore dei trasporti contribuisce in maniera rilevante anche al degrado della qualità dell'aria, con peso variabile secondo gli inquinanti; si stima che i trasporti siano responsabili nel nostro Paese del 90% delle emissioni di ossido di carbonio (CO), del 63% degli ossidi d'azoto (NO_x), del 64% di particolato e del 40% degli idrocarburi incombusti (HC). Questi inquinanti vengono emessi in gran quantità soprattutto dai veicoli stradali.

L'anidride carbonica, pur non producendo danni alla salute dell'uomo, si suppone abbia un effetto negativo sull'ambiente naturale. Si è fatta strada infatti, negli ultimi anni, la convinzione che il costante aumento del contenuto di CO₂ nell'atmosfera, pari a 1-2 ppm² ogni anno, sia una delle cause dell' "effetto serra" e produca come conseguenza un aumento della temperatura media terrestre ed altre modificazioni climatiche.

Questo fenomeno non ha ancora trovato conferme certe, ma ha prevalso comunque negli ultimi tempi un atteggiamento di prudenza che ha portato agli accordi internazionali stipulati nell'ambito della Conferenza sui cambiamenti climatici di Kyoto (dicembre 1997). In quella sede i Paesi europei si sono impegnati a ridurre le emissioni di CO₂ e degli altri

¹ Mtep = milioni di tonnellate equivalenti di petrolio

² ppm = parti per milione

gas serra, entro il 2008-2012, dell'8% rispetto ai valori del 1990, mentre per l'Italia la percentuale di riduzione richiesta è del 6.5%.

Le emissioni di CO₂ riconducibili al sistema dei trasporti costituiscono, nel nostro Paese, poco meno del 30% delle emissioni totali e risultano in crescita; si è infatti passati da 96 milioni di tonnellate (Mt) nel 1990 a 110 Mt nel 1995. Ciò avviene poiché il CO₂ costituisce l'ultimo ed ineliminabile stadio della ossidazione dei combustibili fossili e pertanto l'entità di questa emissione è strettamente correlata all'entità del consumo energetico, che non appare destinato a diminuire.

Tabella n. 1

**Ripartizione degli impieghi finali interni di energia fra alcuni settori di attività economica
(10⁶ tep)**

Settori	1975		1980		1985		1990		1995		1996 (c)	
	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%
Industria	37,0	36,4	37,9	34,7	31,5	29,6	36,5	30,5	36,8	29,2	36,2	28,5
Trasporti (a)	19,4	19,1	24,3	22,2	27,1	25,5	33,6	28,1	37,8	30,0	38,5	30,4
Altri usi energetici (b)	32,5	32,0	35,1	32,1	36,3	34,1	38,5	32,2	41,0	32,6	41,6	32,8
Usi non energetici	7,1	7,0	7,8	7,1	7,9	7,4	8,3	6,9	7,9	6,3	8,2	6,5
Bunkeraggio	5,7	5,6	4,2	3,8	3,5	3,3	2,7	2,3	2,4	1,9	2,3	1,8
Totale	101,7	100,0	109,3	100,0	106,3	100,0	119,6	100,0	125,9	100,0	126,8	100,0

(a) Inclusi i consumi per i trasporti effettuati dalla Pubblica Amministrazione.

(b) Comprende i consumi del settore domestico, del commercio, dei servizi della Pubblica Amministrazione e dell'agricoltura.

(c) Dati parziali o provvisori.

Fonte: Conto Nazionale dei Trasporti 1997

Tabella n. 2

**Consumo finale di energia nel settore trasporti per modalità
(10⁶ tep)**

Modi di trasporto	1975		1980		1985		1990		1995		1996 (a)	
	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%
Ferroviario e filotranv.	0,56	2,88	0,56	2,31	0,64	2,34	0,72	2,14	0,74	1,97	0,63	1,63
Stradale	17,09	88,07	21,94	90,11	24,60	90,67	30,59	90,92	34,15	90,25	34,73	89,89
Vie navigabili interne	0,31	1,59	0,37	1,53	0,37	1,36	0,39	1,16	0,45	1,19	0,45	1,17
Condotte	0,06	0,30	0,05	0,19	0,04	0,13	0,04	0,11	0,04	0,11	0,04	0,10
Aereo	1,39	7,16	1,43	5,86	1,49	5,50	1,91	5,67	2,46	6,49	2,78	7,20
Totale	19,40	100,00	24,35	100,00	27,14	100,00	33,64	100,00	37,84	100,00	38,63	100,00

(a) Dati provvisori

Fonte: Conto Nazionale dei Trasporti 1997

La crescita tendenziale della domanda di trasporto porta a stimare una crescita delle emissioni di CO₂, in assenza di specifiche azioni, a 130 Mt nel 2010, con un incremento del 18% rispetto al valore del 1995 e del 35% rispetto al valore di riferimento del 1990.

Il raggiungimento degli obiettivi del protocollo di Kyoto, nella ipotesi che la riduzione delle emissioni di CO₂ sia uniforme per tutti i settori, richiede che le emissioni riconducibili ai trasporti si riducano fino a raggiungere il valore di 90 Mt (riduzione del 6,5% rispetto alle 96 Mt del 1990); ciò equivale ad una diminuzione di 40 Mt rispetto al valore tendenziale di 130 Mt previsto per il 2010 (-30,7%).

Nella seconda comunicazione del CIPE sulla Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (CIPE '97) si accetta come obiettivo una riduzione delle emissioni riconducibili ai trasporti di 35 Mt rispetto al valore tendenziale al 2010 (riduzione del 26,9%).

Per il conseguimento di questo obiettivo viene individuato dal CIPE un complesso di provvedimenti, così articolato:

- sostituzione di 12 milioni di auto circolanti con auto a ridotte emissioni (145 g/km di CO₂);
- sostituzione di 7 milioni di auto circolanti con auto a bassissime emissioni (120 g/km di CO₂);
- promozione dell'uso di auto e furgoni a metano;
- promozione dell'uso di biocarburanti e biocombustibili;
- controllo del traffico urbano;
- realizzazione o ammodernamento di linee di trasporto locale su ferro per complessivi 1100 km;
- trasferimento di 40 miliardi di tkm di merci dal trasporto stradale a quello ferroviario e navale.

La bozza di delibera per l'attuazione del protocollo di Kyoto, attualmente all'esame del CIPE, accetta obiettivi ancor meno ambiziosi per quanto concerne la riduzione delle emissioni imputabili ai trasporti, e modifica le strategie di intervento indicate in precedenza.

Questa ipotesi di riduzione può ritenersi ottenibile con l'utilizzo di strumenti tecnologici e metodologici già oggi disponibili.

Infatti, una riduzione del 10% circa dei consumi specifici medi dei veicoli nel periodo 1990-2010 è ragionevolmente possibile, tenendo conto dei tempi di rinnovo del parco circolante e degli impegni di riduzione dei consumi assunti dai Costruttori. Analogamente, si ritiene possibile una riduzione del 10% circa dei consumi con interventi di riorganizzazione del sistema dei trasporti.

In questo modo però il settore dei trasporti non contribuisce in modo completo al raggiungimento degli obiettivi di Kyoto e quindi trasferisce ad altri settori l'onere di ridurre una parte delle sue emissioni di CO₂.

Si ritiene tuttavia che il settore dei trasporti possa svolgere in pieno il suo ruolo, riducendo di 40 Mt le emissioni annue di CO₂ entro il 2010, a patto che vengano effettuate scelte di carattere fortemente innovativo. Si dovrebbero ridurre i consumi di un ulteriore 10% rispetto al valore tendenziale e ciò può essere ottenuto soltanto investendo in ricerca ed innovazione, sia nel campo delle tecnologie che nel governo della mobilità.

Si consideri inoltre che gli obiettivi di Kyoto sono destinati ad essere resi ancora più severi in futuro; la ricerca ha il compito di lavorare anche sul lungo termine, esaminando fin d'ora soluzioni che avranno un'applicazione solo dopo il 2010.

Per raggiungere questi risultati è pertanto necessario effettuare interventi coordinati e di diversa natura diretti a ridurre i consumi senza causare ricadute negative sulla sicurezza, sull'efficienza economica, sull'equità territoriale.

Infatti, i consumi energetici e le emissioni inquinanti sono strettamente correlati a numerosi fattori di tipo istituzionale, economico, sociologico, tecnico, che determinano la domanda di trasporto ed il suo soddisfacimento.

Le *istituzioni* centrali e locali, cui compete il *governo* del sistema dei trasporti, ne condizionano lo stato e l'evoluzione attraverso le scelte in merito alle gestioni ed agli interventi infrastrutturali.

La *globalizzazione* dell'economia comporta una sempre maggiore integrazione tra le aree economiche e quindi maggiori trasferimenti di beni (e di persone) anche sulle lunghe distanze. A ciò conduce anche la modifica nella struttura degli insediamenti produttivi, che appare orientata ad una sempre maggiore diffusione delle attività sul territorio, invece che alla concentrazione in poli.

L'*evoluzione tecnologica*, che interessa le infrastrutture, i veicoli ed i sistemi di controllo del traffico, rende disponibili sempre nuove opportunità per il trasporto delle persone e delle merci; ingenti risorse sono tuttavia necessarie perché il sistema dei trasporti possa mantenere il passo con gli sviluppi della tecnologia.

Sotto l'*aspetto socio-economico*, la concentrazione della popolazione nelle aree urbane e, nello stesso tempo, la minore densità degli insediamenti, la terziarizzazione delle attività produttive, i sempre più elevati tassi di motorizzazione, la crescita del benessere economico e dei consumi, la modifica degli stili di vita, hanno indotto un generale incremento e profonde modifiche nella struttura della domanda di mobilità. In particolare si assiste, nelle aree urbane, ad un forte incremento degli spostamenti non sistematici ed all'aumento della mobilità di scambio tra centro e periferia. La domanda è fortemente orientata verso servizi di trasporto di elevata qualità; in assenza di adeguati livelli qualitativi del trasporto collettivo la domanda si orienta verso l'uso dei mezzi di trasporto privati.

In definitiva, come è ben noto agli studiosi del settore, esistono forti livelli di

interdipendenza tra il sistema economico, gli assetti territoriali, la struttura e gli impatti del sistema dei trasporti.

E' anche noto che il sistema dei trasporti è un sistema complesso, composto da numerosi elementi con diverse interrelazioni, all'interno del quale sono presenti cicli di retroazione, che rendono difficilmente prevedibili tutte le conseguenze e gli impatti delle possibili azioni. A questo proposito è possibile fare diversi esempi di provvedimenti che, apparentemente validi sotto il profilo settoriale, possono rivelarsi controproducenti a livello complessivo.

Si consideri ad esempio il caso di un'area metropolitana, caratterizzata da elevati livelli di congestione del traffico nelle aree centrali. La chiusura al traffico delle aree centrali, mediante la costituzione di zone pedonali ed a traffico limitato, contribuisce certamente ad eliminare la congestione ed a ridurre il carico ambientale all'interno delle zone interessate; tuttavia, se manca un'accorta politica di gestione complessiva della mobilità, i fenomeni di congestione ed inquinamento, già presenti nelle aree protette, si spostano nelle aree limitrofe, che subiscono un aggravamento degli impatti del traffico con un saldo netto che può risultare negativo.

Un altro provvedimento potrebbe essere la costruzione di parcheggi nel centro, sostitutivi della sosta su strada, e quindi finalizzati al recupero della capacità viaria: il risultato atteso è costituito da una maggiore fluidità della circolazione, con conseguente riduzione dei consumi e delle emissioni. Questo provvedimento, se assunto isolatamente, ovvero in mancanza di un'adeguata politica tariffaria, potrebbe condurre tuttavia ad una riduzione dell'uso del trasporto collettivo ed a maggiori livelli di traffico stradale, senza significativi miglioramenti nella qualità della circolazione ed a prezzo di maggiori consumi energetici. Alcuni studi indicano che l'effetto totale può essere un aumento complessivo dei consumi e dell'inquinamento.

La modifica della ripartizione modale verso modalità di trasporto meno inquinanti determina certamente riduzioni della congestione e dell'inquinamento; può tuttavia determinare maggiori livelli dell'incidentalità e danni alle persone, che risultano più gravi proprio per quanti optano per una minore utilizzazione dell'auto individuale.

L'incoraggiamento verso l'uso dei motocicli, anche se contribuisce a contenere i livelli di congestione, non produce una consistente riduzione dei livelli di inquinamento, in quanto per questi veicoli non sono stati ancora introdotti severi limiti alle emissioni; può inoltre comportare, come si è detto, un incremento della entità, e soprattutto delle conseguenze, dell'incidentalità.

La riduzione dell'incidentalità viene perseguita, tra l'altro, attraverso la realizzazione di autovetture più sicure, dal punto di vista attivo (migliore tenuta di strada e spazi di frenata più ridotti) e passivo (capacità di assorbimento degli urti, abitacoli irrigiditi, cuscini d'aria, ecc.). Queste soluzioni tecnologiche producono tuttavia un aumento del peso dei veicoli, con conseguenti maggiori consumi.

L'insieme degli aspetti esemplificativi cui si è fatto cenno serve a ribadire la necessità di affrontare le problematiche del sistema ambiente-territorio-trasporti in una logica globale, e con strumenti quantitativi che tengano conto delle reciproche relazioni; sempre in una logica globale dovranno anche essere affrontate le problematiche del sistema dei trasporti al suo interno.

Numerose azioni possono essere intraprese per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti; le azioni possibili riguardano gli aspetti legislativi e normativi, misure di tipo economico, azioni coordinate tra le autorità di governo e le industrie del settore. Particolare importanza assumono la pianificazione e la gestione del sistema. Risultati soddisfacenti possono essere conseguiti individuando l'insieme più opportuno delle differenti azioni in funzione di specifiche caratteristiche locali (assetto insediativo e del sistema dei trasporti, grado di sensibilità ambientale).

La *ricerca sui trasporti* può incidere efficacemente su tutti i fattori che condizionano le interazioni tra ambiente, territorio e trasporto e sui fattori che condizionano il sistema dei trasporti al suo interno. Il primo contributo della ricerca è tuttavia la conoscenza dei fenomeni e delle priorità di intervento.

Nel seguito vengono dapprima analizzate le possibili azioni per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti e, successivamente, le prospettive ed i possibili contributi della ricerca finalizzata a questi obiettivi.

3. LE POSSIBILI AZIONI PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI E DELLE EMISSIONI INQUINANTI

3.1. Aspetti legislativi, normativi, economici

3.1.1. Il governo del sistema

Il sistema dei trasporti è costituito da una pluralità di componenti (infrastrutture, tecnologie, tariffe, organizzazione, controllo, normativa), che nel loro complesso forniscono le condizioni per la mobilità delle persone e delle merci; livelli elevati d'efficienza complessiva sono necessari sia per il perseguimento degli obiettivi di risparmio energetico e di contenimento delle emissioni inquinanti, sia per mantenere ad un livello accettabile i costi interni al sistema stesso dei trasporti.

Perché ciò avvenga, è necessario in primo luogo superare l'attuale frammentazione delle competenze e dei centri di spesa che nel passato ha condotto ad affrontare i problemi dei trasporti in una logica essenzialmente settoriale, riferita cioè alle singole modalità.

Si ripropone pertanto la necessità di un quadro di comando unico, già indicata nel Piano Generale dei Trasporti del 1986. In questa direzione è orientata la proposta di fondere il Ministero dei Trasporti ed il Ministero dei Lavori Pubblici in un unico Ministero per le Infrastrutture.

A valle del quadro di comando unico si colloca la costituzione, ai vari livelli di governo (da quello centrale alle amministrazioni locali) di soggetti regolatori del mercato; si può ad esempio pensare, a livello centrale, alla costituzione di un'autorità indipendente per i trasporti (come già previsto per i settori dell'elettricità, del gas e delle telecomunicazioni), oppure ad investire di tali compiti strutture già esistenti presso i ministeri; a livello locale si può pensare alla costituzione di specifiche autorità, o di appositi uffici, nell'ambito delle strutture amministrative già esistenti.

All'autorità (o alle strutture ministeriali) al livello centrale competerebbero funzioni generali, quali:

- fornire al Governo ed al Parlamento gli indirizzi tecnici ed economici per la massima concorrenzialità dei mercati dei servizi di trasporto pubblico e la massima accessibilità a tali servizi;
- indicare alle amministrazioni pubbliche le linee guida per la definizione dei rapporti contrattuali con le imprese che gestiscono le infrastrutture e producono i servizi pubblici di trasporto;
- governare il complesso processo dell'internalizzazione dei costi esterni, la cui attuazione richiede uno stretto coordinamento dei provvedimenti assunti per le diverse modalità.

Alle autorità (uffici) regionali e locali competerebbe:

- il governo complessivo della mobilità ed in particolare la definizione delle tariffe della circolazione, della sosta e dei servizi di trasporto collettivo;
- la tutela degli utenti delle infrastrutture e dei servizi pubblici di trasporto attraverso il controllo dell'effettiva applicazione dei contratti di servizio e l'eventuale irrogazione delle sanzioni.

Tutto ciò è coerente con una chiara ripartizione delle competenze tra i diversi livelli di governo del sistema dei trasporti:

- al livello internazionale (come l'Unione Europea) compete, ad esempio, la definizione degli standard in materia di emissioni, l'armonizzazione della normativa tecnica, la definizione delle procedure per la riduzione progressiva delle distorsioni del mercato, la sorveglianza sul rispetto degli accordi internazionali;
- al livello dei singoli Stati compete, ad esempio, la definizione delle politiche per l'incentivazione al rinnovo del parco veicolare, la politica fiscale, il controllo del rispetto delle norme di circolazione, la definizione delle politiche per il governo del trasporto collettivo e la definizione delle misure di equità sociale;
- al livello locale compete, tra l'altro, la gestione della mobilità urbana, la tariffazione della circolazione e della sosta, il governo del trasporto pubblico locale.

E' necessario, in particolare, che le autorità politiche alle diverse scale di governo del territorio si facciano carico della redazione e dell'aggiornamento degli strumenti di pianificazione dei trasporti, introducendo con chiarezza contenuti ispirati al risparmio energetico ed al contenimento delle emissioni inquinanti.

Alla scala nazionale, è orientata in questo senso la revisione del Piano Generale dei Trasporti [3], che costituisce lo strumento fondamentale della pianificazione strategica del settore. Alla scala urbana, il Codice della strada [4] prevede la redazione obbligatoria dei Piani Urbani del Traffico (PUT); questi costituiscono lo strumento amministrativo di breve periodo, finalizzato al miglioramento delle condizioni della circolazione e della sicurezza e alla tutela dell'ambiente; la redazione e l'attuazione dei PUT sono state regolamentate dal Ministero dei Lavori Pubblici mediante una circolare del 24 giugno 1995 [5].

L'ordinamento nazionale prevede anche la redazione di strumenti di piano anche ad altre scale territoriali (piano regionale dei trasporti, piano dei trasporti di bacino); non esistono tuttavia specifiche normative o linee guida per la redazione di questi strumenti e, inoltre, gli obiettivi di tutela ambientale non vengono spesso adeguatamente considerati. Mancano in particolare, nel nostro ordinamento, i piani urbani dei trasporti, intesi come strumento di valenza strategica per la gestione della mobilità da associare ai Piani Regolatori; per questi strumenti dovrebbe essere sanzionata l'obbligatorietà e dovrebbero essere stabilite con norme specifiche le modalità di redazione ed attuazione.

3.1.2. Normativa su veicoli e combustibili

La normativa in campo ambientale ha un'importantissima funzione di stimolo all'innovazione, perché stabilisce con chiarezza gli obiettivi da raggiungere. Nel caso degli accordi di Kyoto, infatti, l'aver fissato *obiettivi precisi* e soprattutto una *scadenza temporale* entro la quale essi devono essere raggiunti sta portando il mondo della ricerca automobilistica a concentrare gli sforzi nel settore della riduzione dei consumi. Lo stesso ruolo d'incentivo all'innovazione tecnologica è stato svolto dalle normative sulle emissioni inquinanti promulgate a partire dagli anni 60.

Questo dimostra che le stesse Case automobilistiche non recepiscono le richieste d'innovazione come un evento negativo bensì come una sfida alla quale, peraltro, non possono sottrarsi per non perdere competitività nei confronti delle industrie concorrenti.

La ricerca scientifica, attraverso cui si mettono a punto soluzioni innovative, costituisce pertanto un'attività indispensabile per la sopravvivenza dell'industria automobilistica.

La normativa europea prevede che le emissioni degli autoveicoli vengano misurate facendo percorrere al veicolo, su un banco a rulli, un ciclo di prova standard "ECE + EUDC" con partenza a freddo (denominato anche "NEDC" - New European Driving Cycle), durante il quale le emissioni devono essere contenute entro limiti prefissati; le Tabelle 3a e 3b mostrano i limiti attuali e futuri per le autovetture a benzina e diesel.

Per quanto riguarda i consumi energetici delle autovetture è stato raggiunto di recente un accordo tra l'Unione Europea e le case automobilistiche che prevede un limite massimo di 140 g/km di CO₂ entro il 2008, da misurare durante un ciclo NEDC. Tale limite, da calcolare come valore medio dell'intera flotta di ciascun Costruttore, corrisponde ad un consumo di 6 litri per 100 km con vetture a benzina e 5.3 litri per 100 km con vetture diesel. Tenendo conto che nel 1995 i consumi medi in Europa delle autovetture corrispondevano a 190 g/km di CO₂, la riduzione totale prevista entro il 2008 è di poco superiore al 26% (corrispondente ad una diminuzione di circa il 2% ogni anno).

I Costruttori di autoveicoli, anticipando le richieste della normativa, hanno già iniziato da tempo a lavorare per ridurre drasticamente i consumi, ponendosi l'obiettivo riassunto dalle espressioni "3 litri per 100 km" (in Europa) e "80 miles per gallon" (in America).

Secondo la definizione del Ministero dei Trasporti tedesco un' "automobile da 3litri/100km" produce non più di 90 g/km di CO₂ misurato nel New European Driving Cycle. Questo valore corrisponde a circa 3.88 litri di benzina oppure a 3.42 litri di gasolio per 100 km.

In Italia è stato raggiunto nel 1997 un accordo tra il Governo e la Fiat, che si è impegnata a commercializzare autovetture con consumi progressivamente decrescenti nel corso degli anni. In particolare, l'accordo prevede il raggiungimento di un valore medio di emissione di CO₂ dell'intera flotta Fiat di 145 g/km entro il 2005 e di 136 g/km entro il 2010, valori che, tenendo conto della ripartizione prevista tra motorizzazioni diesel e benzina, corrispondono in media a 5.9 litri/100km nel 2005 e 5.5 litri/100km nel 2010. Inoltre la Fiat si è impegnata

a commercializzare entro il 2000 una vettura diesel di larga diffusione con un consumo di 4.5 litri/100 km, corrispondente a 120 g/km di CO₂.

Tabella 3a

Limiti europei di emissione per autovetture a benzina

Anni	N. Direttiva	Fase	CO (g/km)	HC + NO _x (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	Particolato (g/km)
Valori base '70	-	-	30	9.0	-	-	-
1993-1996	91/441	Euro I	2.72	0.97	-	-	-
1997-2000	94/12	Euro II	2.2	0.50	-	-	-
2000	Da definire	Euro III	2.3*	-	0.20*	0.15*	-
2005	Da definire	Euro IV	1.0*	-	0.10*	0.08*	-

(*) Procedura di misura in severita, limiti probabili

Tabella 3b

Limiti europei di emissione per autovetture diesel

Anni	N. Direttiva	Fase	CO (g/km)	HC + NO _x (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	Particolato (g/km)
1993-1996	91/441	Euro I	2.72	0.97	-	-	1.4
1997-2000	94/12	Euro II	1.0	0.70	-	-	0.08
2000	Da definire	Euro III	0.64*	0.56*	-	0.50*	0.05*
2005	Da definire	Euro IV	0.5*	0.30*	-	0.25*	0.025*

(*) Procedura di misura in severita, limiti probabili

Anche per veicoli a due ruote esistono normative specifiche che stabiliscono i limiti di emissione (Tabelle 4a e 4b). Il ciclo di misura per i ciclomotori è l'ECE 47, mentre per i motocicli si adotta l'ECE 40.

I limiti di emissione dei veicoli a due ruote sono molto meno severi dei limiti automobilistici, in quanto le norme in materia di inquinamento, per questa classe di veicoli, sono state introdotte con circa 30 anni di ritardo rispetto all'automobile; si prevede però che in futuro i limiti di emissione dei ciclomotori e dei motocicli verranno ridotti molto più rapidamente di quanto avvenuto per l'automobile.

I consumi dei veicoli a due ruote (e quindi anche le emissioni di CO₂) sono sensibilmente inferiori a quelli delle autovetture, soprattutto in virtù del minore effetto della congestione sui tempi di percorrenza e sulla regolarità del moto.

Si ritiene comunque auspicabile che venga fissato in futuro un limite di consumo anche per i veicoli a due ruote (ad esempio 2 litri/100 km per i ciclomotori), per garantire che il rispetto dei limiti futuri sulle emissioni inquinanti si accompagni ad un analogo sforzo per ridurre i consumi.

Limiti analoghi a quelli mostrati nelle Tabelle precedenti sono stati fissati anche per i veicoli per il trasporto merci e per le altre tipologie di mezzi (quadricicli a motore, etc.).

Le normative descritte si riferiscono ai veicoli nuovi; è importante però garantire bassi livelli di inquinamento e di consumo durante l'intera vita utile dei veicoli, attraverso revisioni e verifiche periodiche efficaci.

Tabella 4a

Limiti europei di emissione per i ciclomotori (<50cc)

Anni	Fase	CO (g/km)	HC + NO _x (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)
In vigore	-	8	5	-	-
Dal 1.5.1999	Euro I	6	3	-	-
Dal 1.5.2002	Euro II	1	1.2	-	-

Tabella 4b

Limiti europei di emissione per i motocicli (>50cc)

Anni	Fase	Motori 2 tempi			Motori 4 tempi		
		CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)
In vigore	-	12.8-32*	8-12*	-	17.5-35*	4.2-6*	-
Dal 1.5.1999	Euro I	8	4	0.1	13	3	0.3
2003	Euro II**	5	2.5	0.1	6	2	0.2

(*) in funzione del peso del veicolo

(**) limiti probabili

Un argomento molto importante su cui spesso si concentra l'attenzione dei tecnici è quello del ciclo di prova utilizzato per le misure di inquinamento e di consumo.

Il ciclo ECE + EUDC tuttora utilizzato in Europa è stato introdotto per le misure di inquinamento ed è formato da 4 cicli urbani ECE ed un ciclo extraurbano EUDC. Tale ciclo non riproduce con esattezza il traffico reale, peraltro molto variabile da Paese a Paese, ma

si rende necessario per effettuare misure confrontabili.

I consumi energetici delle autovetture invece sono stati misurati fino al 1996 con un ciclo misto denominato "Euromix", composto da 3 cicli parziali: 1) un ciclo urbano ECE 15 con partenza a caldo, 2) un tratto percorso alla velocità costante di 90 km/h e 3) un tratto percorso alla velocità costante di 120 km/h.

Il consumo globale dell'autovettura veniva calcolato facendo la media aritmetica dei consumi ottenuti nei 3 cicli parziali.

Dal 1996 il consumo degli autoveicoli viene invece misurato con lo stesso ciclo ECE + EUDC utilizzato per le misure di inquinamento.

Il passaggio dalla misura con il ciclo Euromix alla misura con l'ECE + EUDC rende quasi ininfluenti i risparmi d'energia ottenibili con la riduzione della resistenza aerodinamica, preponderante alle velocità più elevate.

Viene da alcuni auspicato il ritorno al ciclo Euromix, magari corretto, oppure l'introduzione di cicli differenziati per le diverse classi di autoveicoli, da stabilire in seguito ad analisi statistiche sul reale tipo di utilizzo degli stessi.

Una normativa sempre più stringente riguarda anche i combustibili utilizzati per la trazione, che ha un effetto determinante sulla composizione dei gas di scarico e sulla funzionalità dei dispositivi catalitici.

Attualmente i requisiti minimi per le benzine senza piombo e per il gasolio ed i relativi metodi di prova sono fissati rispettivamente dalle norme europee EN 228 ed EN 590 del 1993, mentre per le benzine con piombo si fa riferimento alla norma CUNA NC 623-01 del 1989.

La revisione delle norme suddette entrerà in vigore dal 1 gennaio 2000; per le benzine senza piombo sono previsti limiti sulla composizione, un inasprimento del limite sulla volatilità, sul contenuto degli idrocarburi aromatici e dello zolfo, un incremento del contenuto di ossigeno; per il gasolio sono previste restrizioni sul contenuto di zolfo, sulla distillazione, sulla densità, sul numero di cetano e sul contenuto di idrocarburi poliaromatici.

In particolare, nella benzina è prevista una riduzione del contenuto di zolfo da 500 a 150 ppm ed un contenuto massimo di benzene dell'1% (provvedimento già anticipato dalla normativa italiana). Per il gasolio il contenuto di zolfo viene ridotto da 500 a 350 ppm.

Le nuove specifiche sono state predisposte sulla base dei risultati di un programma di ricerca denominato EPEFE, nel corso del quale è stato calcolato il possibile beneficio in termini di riduzione delle emissioni inquinanti connesso con le modifiche apportate alle caratteristiche chimico-fisiche dei combustibili.

Si stima ad esempio che la nuova normativa del 2000 porterà nei veicoli a benzina una riduzione delle emissioni di CO dell'8.9%, di NO_x del 7.1% e di benzene del 20.7%; per i veicoli diesel leggeri si stima una riduzione del contenuto di particolato del 10% circa.

Nel 2005 si prevede un'ulteriore restrizione dei limiti di specifica per i combustibili per

autotrazione, in particolar modo quelli relativi al contenuto di zolfo (riduzione a 50 ppm per benzina e gasolio), idrocarburi olefinici ed aromatici nelle benzine e quello degli idrocarburi poliaromatici nel gasolio.

3.1.3. Le misure economiche

Le misure economiche costituiscono un potente strumento per il governo del sistema dei trasporti. Principi elementari d'equità richiedono che gli utenti del sistema paghino per intero i costi da loro prodotti. Occorre pertanto prevedere meccanismi per l'internalizzazione dei costi esterni (consumo di risorse naturali, inquinamento, incidentalità), che vengano riversati dal sistema dei trasporti sulla società nel suo complesso [7].

Misure di tipo economico dovrebbero essere utilizzate anche come elemento di regolazione del sistema dei trasporti in sostituzione della congestione, che risulta insufficiente dal punto di vista economico ed ambientale, per incidere in forma mirata su taluni aspetti settoriali; è comunque da rilevare che le possibilità di utilizzare le tariffe come regolatrici della domanda sono state fino ad oggi poco o nulla sfruttate, con l'unica eccezione della tariffazione della sosta in ambito urbano.

Internalizzazione dei costi e politiche tariffarie

Tutti i modi di trasporto presentano esternalità negative; queste consistono principalmente negli impatti sull'ambiente, nell'incidentalità e nel costo della congestione; possono tuttavia essere costituite anche da sovvenzioni finanziarie (è il caso, ad esempio, del trasporto ferroviario). L'internalizzazione dei costi esterni costituisce un efficace strumento per:

- regolare la domanda di trasporto nell'entità, nella ripartizione modale, nell'articolazione temporale e spaziale;
- incentivare l'evoluzione dei sistemi tecnologici (veicoli ed infrastrutture);
- promuovere l'efficienza delle strutture per il governo e la gestione dei sistemi di trasporto.

Più in generale, *l'internalizzazione dei costi esterni* orienta verso politiche di governo integrato del sistema dei trasporti, che superino l'attuale frammentazione delle competenze e dei centri di spesa. Ciò costituisce un elemento essenziale per l'efficacia di ogni azione di un certo respiro, rivolta al contenimento dei consumi energetici ed in generale dei carichi sull'ambiente.

D'altro canto, l'internalizzazione porta ad incrementi del costo del trasporto per l'utente finale (persone e merci); si stima che tale incremento, nel caso di internalizzazione completa dei costi esterni, sia mediamente, in Europa, dell'ordine del 15-30% [7]. Considerando il sistema economico nel suo complesso, ciò può costituire un elemento positivo, in quanto consente di reperire risorse che possono essere reinvestite all'interno del

sistema dei trasporti per il miglioramento delle caratteristiche dell'offerta.

L'incremento generalizzato del costo del trasporto per gli utenti finali costituisce tuttavia elemento di perturbazione sia nei rapporti tra le diverse regioni economiche, sia tra i vari soggetti all'interno della stessa regione economica. In particolare, l'aumento indiscriminato dei costi del trasporto costituirebbe un freno allo sviluppo per le regioni meno dotate sotto il profilo infrastrutturale e, soprattutto, per le regioni ubicate in posizione periferica rispetto alle aree centrali, economicamente trainanti.

In particolare, per il nostro Paese, ciò potrebbe contribuire all'emarginazione delle regioni meridionali; il problema tuttavia sussiste anche a livello di Unione Europea, dove esistono molte situazioni analoghe sotto il profilo geografico ed economico.

L'adozione di misure di internalizzazione richiede pertanto che:

- le misure vengano adottate in forma coordinata per grandi ripartizioni politico-economiche (ad esempio l'Unione Europea);
- i correttivi vengano introdotti per assicurare l'equità delle misure sotto il profilo spaziale, evitando la costituzione di "rendite di posizione", deleterie per lo sviluppo armonico delle diverse aree economiche;
- le misure vengano adottate con gradualità, in stretta relazione con l'evoluzione della tecnologia, il recupero di efficienza nelle gestioni, l'adattamento dell'economia nel suo complesso;
- l'internalizzazione venga attuata mediante un giusto mix di manovre normative (specie nel breve periodo) ed economiche (più efficaci nel medio-lungo periodo);
- le misure vengano adottate in forma coordinata e secondo principi di equità per le diverse componenti modali;
- vengano adottate misure atte a favorire la distribuzione equa dei costi e dei benefici tra le diverse categorie sociali.

In particolare è richiesta una profonda *revisione dei criteri di formazione delle tariffe*; attualmente la tariffa è infatti concepita esclusivamente come strumento di generazione dei proventi e non come strumento di regolazione del sistema. Le tariffe possono infatti svolgere tre funzioni principali:

- contribuire, in forma selettiva, all'internalizzazione dei costi esterni delle diverse modalità di trasporto, consentendo anche forme di finanziamento incrociato (ad esempio dal trasporto individuale a quello collettivo);
- introdurre criteri di equità tariffando, in forma opportunamente differenziata, l'utilizzazione delle infrastrutture e dei servizi in funzione della qualità dell'offerta;
- orientare verso un più appropriato uso della rete infrastrutturale (valorizzazione di modalità alternative, di itinerari alternativi nell'ambito della stessa modalità,

laminazione delle punte, etc.) [8].

In particolare, per quest'ultimo aspetto la tariffa deve essere concepita come una forma di orientamento della domanda. In questo senso sono rivolti i ben noti provvedimenti di *road* e di *area pricing*, in quanto consentono di far pagare all'utente un prezzo proporzionale all'incremento della congestione e dei livelli di inquinamento prodotti localmente in aree selezionate, consentendo al sistema di funzionare in modo ottimale, ovvero minimizzando il costo generalizzato totale.

Questa regola tende a far pagare di più per gli spostamenti nelle strade più congestionate e nelle aree ambientalmente più sensibili, in determinati intervalli temporali.

Nella pratica i provvedimenti di *road* e di *area pricing* hanno fin qui trovato scarsa attuazione, sia perché solo di recente resi possibili dalla normativa sulla circolazione, sia perché non privi di difficoltà tecniche; queste ultime appaiono tuttavia ormai superate dall'evoluzione dei sistemi telematici per il controllo del traffico.

Provvedimenti orientati al miglioramento delle caratteristiche del parco automobilistico

Si è visto come i provvedimenti normativi, quali le restrizioni alla circolazione, i limiti alle emissioni ed ai consumi, i controlli sull'efficienza dei veicoli circolanti, costituiscano strumento efficace per la sostenibilità ambientale del traffico stradale; alle misure di tipo normativo è tuttavia necessario abbinare misure di tipo economico, che in molti casi risultano ancora più efficaci.

Attualmente il prelievo fiscale all'atto dell'acquisto di un'autovettura s'identifica sostanzialmente con l'imposta sul valore aggiunto (IVA) che costituisce una quota fissa (20%) del costo netto, indipendentemente dalle caratteristiche dell'auto. La tassa sul possesso è invece direttamente proporzionale alla sola potenza effettiva, secondo un tasso (lire/kW) invariante con le altre caratteristiche dell'autovettura.

Sembrerebbe tuttavia più idonea una forma di tassazione correlata ai consumi del veicolo, destinata a favorire le caratteristiche ecologiche del parco.

Incentivi economici possono essere previsti anche per promuovere l'uso di veicoli che utilizzano carburanti più favorevoli sotto il profilo ambientale: è noto, ad esempio, che a parità di prestazioni una vettura equipaggiata con motore alimentato a metano presenta emissioni regolamentate e consumi molto inferiori rispetto ad una vettura equivalente equipaggiata con motore a benzina [9]. Gli incentivi in tale senso potrebbero essere costituiti da una struttura differenziata delle tasse di acquisto e di possesso, oltre che da un differente prezzo di vendita dei carburanti. Il mix delle misure è importante, affinché un prezzo di vendita del carburante troppo basso non incoraggi l'uso eccessivo dei veicoli.

Infine, è da ricordare che gli incentivi per la rottamazione delle autovetture hanno avuto un ruolo di primo piano per il rinnovo del parco veicolare, favorendo in maniera selettiva la radiazione delle auto più anziane. Incentivi in tal senso potrebbero essere previsti anche per i veicoli adibiti al trasporto delle merci e per il parco autobus. Incentivi particolari

potrebbero essere adottati per le flotte delle aziende e degli enti pubblici; in tal senso è orientato il recente decreto del Ministro dell'Ambiente del 23 marzo 1998 [10].

Provvedimenti orientati a contenere l'uso e le percorrenze delle autovetture

Si è già detto che le forme di prelievo tariffario debbono essere orientate a limitare ed orientare l'uso delle autovetture, particolarmente nelle condizioni di congestione del traffico e di elevato carico sull'ambiente.

Nell'immediato appaiono di più semplice attuazione i provvedimenti di tariffazione della sosta, che già sono comunemente accettati dagli utenti. La sola tariffazione della sosta non pone tuttavia direttamente limiti al traffico di attraversamento nelle aree protette ed ai relativi consumi ed apporti inquinanti. Il provvedimento perde inoltre di efficacia allorché si è in presenza di una consistente offerta di sosta su aree private.

Un'altra misura orientata a contenere la percorrenza e l'uso delle autovetture è l'aumento del costo del carburante, che si colloca tra le misure da intraprendere per l'internalizzazione dei costi esterni. Gli aumenti del prezzo di vendita possono essere differenziati secondo l'entità delle emissioni di gas serra e degli inquinanti a breve e medio raggio riconducibili a ciascun carburante; incentivi di tal genere potrebbero essere ad esempio previsti per l'utilizzazione del metano.

Una misura molto efficace per incentivare l'utilizzazione dei modi collettivi, specie negli spostamenti per motivi di lavoro, è costituita dalla possibilità di detrarre dalla base imponibile fiscale i costi di trasporto su tali modalità in misura maggiore dei costi di trasporto su autovettura.

Le misure precedenti possono essere convenientemente abbinate a misure orientate a favorire una migliore utilizzazione del parco automobilistico privato; un esempio in proposito è l'incentivazione del *car pooling*.

Misure a sostegno dell'intermodalità delle merci

Misure di tipo economico possono essere adottate anche per favorire l'intermodalità delle merci. Si può pensare a forme di incentivazione tariffaria e di sostegno agli investimenti in attrezzature ed impianti per gli utenti. Ciò naturalmente deve essere collegato ad una più generale politica per l'intermodalità, di cui si dirà nel seguito.

Accordi volontari ed azioni coordinate

Un ruolo notevole può essere svolto da accordi tra le autorità di governo, l'industria automobilistica e le società petrolifere. Gli accordi possono delineare strategie comuni per il contenimento di consumi ed emissioni. Ad esempio, con protocollo di intesa del 16 aprile 1997 tra il Ministero dell'Ambiente ed il gruppo FIAT, è stata concordata la realizzazione di programmi ispirati ai principi dello sviluppo sostenibile, mediante interventi ed aggiornamenti sui veicoli ed i relativi sistemi di gestione, finalizzati a:

- contenere i consumi e la dipendenza dalle fonti energetiche convenzionali;
- anticipare i futuri standard di emissioni previsti dall'Unione Europea;
- promuovere lo sviluppo e l'utilizzo di veicoli a trazione alternativa (elettrica, ibrida, a metano), a minimo impatto ambientale;
- sviluppare ed introdurre sul mercato bus ed autocarri ad elevata innovazione;
- garantire che le vetture, a fine vita, non gravino sull'ecosistema.

Con accordi similari, stipulati tra lo Stato e le Società petrolifere, sono stati anticipate in Italia alcune normative europee in tema di qualità dei combustibili.

Comunicazione sociale, formazione e trasferimento delle conoscenze

In generale, lo sviluppo di un sistema dei trasporti che sia ambientalmente sostenibile non può prescindere da una profonda modifica degli stili di vita della popolazione. Occorre pertanto che la tutela dell'ambiente ed il risparmio energetico diventino parte della cultura collettiva; perché ciò avvenga, è necessario l'impiego dei diversi strumenti di comunicazione sociale disponibili ed il concorso delle strutture scolastiche.

Una maggiore consapevolezza degli aspetti energetici ed ambientali del sistema dei trasporti è richiesta ad una pluralità di soggetti che svolgono compiti istituzionali direttamente collegati al campo dei trasporti: amministratori, tecnici, operatori del settore; occorrerà pertanto sviluppare tecniche di formazione permanente, finalizzate a questo specifico argomento.

3.2. Pianificazione e gestione delle reti

In sede di pianificazione e gestione delle reti di trasporto è possibile indicare una molteplicità di azioni, finalizzate al contenimento dei consumi energetici ed alla riduzione dell'entità delle emissioni inquinanti.

Queste azioni si differenziano in funzione della tipologia di domanda (passeggeri e merci) e delle caratteristiche della stessa.

I principi generali nella scelta delle strategie di intervento possono essere così sintetizzati:

- progettare qualsiasi intervento nella logica olistica del sistema ambiente/territorio/trasporti;
- coniugare gli interventi di potenziamento o riqualificazione dell'offerta con interventi di orientamento della domanda verso il sistema di trasporto più conveniente sotto il profilo tecnico, economico ed ambientale.

Per quanto concerne il primo aspetto, è da rilevare la necessità che gli interventi vengano

definiti nel quadro di una conoscenza quantitativa del sistema; occorrerà pertanto simulare le condizioni di funzionamento del sistema dei trasporti e da queste risalire alle ricadute sull'ambiente; particolare attenzione dovrà essere dedicata alle trasformazioni territoriali che gli interventi sul sistema dei trasporti possono determinare nel medio-lungo periodo.

Per quanto concerne il secondo aspetto, si è già visto come l'orientamento della domanda possa essere perseguito mediante misure di tipo normativo ed economico. Assolutamente improponibile è il criterio di utilizzare la congestione come strumento di regolazione del sistema dei trasporti: la congestione produce infatti inefficienza all'interno del sistema dei trasporti (con aumento dei tempi e dei costi di percorrenza) ed alimenta le esternalità negative, in termini di consumi energetici, inquinamenti, incidentalità. Da ciò consegue che in alcuni casi è auspicabile un aumento dell'offerta che elimini fenomeni di congestione "strutturali", purché ne vengano controllati gli effetti globali sull'insieme degli obiettivi.

3.2.1. Il trasporto delle persone

Il trasporto a media e lunga distanza

Il traffico viaggiatori all'interno del Paese, sulle medie e lunghe distanze, è passato nell'arco temporale 1970-1996 da 190,1 a 439.1 miliardi di passeggeri-km (Tabella 5). Le stime sono tratte dal Conto Nazionale dei Trasporti, e debbono essere accettate con una certa cautela, dovuta alle approssimazioni nel calcolo del trasporto stradale.

Nell'arco del periodo considerato la quota di mobilità servita dai modi collettivi è passata dal 31,52% al 29,46%. Il netto sbilanciamento della domanda a favore del trasporto individuale presenta pesanti risvolti in termini di consumi energetici e di impatti sull'ambiente.

I diversi modi di trasporto presentano caratteristiche del servizio, costi ed impatti sull'ambiente assai diversi, in termini di consumi di spazio, consumi energetici, inquinamento atmosferico ed acustico, intrusione visiva; i consumi specifici di energia, in particolare, variano fortemente da modo a modo; valori di riferimento sono riportati nella Tabella 6. I consumi, riferiti alle unità di traffico, risultano ovviamente variabili, sia in funzione delle differenti tecnologie che dei coefficienti di riempimento dei veicoli.

Il trasporto su ferro è inoltre favorito rispetto al trasporto stradale, per quanto concerne la diffusione sul territorio delle sostanze inquinanti, in quanto viene effettuato mediante la trazione elettrica: l'utilizzazione (non esclusiva) dei combustibili fossili per la produzione di energia elettrica è infatti concentrata in pochi impianti, generalmente ubicati in aree ambientalmente poco sensibili, che possono essere facilmente tenuti sotto un controllo che non è attuabile per il parco automobilistico.

Per lo sviluppo di una mobilità sostenibile è pertanto necessario contenere lo sviluppo tendenziale della domanda su strada, mediante una politica complessiva dei trasporti orientata al potenziamento delle modalità alternative ed all'orientamento della domanda

verso tali modalità.

Su ciascuna relazione dovranno essere proposte le alternative modali più idonee, in relazione all'entità della domanda ed alla lunghezza dello spostamento; dove l'entità della domanda in loco non è tale da giustificare la realizzazione dei sistemi di trasporto collettivo di più elevata qualità (aereo, treno ad alta velocità), dovrà essere promosso lo sviluppo dei sistemi di accesso a tali modalità di trasporto.

Tabella n. 5

Traffico interno di viaggiatori su medie e lunghe distanze
(miliardi di passeggeri-km)

Anni	Ferrovie dello Stato	Ferrovie in concessione	Autobus: traffico su autostrade e strade statali (a)	Autovetture: traffico su autostrade e strade statali (a)	Trasporto in cabotaggio	Trasporto Aereo (b)	Totale
1970	32,46	2,41	22,75	130,17	0,87	1,44	190,10
1980	39,59	3,36	37,44	202,53	1,52	2,87	287,30
1985	37,40	2,91	43,95	233,74	1,90	4,37	324,26
1990	45,51	2,78	56,11	275,87	2,40	6,42	389,09
1995	49,70	2,79	65,13	305,05	2,25	7,11	432,03
1996	50,40	2,81	66,43	309,71	2,14	7,63	439,11

(a) Stime elaborate su dati ANAS-AISCAT-ACI

(b) Voli interni regolari

Fonte: Conto Nazionale dei Trasporti 1997

Tabella n.6

Consumi specifici in MJ di energia primaria/passeggeri-km
(con tasso di occupazione del 100%)

Modi di trasporto	Consumo specifico (MJ/pkm)
Treni intercity	0.29
Autobus	0.29
Treni ad alta velocità	0.62
Autovetture diesel	0.69
Autovetture a benzina	0.75
Aerei	1.45

Possono a tal riguardo essere individuate le seguenti linee di azione:

- promuovere lo sviluppo dei sistemi ferroviari, sia attraverso la realizzazione di nuove linee, nel quadro dei programmi “alta velocità - alta capacità”, sia attraverso la riqualificazione e la velocizzazione dei collegamenti esistenti; particolare rilievo acquistano gli interventi rivolti al miglioramento della regolarità del servizio ed al miglioramento degli orari (adozione di orari cadenzati, ottimizzazione delle coincidenze);
- promuovere l’intermodalità, che consente di utilizzare per ogni segmento dello spostamento complessivo il modo più idoneo sotto il profilo tecnico, economico ed ambientale; forme di integrazione tra l’aereo ed il treno ad alta velocità sono state già attuate - o sono in corso di attuazione - in Francia ed in Germania.

Sotto quest’ultimo aspetto, giova ricordare che, nel caso del trasporto aereo, la quota di energia necessaria per l’accesso/uscita al/dal sistema risulta significativa, in quanto gli aeroporti sono in genere ubicati a distanze notevoli dalle città, e non sempre sono serviti da collegamenti di tipo ferroviario. Poiché i grandi aeroporti costituiscono importanti centri attrattori di traffico, la realizzazione di collegamenti locali su ferro con le aree metropolitane di riferimento costituisce un importante strumento non solo sotto il profilo ambientale, ma anche sotto il profilo del contenimento della congestione e dei costi interni del trasporto.

Il trasporto locale

La mobilità urbana (intesa come mobilità interna e mobilità di scambio con l’hinterland) è in costante ascesa; i passeggeri-chilometro (pkm) su mezzi motorizzati sono passati da 114 miliardi nel 1983 a 225 miliardi nel 1995 (aumento del 97.3%); la domanda su autovetture è passata nello stesso arco di tempo da 94 a 209 miliardi di pkm (aumento del 122.3%), mentre la domanda sui modi collettivi è scesa da 20 (17,5% del totale) a 16 (7,1%) miliardi di pkm.

La mobilità urbana, in termini di pkm, è pari ad oltre il 50% della mobilità totale; in termini di numero degli spostamenti rappresenta invece la gran parte della mobilità totale. Anche in quest’ambito si ripropone, ma con caratteri fortemente più marcati, lo squilibrio nella ripartizione modale a favore del mezzo individuale, già riscontrato per gli spostamenti a media-lunga distanza.

Consistenti vantaggi possono essere conseguiti favorendo il trasferimento dell’utenza dalle autovetture private, caratterizzate da elevati valori dei consumi e delle emissioni per

passaggero chilometro, ai modi collettivi.

Sono già state analizzate, nei punti precedenti, le possibili strategie per l'orientamento della domanda. Per quanto concerne il miglioramento dell'offerta del trasporto collettivo, è indubbio che l'attuale crisi del settore possa essere superata solo mediante un insieme articolato di interventi, riconducibili a quattro punti essenziali:

- recupero del gap nell'offerta, in particolare nel settore dei sistemi di trasporto rapido di massa delle grandi aree metropolitane;
- sviluppo delle intermodalità (nodi di interscambio, bigliettazione integrata) e di sistemi innovativi (aree a domanda debole, aree a domanda forte nelle ore di morbida e notturne);
- risanamento dei deficit pregressi del trasporto pubblico locale;
- recupero di efficienza complessiva del sistema.

Il terzo punto risulta essenziale per il risanamento del settore.

Le politiche di riforma, attuate nel contesto europeo, sono state ispirate a tre principi generali:

- trasferimento delle competenze dal governo centrale agli enti locali;
- separazione delle funzioni di governo da quelle di gestione;
- liberalizzazione dei mercati.

Nelle diverse realtà dell'Unione Europea è in atto, o si è compiuto, il passaggio da un regime che presentava un'elevata partecipazione pubblica alla produzione dei servizi, ed in generale elementi di monopolismo (proprietà pubblica delle aziende, tutela dei concessionari privati), ad una condizione di concorrenzialità dei mercati, nei quali la gestione rimane affidata prevalentemente all'impresa privata.

Le particolari caratteristiche del servizio di trasporto collettivo, che deve essere offerto (seppure secondo modalità differenziate) nelle zone ad alta e bassa intensità di domanda e tutelando i bisogni di mobilità delle fasce sociali più deboli, non consentono la delegificazione e la privatizzazione totale del settore; ove questo è stato tentato (Gran Bretagna), i risultati non sono stati positivi.

La recente normativa di settore, emanata nel nostro Paese (D.L. 19.12.1997, n. 422, "Conferimento alle regioni ed agli enti locali di funzioni e compiti in materia di trasporto locale, a norma dell'articolo 4, comma 4, della legge 15 marzo 1997, n. 59") [11], che si colloca a valle di un lungo dibattito culturale e politico, appare nel complesso adeguata.

Vengono infatti inclusi nelle competenze regionali anche i servizi ferroviari di interesse locale; vengono definiti i compiti di programmazione e di responsabilità finanziaria affidati alle regioni; vengono definite le modalità della delega agli enti locali (province, comuni); viene affidata alle aziende la sola produzione del servizio, prevedendo procedure

concorsuali per la scelta del gestore e contratti di servizio per assicurare la corrispondenza tra i servizi prestati e le risorse impegnate.

Manca tuttavia nel decreto, o non è sufficientemente sviluppato, il concetto del governo unitario della mobilità, almeno nelle grandi aree urbane e metropolitane. Il governo unitario è finalizzato all'ottimizzazione del sistema, evitando forme di concorrenza improduttiva tra il trasporto pubblico ed il trasporto privato; consente una più facile internalizzazione dei costi esterni generati dai due comparti del trasporto e l'adozione di forme di trasferimento delle risorse dal modo individuale, per il quale esiste una maggiore disponibilità a pagare da parte dell'utenza, al modo collettivo.

In particolare, il governo unitario del sistema consente di attuare in forma congiunta politiche di potenziamento dell'offerta e di orientamento della domanda verso il modo collettivo, strategia che si è rivelata vincente in più realtà territoriali.

Sotto il profilo amministrativo questo sarebbe possibile mediante la creazione di "autorità", o di specifici uffici presso le Amministrazioni comunali, alle quali affidare in forma unitaria il governo del trasporto pubblico e del trasporto privato.

E' da rilevare che, anche in assenza di una specifica normativa, non mancano, anche nelle realtà italiane, esempi di coordinamento in tal senso.

Il governo della mobilità, particolarmente nelle aree urbane e metropolitane, non può tuttavia essere perseguito solo mediante interventi interni al sistema dei trasporti. Gli interventi sulla struttura degli insediamenti e l'assetto del territorio, attuabili nel lungo periodo, costituiscono uno strumento particolarmente efficace per la riduzione dell'entità della domanda e la modifica della sua distribuzione modale, spaziale e temporale.

Tra gli interventi di questo tipo, acquistano particolare rilevanza:

- favorire la "mixité" funzionale degli insediamenti in luogo della specializzazione;
- promuovere la competitività delle aree periferiche in termini di localizzazione di servizi e, più in generale, della qualità urbana;
- selezionare le localizzazioni delle attività produttive a seconda della mobilità indotta e dell'offerta di trasporto attuale o programmata;
- promuovere, nei nuovi insediamenti, assetti urbanistici favorevoli al trasporto collettivo;
- governare le destinazioni d'uso degli immobili, specie nelle aree centrali, mediante l'esplicita considerazione delle conseguenze sulla mobilità.

Si ribadisce pertanto la necessità che i piani regolatori generali, che costituiscono lo strumento urbanistico di base per il governo del territorio comunale, vengano integrati dai piani urbani dei trasporti, intesi come strumenti strategici per il governo della mobilità.

Un'analisi aggregata dei risultati finanziari e degli impatti sull'ambiente, che è possibile conseguire nelle aree metropolitane del Paese mediante un insieme articolato di misure tariffarie (tariffazione della sosta, tariffazione della circolazione nelle aree centrali, diversa

politica tariffaria per il trasporto collettivo), di incentivi al rinnovo del parco veicolare e di miglioramenti gestionali del trasporto collettivo, è stata effettuata in uno studio del Segretariato del CIPET (1993) su “Mobilità urbana e ambiente” [12].

Le analisi hanno riguardato i comuni capoluogo delle tredici aree metropolitane definite dalla legge 142/1990 (Roma, Milano, Torino, Venezia, Genova, Bologna, Firenze, Napoli, Bari, Messina, Catania, Palermo e Cagliari). In questi comuni vivono oltre 10 milioni di abitanti; il tasso medio di mobilità, all’interno del capoluogo, è di 3,5 spostamenti/giorno per abitante di età superiore a 10 anni; gli spostamenti a piedi e gli spostamenti meccanizzati costituiscono rispettivamente il 57% ed il 43% del totale. Negli spostamenti qui considerati sono compresi quelli compiuti dai non residenti; sono invece esclusi quelli compiuti dai residenti, con destinazione all’esterno del capoluogo. La ripartizione attuale degli spostamenti meccanizzati (in termini di passeggeri trasportati) è circa del 40% sui modi collettivi e del 60% sui modi individuali.

E’ stato messo a punto preliminarmente un modello di simulazione della mobilità nelle aree considerate, che è stato verificato rispetto alla situazione attuale. Successivamente sono state elaborate più ipotesi di scenario.

Nello scenario tendenziale è stata simulata l’evoluzione del sistema della mobilità, in assenza di significativi interventi di gestione complessiva, nell’arco temporale di dieci anni. Sulla base dei dati storici dei dieci anni precedenti, si è assunta un’ipotesi tendenziale di crescita della domanda dell’1,5% annuo; è stato anche assegnato al trasporto individuale su strada un ruolo progressivamente crescente (dal 59,2% al 62,6%). L’efficienza del trasporto pubblico è stata supposta inalterata, sia dal punto di vista organizzativo che economico, mantenendo quindi invariati la produzione fisica ed i costi unitari. Si è infine ipotizzato un ricambio del parco veicolare (al 1993) secondo andamenti tendenziali e quindi in assenza di politiche di incentivazione.

Nello scenario di politica di intervento minimale sono state assunte le seguenti ipotesi. L’andamento della ripartizione modale tra pubblico e privato si inverte rispetto alla tendenza rilevata a favore del trasporto pubblico locale (43,6% invece del 40,5%). Non intervengono miglioramenti nella gestione dei servizi di trasporto pubblico locale, ma si ipotizza una riduzione dei costi di esercizio ed un incremento dell’introito medio a viaggio, che passa da 366 a 587 lire, pur non raggiungendo la media europea. Le tariffe per l’uso dell’auto privata vengono fissate in 10.000 lire mensili per la sosta su strada dei residenti, in 2.000 lire/ora per la sosta su strada nel Central Business District (CBD) ed in 1.000 lire/ora per la sosta su strada nelle rimanenti aree pregiate; il costo dell’ingresso nel CBD viene fissato in 1.000 lire al passaggio in entrata (cordon pricing). Si ipotizza infine un ricambio accelerato del parco, mediante il rinnovo completo dei veicoli non catalizzati, nell’arco di dieci anni.

Nell’ipotesi di intervento di maggiore impatto si è considerato un miglioramento dell’efficienza gestionale del trasporto pubblico locale (diminuzione dei buskm in presenza

di un aumento della domanda soddisfatta) ed una più decisa manovra tariffaria nei confronti del trasporto privato. Viene fissata in 50.000 lire mensili la tariffa per la sosta su strada dei residenti, in 4.000 lire/ora la tariffa per la sosta su strada nel CBD, ed in 2.000 lire/ora quella per la sosta su strada nelle rimanenti aree pregiate; il costo dell'ingresso nel CBD viene fissato in 4.000 lire. Si ipotizza infine il rinnovo completo dei veicoli non catalizzati entro sette anni.

Le elaborazioni effettuate consentono un'analisi quantitativa dell'efficacia degli strumenti indicati per la gestione della mobilità; i risultati sono tuttavia da valutare con una certa cautela, specie per quanto concerne la ripartizione modale tra trasporto individuale e trasporto collettivo, in quanto si sono potute utilizzare, per quest'ultimo, solo ipotesi generali di riassetto, senza considerare le caratteristiche specifiche di ciascuna realtà metropolitana.

Gli spostamenti di domanda dal trasporto individuale al trasporto collettivo (Tabella 7) non sono tali da stravolgere gli attuali rapporti di forza, pur risultano particolarmente significativa l'inversione della crescita tendenziale a favore del trasporto pubblico locale.

La nuova ripartizione modale tra trasporto privato e trasporto pubblico permette, congiuntamente alla politica di accelerato rinnovo del parco veicolare mediante veicoli catalizzati (conformi alla direttiva CEE 441/1991), di raggiungere notevoli risultati di abbattimento complessivo delle emissioni di ossido di carbonio, idrocarburi ed ossidi di azoto. I risultati riportati nella Tabella 8 mostrano come la diminuzione delle emissioni in termini assoluti sia estremamente significativa, pur non avendo considerato i miglioramenti del rendimento dei motori che il progresso tecnologico ed il ricambio accelerato del parco permetteranno nel corso del tempo.

Per quanto concerne gli aspetti finanziari, le simulazioni indicano un sensibile miglioramento dei risultati dell'esercizio delle aziende di trasporto delle 13 aree, con una riduzione del deficit da 3.488 miliardi, nelle condizioni del 1993, a 2.891 e 2.364 miliardi rispettivamente nelle due ipotesi di minimo e massimo intervento. Risultati ancora migliori possono essere ottenuti mediante la gestione integrata del trasporto collettivo e del trasporto privato, che permette di travasare risorse dal secondo settore al primo. Le analisi condotte mostrano la possibilità di passare da un fabbisogno complessivo di 4.254 miliardi del 1993, ad un fabbisogno di 1.314 miliardi nella ipotesi di intervento minimo; in presenza della politica di intervento maggiormente incisiva, i risultati dell'esercizio sono positivi ed il sistema mostra la possibilità di un parziale autofinanziamento delle proprie necessità di investimento.

3.2.2. Il trasporto delle merci

La mobilità complessiva delle merci si presenta, nel nostro Paese, in forte crescita; il traffico interno delle merci, espresso in tonnellate-chilometro (tkm) è passato da 202.3 miliardi di tkm nel 1985 a 267.7 miliardi di tkm nel 1995. L'incremento di traffico nel

decennio (+ 65.4 miliardi di tkm) è stato assorbito prevalentemente dal modo stradale, (+50,7 miliardi di tkm), mentre l'incremento di traffico su ferrovia è stato di soli 5,8 miliardi di tkm (Tabella 9). La quantità di merce movimentata nel 1995 è stata trasportata per l'83.3% su strada (Tabella 10).

Tabella n. 7

**Andamento degli spostamenti giornalieri meccanizzati
nei diversi scenari (milioni di spostamenti/giorno)**

	Spostamenti meccanizzati			
	collettivo	%	privato	%
Situazione attuale	8,5	40,5	12,5	59,5
Scenario tendenziale	9,1	37,8	15,0	62,2
Scenario alternativo	10,5	43,6	13,6	56,4

Fonte: CIPET "Mobilità urbana e ambiente. Documento preliminare"

Tabella n. 8

Emissioni giornaliere (tonnellate)

	Emissioni		
	CO (t/g)	COV (t/g)	NO _x (t/g)
Situazione attuale	2.399	422	304
Scenario tendenziale	1.681	284	222
Ipotesi massima	692	122	108
Ipotesi minima	1.065	258	154

Fonte: CIPET "Mobilità urbana e ambiente. Documento preliminare"

E' possibile che questi dati siano sottostimati, in particolare per quanto concerne la componente stradale, la quale potrebbe svolgere, nella realtà, un ruolo ancora maggiore.

L'incremento della domanda è da porre in relazione alla crescita generale dell'economia; i dati del Conto Nazionale Trasporti mostrano come l'incremento registrato tra il 1985 ed il 1995 rispecchia la crescita media annua del 2,5% registrata per il PIL.

L'incremento della domanda è tuttavia da porre in relazione anche a modifiche strutturali dell'organizzazione industriale, che è sempre più orientata al decentramento delle strutture produttive ed alla riduzione delle scorte. Ciò ha richiesto l'adozione di nuovi modelli di

organizzazione logistica, ed in particolare l'adozione di meccanismi che consentono la ricezione "just in time" delle merci.

Il decentramento delle strutture produttive, anche se comporta una maggiore domanda di trasporto, specie sulle distanze medio-lunghe, non può tuttavia essere considerato negativo da un punto di vista più generale: la diffusione delle attività produttive è infatti fattore essenziale per un'armonica crescita socio-economica; la concentrazione delle attività produttive in poche aree "privilegiate" comporta invece problemi e costi elevatissimi. Sono ben noti i massicci spostamenti di popolazione che hanno caratterizzato gli anni '50 e '60, con conseguente abbandono di stock residenziali consolidati e l'innescare di fenomeni esasperati di urbanizzazione.

Tabella n. 9

Traffico totale interno di merci per tutti i modi di trasporto
(miliardi di tkm)

Modi di trasporto	1970		1975		1980		1985		1990		1995	
	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%	v.a.	%
Ferrovie dello Stato	18,91	16,60	15,76	13,45	19,03	10,47	18,81	9,30	21,86	8,84	24,67	9,22
Ferrovie in concessione	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,03	0,05	0,02	0,06	0,02	0,06	0,02
Idrovie	0,35	0,31	0,22	0,19	0,20	0,11	0,20	0,10	0,12	0,05	0,14	0,05
Autotrasporto	58,66	51,51	62,80	53,59	119,63	65,80	144,13	71,24	177,95	71,99	194,82	72,78
Cabotaggio	26,20	23,00	26,83	22,90	31,11	17,11	30,10	14,88	35,67	14,43	35,31	13,19
Trasporto aereo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01
Oleodotti	9,70	8,52	11,50	9,81	11,74	6,46	9,01	4,45	11,51	4,66	12,68	4,74
Totale	113,89	100,00	117,17	100,00	181,80	100,00	202,32	100,00	247,18	100,00	267,70	100,00

(a) Stime elaborate su dati ANAS-AISCAT-ACI

Fonte: Conto Nazionale dei Trasporti 1997

Tabella n. 10

Traffico totale interno di merci per tutti i modi di trasporto
(milioni di tonnellate)

Modi di trasporto	1995	%
Ferrovie dello Stato	82,94	5,55
Ferrovie in concessione	2,27	0,15
Idrovie (*)	0,59	0,04
Autotrasporti	1.246,4	83,33
Cabotaggio (*)	60,32	4,03

Traffico aereo	0,11	0,01
Oleodotti	102,27	6,84
Totale	1.495,741	100,00

(*) 1994

Fonte: Conto Nazionale dei Trasporti 1997

Per il contenimento dei carichi sull'ambiente non appare quindi proponibile una strategia semplicemente rivolta a contenere la mobilità delle merci: occorrerà invece agire sul sistema dei trasporti, creando le condizioni di sostenibilità per la mobilità in atto e per i suoi prevedibili sviluppi.

L'incremento di domanda, verificatosi nel passato, è stato assorbito quasi totalmente dal trasporto stradale; le altre modalità (ferrovia, aereo, condotta, cabotaggio e navigazione idroviaria), pur avendo registrato qualche progresso nel valore assoluto dei traffici, hanno perduto quote notevoli nella ripartizione percentuale del mercato. La modesta ripresa del traffico ferroviario è da imputare principalmente all'incremento del traffico intermodale.

Le modalità considerate servono segmenti di domanda sostanzialmente diversi, sia in termini di caratteristiche delle merci trasportate, sia in termini di distanza media del trasporto; questa è di 297 km per la ferrovia, 153,6 per la strada, 585 per il cabotaggio, 243 per il trasporto per condotta. I prodotti petroliferi costituiscono una quota rilevante (45 - 50%) del traffico di cabotaggio.

Il trasporto su strada, come mostra la Tabella 11, viene effettuato, per una notevole aliquota, su distanze medio-brevi; nell'arco dei 200 km viene trasportato il 78,4% delle tonnellate totali ed il 31,74% delle tkm. Il fenomeno è particolarmente rilevante per il trasporto in conto proprio, meno esteso per il conto terzi, per il quale la quota preponderante degli spostamenti viene effettuata con distanze superiori a 500 km.

Ulteriori considerazioni possono essere svolte per la domanda di trasporto merci alla scala interregionale; questa è stata stimata mediante indagini a bordo strada, effettuate nel corso del 1995, in 150 sezioni bidirezionali ubicate sul territorio nazionale in corrispondenza dei confini regionali e dei valichi di frontiera [13].

La mobilità di scambio delle merci, fra le regioni italiane e con l'estero, è stata stimata in circa 483 milioni di tonnellate ed in circa 122 miliardi di tkm, pari alla quota del 70% circa della mobilità complessiva su strada, stimata dal Conto Nazionale dei Trasporti; le due stime sono state tuttavia ottenute mediante procedure differenti e non sono pertanto confrontabili in senso stretto. La conoscenza esaustiva del fenomeno del trasporto delle merci è di fondamentale importanza; si rendono pertanto necessari nuovi studi ed indagini, come specificato nel seguito.

Una certa prevalenza delle movimentazioni interne alle singole macroregioni è evidente per Sud e Isole, Nord-Ovest e Centro, mentre risulta quasi inesistente per il Nord-Est. Le

macroregioni con la più alta intensità di merci in uscita ed in ingresso sono il Nord - Ovest ed il Centro; confrontando le uscite con gli ingressi si rileva come tali entità siano sostanzialmente bilanciate, con una leggera prevalenza delle uscite per il Centro Nord e degli ingressi per il Sud e Isole.

La distanza media del trasporto interregionale su strada è risultata di 292 km; oltre il 50% delle movimentazioni avviene per distanze tra 100 e 300 km; le merci trasportate per meno di 50 km costituiscono il 14% del totale (questo valore basso dipende dall'aver considerato solo i flussi interregionali); le merci trasportate per oltre 500 km costituiscono una quantità notevole (circa il 15% del totale).

Tabella n. 11

Trasporto merci su strada per classi di percorrenza (a)
Anno 1995

Classi di distanza	Tonnellate		tkm	
	milioni	%	miliardi	%
Fino a 50 Km	602,68	48,36	13,06	7,49
51 – 100 Km	213,88	17,16	16,33	9,36
101 – 150 Km	111,57	8,95	14,23	8,16
151 – 200 Km	78,06	6,26	13,99	8,02
201 – 300 Km	93,28	7,48	23,48	13,46
301 – 400 Km	48,27	3,87	16,93	9,71
401 – 500 Km	24,02	1,93	10,86	6,23
Oltre 500 Km	74,58	5,98	65,55	37,58
Totale	1.246,34	100,00	174,43	100,00

(a) Le quantità si riferiscono a traffico effettuato da veicoli di portata utile > 3,5 t. immatricolati in Italia, anche su territorio estero

Fonte: Conto Nazionale dei Trasporti 1997

Un risultato rilevante dell'indagine è costituito dalla valutazione del grado di utilizzazione dei veicoli, espressa come percentuale di viaggi a vuoto; i dati relativi alle relazioni tra le macroregioni sono riportati nella Tabella 12. Il valore medio delle percentuali di viaggi a vuoto è estremamente alto, e pari a circa il 40% del totale dei viaggi. Le percentuali di viaggi a vuoto, aventi come origine le regioni meridionali e destinazione il Centro-Nord, sono nettamente più alte della media; alquanto più basse della media risultano invece le percentuali di viaggi a vuoto sulle relazioni inverse: ciò può essere spiegato sia dalla prevalenza, per il Centro-Sud, dei flussi in ingresso, sia da una più debole struttura delle imprese di autotrasporto ivi operanti.

Le elevate percentuali di viaggi a vuoto sono infatti indice di una scarsa capacità, da parte

delle imprese di autotrasporto, di integrarsi all'interno delle catene logistiche. I viaggi a vuoto, oltre ad un inutile carico sulla rete viaria, determinano spreco di energia e produzione immotivata di sostanze inquinanti.

Qualche considerazione è necessaria anche per il trasporto delle merci in ambito urbano. I sistemi di distribuzione delle merci costituiscono infatti una componente non trascurabile della mobilità in tali aree: indagini effettuate tra il 1994 ed il 1996 in alcune città italiane (Roma, Milano, Bologna, Parma) hanno mostrato che l'incidenza percentuale del traffico commerciale (espressa in termini di autovetture equivalenti) si aggira sul 20-25 % del totale [14].

Tabella n. 12

Percentuale dei viaggi a vuoto per relazione O/D

O/D	Nord Ovest	Nord Est	Centro	Sud e Isole	Estero
Nord Ovest	38,73	36,75	36,66	12,54	4,46
Nord est	37,97	39,89	29,27	5,67	6,49
Centro	35,46	38,79	38,00	25,99	1,44
Sud e Isole	22,01	55,17	46,71	44,78	1,07
Estero	7,78	7,13	7,05	4,37	4,81

Fonte: [13].

L'entità del traffico commerciale nelle aree urbane, che appare destinata ad aumentare, è da porre in relazione sia all'aumento del volume degli scambi, riconducibile allo sviluppo economico ed al maggior potere di acquisto delle famiglie, sia a modifiche strutturali della distribuzione commerciale: si tende infatti alla riduzione delle scorte, sia per poter aumentare le superfici da destinare alle vendite, a scapito delle superfici destinate a deposito, sia per poter ridurre gli immobilizzi di capitale; quest'ultimo aspetto è prevalente in settori soggetti a rapida mutazione, per la variabilità dei gusti (come la moda) e l'evoluzione della tecnologia (come per l'elettronica).

Si è assistito pertanto ad una polverizzazione delle consegne, che diventano più frequenti e meno consistenti; l'utilizzazione di veicoli in conto terzi è in genere molto bassa rispetto alla utilizzazione di veicoli in conto proprio (il rapporto è di 1:5 nelle città del Centro-Nord). I coefficienti di riempimento dei veicoli alla partenza sono molto bassi; a Bologna il 42,7% dei veicoli in conto proprio parte con un carico inferiore al 25% della portata utile; il 25,8% con un carico tra il 25 ed il 50%, e solo il 31,5% con un carico superiore al 50%.

Questo assetto della distribuzione delle merci risulta particolarmente nocivo, in quanto si verifica nelle aree urbane già soggette a fenomeni di congestione e di inquinamento

ambientale.

La ripartizione modale, nettamente sbilanciata a favore dell'autotrasporto, costituisce tuttavia una caratteristica del nostro Paese. Infatti, in altre realtà (Germania, Francia) l'autotrasporto effettua il 55-58% dei movimenti (tkm); le ferrovie giungono fino al 30%, anche se è in atto una tendenza verso quote di poco superiori al 20%; una più elevata incidenza presentano anche il trasporto di cabotaggio ed il trasporto idroviario [15].

Lo squilibrio del mercato italiano verso il trasporto su gomma è riconducibile ad una pluralità di cause:

- le caratteristiche intrinseche del trasporto stradale in termini di celerità, capillarità, flessibilità;
- il basso costo del trasporto stradale;
- la mancata attenzione delle ferrovie, nel passato, verso il trasporto merci;
- il ritardo nello sviluppo di sistemi intermodali.

Il basso costo del trasporto stradale è imputabile ad un duplice ordine di motivi:

- la mancata internalizzazione dei costi esterni, che fa gravare su questa modalità solo alcune componenti dei costi complessivi (manutenzione del veicolo, conducente, carburante, pedaggi autostradali);
- la frammentazione della struttura dell'offerta di trasporto; all'albo degli autotrasportatori risultano infatti iscritte in Italia circa 145.000 imprese, di cui circa 132.000 sono ditte individuali (i cosiddetti padroncini). Ciò determina condizioni esasperate di concorrenza, che contribuiscono a contenere l'onere dei noli; nello stesso tempo ciò costituisce un freno all'innovazione tecnologica ed all'efficienza del servizio. Si verificano, ad esempio, come si è detto, elevati tassi di percorrenza a vuoto, per la difficoltà di reperire carichi per le due frazioni del viaggio (andata e ritorno).

Lo sbilanciamento del mercato verso il trasporto stradale e le caratteristiche strutturali e contingenti di questa modalità fanno sì che il trasporto delle merci presenti elevate esternalità negative, in termini di consumi energetici, inquinamento atmosferico ed acustico, congestione ed incidentalità. Anche gli oneri per gli utenti del trasporto risultano tuttavia più elevati, in quanto lo squilibrio del mercato verso il "tutto gomma" limita la possibilità di utilizzare altre modalità di trasporto (treno, ancor meglio cabotaggio), che, sulle distanze medio-lunghe, possono offrire prezzi più bassi.

Il contenimento dei consumi energetici nell'autotrasporto dovrà essere perseguito mediante due strategie distinte:

- modificare la ripartizione modale a favore delle modalità meno "energivore";
- razionalizzare il comparto dell'autotrasporto.

Il perseguimento di queste strategie richiede, come si è già detto, l'adozione di misure congiunte per il potenziamento dell'offerta e l'orientamento della domanda; queste ultime possono essere così sintetizzate:

- sviluppare i sistemi per il controllo e la gestione del traffico stradale;
- adottare misure per l'internalizzazione dei costi e l'uso della tariffa come regolatore del mercato;
- sviluppare i sistemi intermodali;
- razionalizzare l'offerta di trasporto stradale.

Le potenzialità ed i limiti delle politiche per l'internalizzazione dei costi e dei sistemi per il controllo e la gestione del traffico sono già stati trattati in precedenza. Vengono qui approfondite le rimanenti due azioni.

Sviluppo di sistemi intermodali

In linea di principio, lo sviluppo dell'intermodalità costituisce lo strumento fondamentale per contenere il consumo energetico nel trasporto delle merci; esistono tuttavia alcuni fattori oggettivi che limitano le quote di traffico trasferibili dal tutto gomma all'intermodale.

Lo sviluppo del trasporto intermodale è proponibile solo sulle relazioni medio-lunghe; per distanze minori (fino a 200 km ed oltre) l'intermodalità appare scarsamente competitiva rispetto al tutto strada; peraltro in tale classe di distanza si concentrano, come si è visto, quote notevoli dei traffici totali.

Lo sviluppo dell'intermodalità presuppone inoltre un adeguato potenziamento del sistema ferroviario, per il quale sono richieste risorse ingenti, nonché modifiche nell'efficienza dei servizi offerti e l'apertura alla concorrenza.

E' richiesta infine l'adozione di misure atte a rendere agevole e conveniente l'accesso ai servizi di cabotaggio; tra queste rientrano il potenziamento delle infrastrutture portuali e dei loro collegamenti terrestri, l'aumento delle corse per entrambi i corridoi tirrenico ed adriatico, l'adozione di livelli tariffari che rendano conveniente il cabotaggio rispetto al tutto strada.

Per tutti questi motivi esistono ampi margini di incertezza nella previsione delle quote di domanda trasferibili dal tutto strada al trasporto intermodale.

Una previsione dello sviluppo complessivo del traffico merci nell'arco temporale 1995-2010 può essere effettuata, in via di prima approssimazione, sulla base della stretta correlazione esistente tra la crescita dei traffici e la crescita del prodotto interno lordo.

Ipotizzando un incremento del PIL, nell'arco temporale di riferimento, in ragione del 2% annuo, si giunge a stimare che il volume totale dei traffici giungerà nel 2010 a circa 311 miliardi di tkm, a fronte di circa 260 miliardi di tkm nel 1995, con un incremento del

19,6%.

E' evidente che questo incremento di domanda non potrà essere assorbito esclusivamente dalla ferrovia e dal cabotaggio, a meno di raddoppiare, in pratica, l'attuale capacità di trasporto di queste due modalità. L'entità dell'autotrasporto continuerà, pertanto, a crescere in valore assoluto, anche se è auspicabile che la sua incidenza percentuale si riduca di qualche punto rispetto al valore attuale.

La quota di traffico che potrà essere trasferita dalla strada alle altre modalità di trasporto dovrà pertanto essere valutata mediante approfonditi studi sulle caratteristiche della domanda e sulle potenzialità dell'offerta.

Razionalizzazione del trasporto stradale

La struttura dell'offerta di autotrasporto presenta ampi margini di razionalizzazione.

Il trasporto delle merci sulle brevi distanze risulta essere il campo di utilizzazione ottimale del modo stradale; una quota prevalente dell'autotrasporto, a questa scala, viene effettuata da veicoli in conto proprio. Ciò comporta notevoli diseconomie, in quanto circa il 40% dei tragitti interregionali viene effettuato a vuoto; i dati disponibili indicano che tale percentuale è probabilmente ancora maggiore per le percorrenze a scala infraregionale.

Lo sviluppo dei sistemi logistici potrà consentire di trasferire quote di domanda dal conto proprio al conto terzi - caratterizzato da una maggiore efficienza organizzativa - e quindi dalla possibilità di ridurre i percorsi a vuoto. Esperienze di questo genere sono auspicabili soprattutto nel campo della distribuzione delle merci alla scala urbana e metropolitana, dove le esigenze del risparmio energetico si sommano alla necessità di contenere i carichi inquinanti ed i livelli di congestione [16, 17].

La domanda di trasporto a lunga distanza appare il segmento più facilmente trasferibile dalla strada ad altre modalità; perché ciò avvenga, è necessaria una profonda ristrutturazione dell'offerta di trasporto stradale in conto terzi, che dall'attuale orientamento al servizio "porta a porta" dovrebbe passare all'integrazione all'interno di catene logistiche complesse, favorendo la riduzione delle percorrenze medie e dei ritorni a vuoto.

In via di larga massima si può stimare che la razionalizzazione dell'autotrasporto possa produrre benefici, in termini di risparmio energetico, comparabili a quelli che è possibile conseguire mediante lo *shifting* nella ripartizione modale; tra gli interventi di razionalizzazione rientrano, ad esempio, la compattazione dei carichi e la riduzione dei viaggi a vuoto.

Considerando ad esempio che il volume del traffico interregionale [13] sia pari a 122 miliardi di tkm, si può stimare, in linea di massima, che dimezzando (dal 40 al 20%) la percentuale dei viaggi a vuoto, si potrebbe ottenere una capacità di trasporto aggiuntiva di circa 40 miliardi di tkm, a parità di carico sulla rete viaria. Non si avrebbero inoltre sostanziali aggravii dei consumi energetici. In alternativa, si potrebbe pensare ad una sostanziale riduzione delle percorrenze e dei consumi energetici, a parità di tkm di merci

trasportate.

Per il trasporto delle merci nelle aree urbane, particolarmente rilevante sotto il profilo ambientale, appare proponibile un sistema di interventi articolati su due livelli.

Al primo livello si colloca la revisione dei criteri di circolazione e della sosta dei veicoli per la distribuzione, attuabile già in sede di Piani urbani del traffico.

Al secondo livello si collocano gli interventi per il miglioramento delle catene distributive, attraverso la realizzazione di piattaforme logistiche e l'impiego di tecnologie informatiche e telematiche per favorire la concentrazione della domanda di trasporto e rendere possibile processi di ottimizzazione nell'impiego dei veicoli; ciò potrebbe essere ad esempio conseguito mediante aziende specializzate nella distribuzione, in luogo dell'attuale struttura basata principalmente sul conto proprio.

3.3. Veicoli e combustibili

Come è noto, la riduzione dei consumi energetici dei mezzi di trasporto si può ottenere, a parità di km percorsi, intervenendo sia sulle caratteristiche costruttive dei veicoli, sia sul loro regime di marcia che deve essere il più possibile costante (riducendo le fasi di accelerazione e frenatura) e con velocità massima limitata.

In questo paragrafo sono indicati solo gli interventi di carattere tecnologico sulle caratteristiche costruttive dei veicoli che, a parità di km percorsi ed indipendentemente dal regime di marcia, permettono una riduzione dei consumi e delle emissioni inquinanti.

Sebbene tutti i mezzi di trasporto comportino un impatto sull'ambiente, gli effetti negativi più pesanti sono imputabili ai mezzi stradali, a causa della loro maggiore diffusione ed al tipo di traffico da loro generato. Per questa ragione, pur non giudicando trascurabile l'impatto ambientale dei veicoli ferroviari, navali ed aeronautici (senz'altro significativo in particolari situazioni), si ritiene opportuno trattare i soli aspetti concernenti il comparto stradale.

La *riduzione delle emissioni inquinanti* dei veicoli stradali si può ottenere intervenendo alla fonte, cercando di migliorare le caratteristiche dei propulsori convenzionali o adottando propulsori intrinsecamente meno inquinanti (propulsori elettrici, ibridi, con celle a combustibile), oppure intervenendo a valle del motore con sistemi di post-trattamento dei gas di scarico, in grado di ridurre l'emissione nell'atmosfera degli inquinanti formati durante la combustione (marmitte catalitiche, filtri).

La *riduzione dei consumi* di energia dei veicoli stradali può essere ottenuta riducendo le resistenze al moto (resistenza aerodinamica, resistenza al rotolamento, inerzia del veicolo) ed aumentando il rendimento di conversione dell'energia del sistema di propulsione. I provvedimenti da prendere per ridurre i consumi energetici sono quindi: riduzione della resistenza aerodinamica, adozione di pneumatici con bassa resistenza al rotolamento,

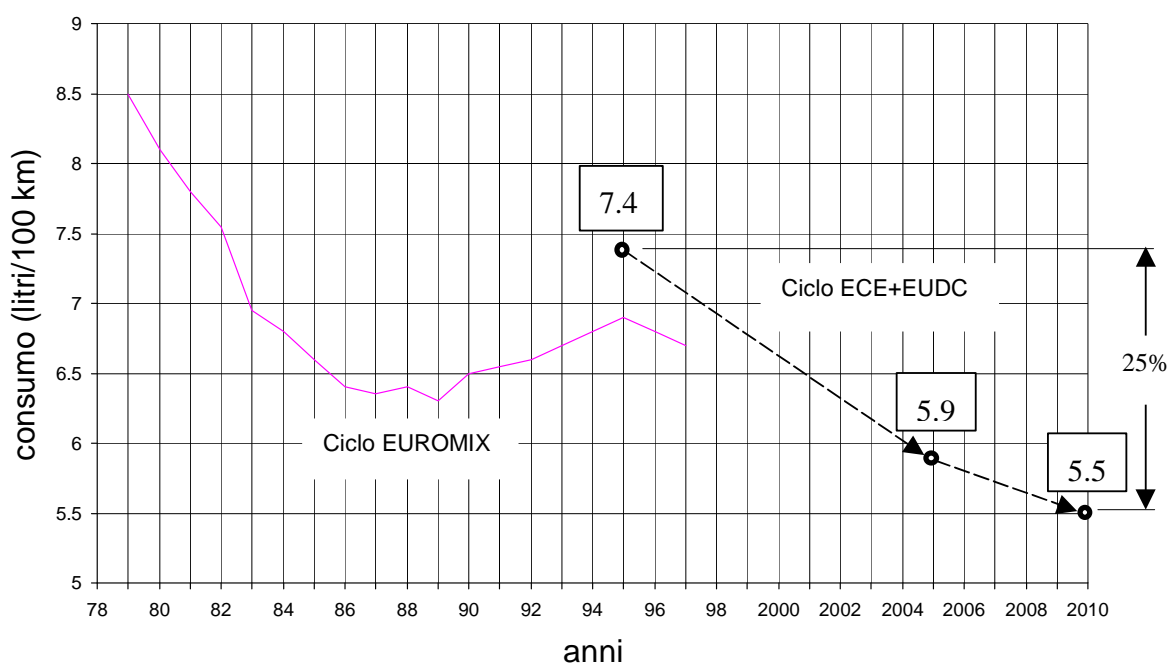
riduzione del peso del veicolo, aumento del rendimento del propulsore e della trasmissione. Nel seguito di questo paragrafo vengono esaminati nel dettaglio i vari aspetti.

Una riduzione dei consumi e dell'inquinamento è inoltre possibile intervenendo sulla composizione o sul tipo dei combustibili utilizzati.

Il risparmio energetico, nel campo dei trasporti come negli altri settori, ha cominciato ad essere considerato un obiettivo importante a partire dalla prima crisi energetica del 1973. Fino a quel momento i combustibili costavano talmente poco da rendere assolutamente privo di interesse qualsiasi tentativo di risparmiare energia; dal '73 in poi invece gli sforzi in questo senso hanno portato ad un progressivo aumento dell'efficienza energetica, come confermato dal grafico di Figura 1, che indica la variazione di consumo medio delle autovetture Fiat nel corso degli anni.

Figura 1 - Variazione dei consumi specifici medi delle autovetture Fiat

(Fonte: Fiat Auto)



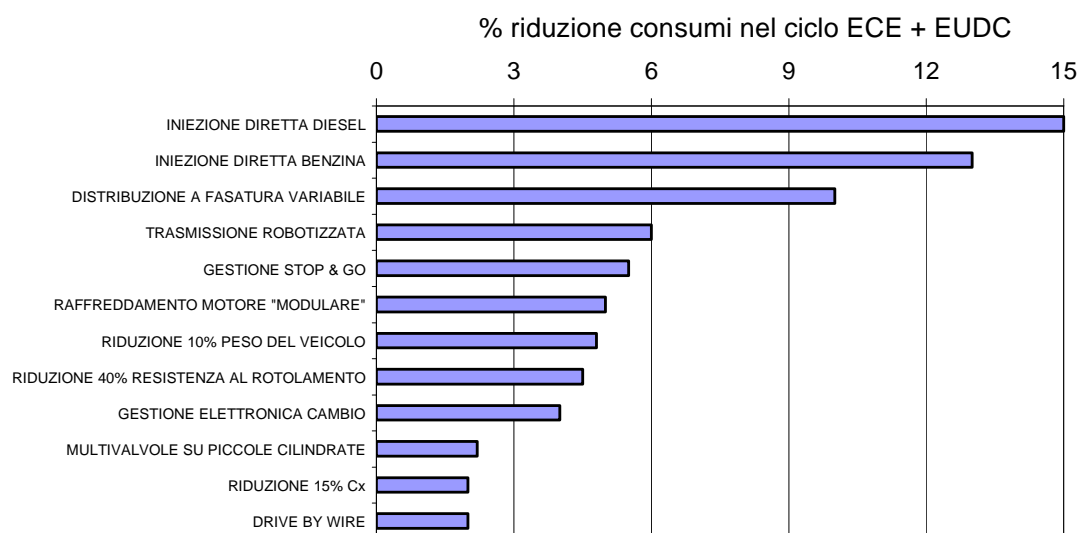
La Figura 1 mostra una riduzione dei consumi inizialmente molto consistente (circa 26% dal 1979 al 1989); a partire dagli anni 90 si è avuta però un'inversione di tendenza, dovuta sia all'aumento della potenza media e del peso dei veicoli commercializzati, sia all'introduzione dei catalizzatori. La linea tratteggiata di Figura 1 indica la diminuzione dei consumi medi prevista secondo gli accordi tra Fiat e governo entro il 2010, corrispondente ad una riduzione del 25% rispetto ai valori del 1995; lo scostamento tra la curva tratteggiata

e la curva continua è dovuto alla diversa modalità di misura del consumo introdotta a partire dal 1996 con il ciclo ECE + EUDC, più severa rispetto al ciclo Euromix precedente. Per raggiungere l'obiettivo della riduzione dei consumi sono necessari miglioramenti in tutti i componenti del veicolo; in Figura 2 sono stati riassunti i principali settori di intervento previsti dalle Case costruttrici e le percentuali stimate di riduzione dei consumi mediamente conseguibili in un ciclo ECE + EUDC; si tenga presente che i miglioramenti indicati non sono sempre additivi.

Il miglioramento indicato nella Figura 2 per l'iniezione diretta di benzina si riferisce al caso di motore a miscela magra ("lean burn"); nel caso di miscela stechiometrica il miglioramento possibile è circa la metà (7%).

Figura 2 - Tecnologie per la riduzione dei consumi e stima dei possibili benefici

(Fonte: Centro Ricerche Fiat)



Tenendo conto delle previsioni della Figura 2, si può ragionevolmente ritenere possibile una riduzione complessiva dei consumi degli autoveicoli entro il 2010 del 25-30%, grazie ad alleggerimento, migliori pneumatici, minore resistenza aerodinamica e sistemi di propulsione di nuova generazione, a condizione che vengano svolte attività di ricerca e sviluppo nelle direzioni indicate.

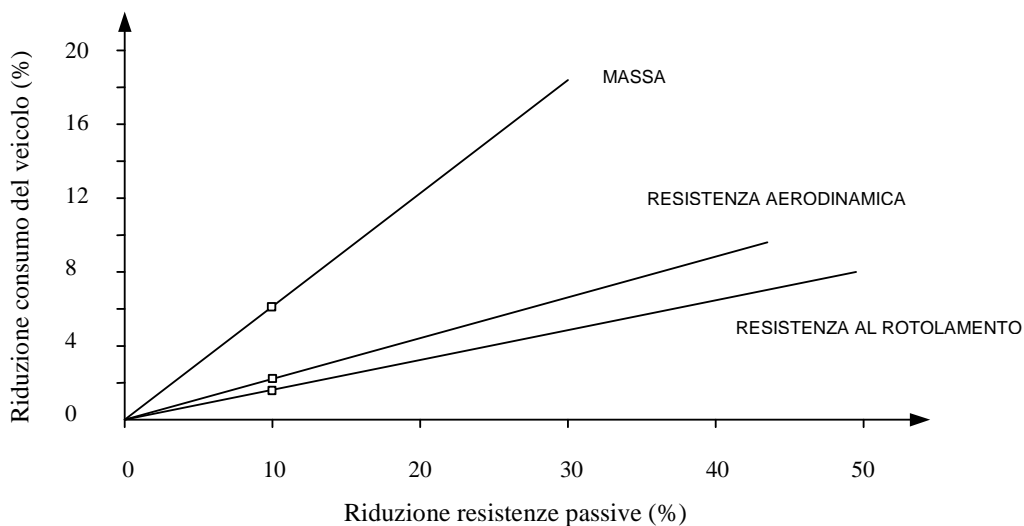
Si tenga però presente che i miglioramenti previsti si riferiscono ad autovetture nuove, mentre nel 2010 saranno in circolazione anche autovetture di attuale produzione, tenendo conto dei tempi di rinnovo del parco circolante. Perciò il beneficio effettivo legato

all'introduzione delle tecnologie innovative sarà minore di quello appena indicato (si stima una riduzione media dei consumi del 10% circa).

E' evidente che il contributo maggiore alla riduzione dei consumi, in termini assoluti, dovrà venire dalle autovetture piccole e medie, cioè dai modelli più diffusi sul mercato. Ciò non significa che le autovetture ad alte prestazioni siano esonerate dal ricercare il basso consumo; al contrario, è auspicabile che proprio le vetture sportive adottino e sperimentino per prime soluzioni d'avanguardia da trasferire successivamente alla produzione di massa, come è già accaduto alcune volte in passato.

Per dare un'idea del contributo alla riduzione dei consumi di un'autovettura derivante dalla diminuzione delle resistenze passive, si riporta in Figura 3 il caso di una vettura di 1000 kg che percorre un ciclo ECE + EUDC. La riduzione della massa della vettura è il provvedimento più efficace per la riduzione dei consumi: la Figura 3 mostra infatti che una riduzione di peso del 10% determina una diminuzione dei consumi del 6%, mentre riduzioni dello stesso ordine (10%) della resistenza aerodinamica e del coefficiente di attrito dei pneumatici producono risparmi sui consumi più contenuti (2% e 1.7% rispettivamente).

Figura 3 - Riduzione di consumo di un veicolo di 1000 kg durante un ciclo ECE+EUDC mediante riduzione delle resistenze passive



Per quanto riguarda le motorizzazioni (Figura 4), si prevede una forte espansione nel prossimo futuro dei motori diesel ad iniezione diretta ed una diminuzione percentuale dei motori a benzina. Probabilmente i motori diesel a precamera scompariranno quasi

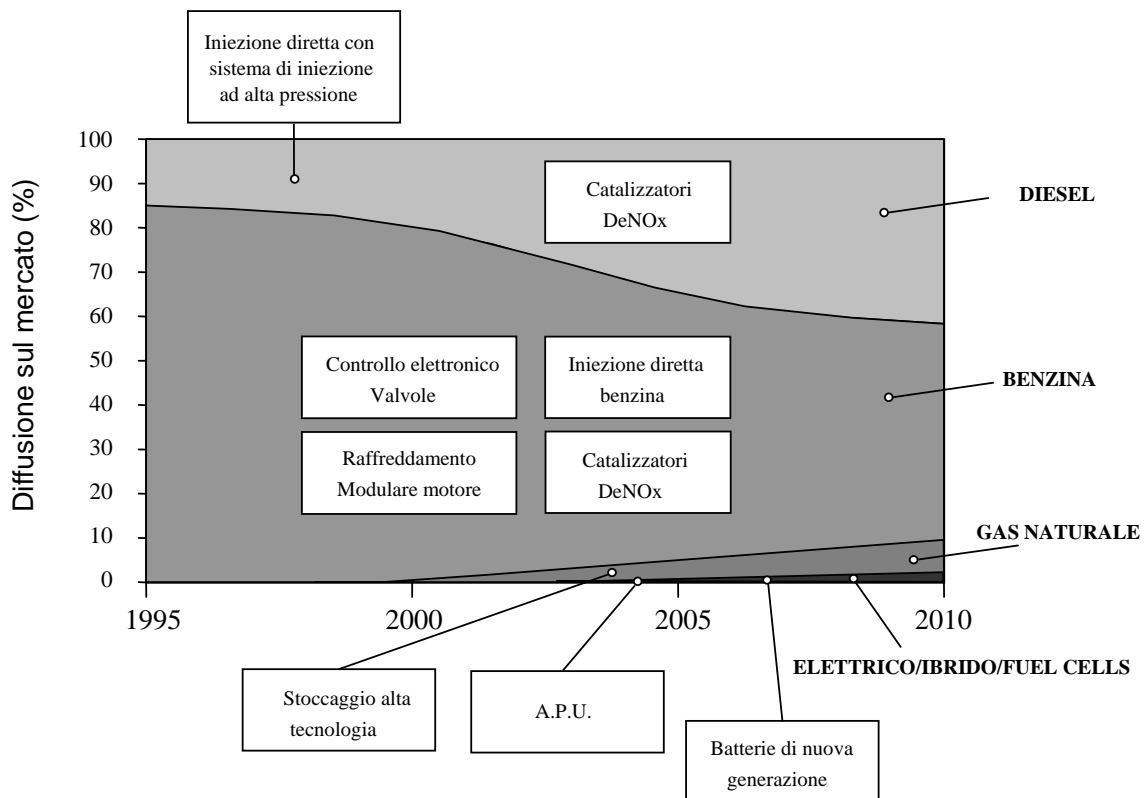
totalmente dal mercato.

I motori a benzina e diesel nel 2010 permetteranno probabilmente ai veicoli di essere classificati come ULEV (Ultra Low Emission Vehicles). Per quanto riguarda le motorizzazioni alternative si prevede una crescente affermazione dei motori a metano, legata anche allo sviluppo della rete di distribuzione del combustibile, fino a percentuali inferiori al 10% nel 2010, ed uno sviluppo molto limitato dei propulsori elettrici, ibridi e con celle a combustibile.

Esaminiamo ora nel dettaglio i principali interventi per la riduzione dei consumi e dell'inquinamento nei veicoli stradali.

Figura 4 - Motorizzazioni previste nel prossimo futuro

(Fonte: Centro Ricerche Fiat)



3.3.1 Riduzione della resistenza aerodinamica

La resistenza aerodinamica, essendo proporzionale al quadrato della velocità, è molto ridotta nella marcia cittadina, mentre incide fortemente sui consumi nella marcia

extraurbana. Orientativamente si può affermare che, per una vettura di classe media, la resistenza aerodinamica diventa la causa principale di consumo per velocità superiori a 60-70 km/h.

La riduzione della resistenza aerodinamica si ottiene sia diminuendo il C_x della vettura, attraverso la ricerca di forme aerodinamiche sempre più efficienti, sia riducendo l'area della sezione frontale del veicolo.

Nel corso della storia dell'automobile si è avuta una significativa riduzione del C_x , soprattutto a partire dagli anni 70, quando le esigenze di risparmio energetico hanno portato ad un approccio più scientifico al problema, concretizzatosi con la costruzione delle prime gallerie del vento.

Attualmente le autovetture in commercio hanno C_x compresi tra 0.28 e 0.35; un C_x di 0.22-0.25 (circa 15% in meno rispetto ai valori attuali) viene considerato possibile per l'anno 2000, anche se il risultato non è scontato, soprattutto se non vi saranno condizioni che impongano un maggiore impegno in questa direzione (si è già osservato, infatti, che il ciclo di prova ECE + EUDC, recentemente introdotto al posto del ciclo Euromix per misurare i consumi, rende poco evidenti i miglioramenti ottenibili agendo sull'aerodinamica).

I miglioramenti del C_x sono legati al perfezionamento delle gallerie del vento attualmente disponibili, allo scopo di simulare in modo sempre più fedele il comportamento aerodinamico dei veicoli su strada. E' necessaria pertanto un'attività di ricerca specifica in questo settore, senza la quale non si otterranno progressi significativi.

Una minore resistenza aerodinamica si può ottenere anche riducendo l'area della sezione frontale del veicolo, adottando una forma più schiacciata e compatta. Questo provvedimento contrasta con l'esigenza di garantire una buona abitabilità interna, soprattutto nelle piccole vetture dove si tende a recuperare in altezza lo spazio interno che viene sottratto in lunghezza. Si ritiene possibile per questa via un piccolo contributo alla riduzione dei consumi.

Combinando gli effetti positivi dei due provvedimenti descritti - riduzione del C_x e della sezione frontale - si può ragionevolmente considerare possibile una riduzione complessiva della resistenza aerodinamica compresa tra il 15% ed il 25% che comporterebbe una riduzione del 3-5% dei consumi di un'autovettura piccola di 1000 kg in un ciclo ECE + EUDC.

3.3.2 Pneumatici

Il consumo di carburante utilizzato per vincere la resistenza al rotolamento dei pneumatici, causata dalle resistenze passive dei materiali impiegati, costituisce in media il 15-20% del consumo di un'autovettura e il 25-30% del consumo di un autocarro. Si stima che questo consumo, riferito al parco autoveicoli italiano, generi circa 22 milioni di tonnellate all'anno di CO₂; una riduzione del 10% darebbe già un contributo significativo al raggiungimento dell'obiettivo di Kyoto.

L'industria italiana del settore dichiara già disponibili sul mercato pneumatici innovativi, caratterizzati da una resistenza al rotolamento inferiore del 20-25% rispetto ai prodotti della generazione precedente per la medesima fascia di mercato.

Ulteriori miglioramenti sono possibili se verranno varati programmi di ricerca per una futura generazione di pneumatici caratterizzati da un'ulteriore riduzione della resistenza al rotolamento (>35%). Le attività di ricerca riguardano prioritariamente i materiali e le metodologie di progettazione.

Per il futuro, si stima che sia possibile ottenere miglioramenti della resistenza al rotolamento compresi tra il 30% ed il 50% i quali consentirebbero ad un'autovettura piccola di 1000 kg, durante un ciclo ECE + EUDC, di realizzare riduzioni dei consumi del 5-8% circa.

3.3.3 Allevamento dei veicoli

La resistenza al rotolamento può essere ridotta sia con l'uso di pneumatici innovativi, sia attraverso una riduzione della massa del veicolo; quest'ultimo provvedimento concorre anche a ridurre l'inerzia del veicolo ed ha quindi un effetto molto positivo soprattutto nella marcia in ambito urbano.

Negli ultimi venti anni si è riscontrata una tendenza generale all'aumento del peso dei veicoli, compreso tra il 15% ed il 20% a seconda dei segmenti di mercato, giustificata in parte dalla richiesta di maggior comfort e sicurezza. L'esigenza attuale di ridurre i consumi dovrà portare necessariamente ad un'inversione di tendenza, attuabile mediante l'impiego di nuovi materiali e processi, oltre ad una generale semplificazione del veicolo in un'ottica minimalista.

Tutti i Costruttori concordano nella possibilità di una drastica riduzione del peso delle vetture rispetto ai valori attuali, stimata tra il 15% ed il 30%. Con queste riduzioni di peso il consumo di un'autovettura piccola (con peso di partenza di 1000 kg) durante un ciclo ECE + EUDC si riduce del 9-18%. Si deve però notare che la riduzione del peso deve essere compatibile con il mantenimento delle caratteristiche di sicurezza del veicolo; per questa ragione si può presumere, almeno inizialmente, una riduzione di peso delle vetture più contenuta, attorno al 10%.

Inoltre è auspicabile che la riduzione di peso sia realizzata in parallelo da tutti i Costruttori, per evitare in futuro eccessive differenze di peso tra veicoli, che porterebbe ad una maggiore aggressività dei veicoli più pesanti nei confronti di quelli leggeri in caso di incidente.

La riduzione del peso dovrà riguardare anche le vetture ad alte prestazioni (che oggi sono molto pesanti); l'allevamento è peraltro più agevole da conseguire in questa classe di veicoli, perché si può far ricorso anche a soluzioni costose, attualmente riservate alle vetture da competizione.

3.3.4 Miglioramento dei motori a benzina e diesel

Per contenere al massimo le emissioni inquinanti dei motori a benzina, nel rispetto delle normative in vigore, sono al momento indispensabili le marmitte catalitiche trivalenti.

In ogni caso tale soluzione, per ora soddisfacente, non deve distogliere l'attenzione dall'obiettivo ambizioso di realizzare motori intrinsecamente puliti cui deve tendere l'attività di ricerca futura.

Inoltre i motori a benzina con marmitte catalitiche trivalenti, dovendo obbligatoriamente operare con rapporto aria/combustibile stechiometrico, non potranno ridurre in futuro i consumi in maniera sensibile (si stima non più del 5-6% rispetto ai motori attuali).

Ai catalizzatori trivalenti dovranno essere apportati miglioramenti al fine di ridurre il tempo di attivazione nelle partenze a freddo, aumentare le temperature tollerabili (oltre gli 800°C) nonché la durata e l'affidabilità.

Ottime prospettive per quanto riguarda consumi ed emissioni possono essere garantite in futuro dal motore a benzina ad iniezione diretta, ancora in fase di sviluppo.

I motori diesel, in virtù delle loro diverse caratteristiche costruttive e funzionali, producono già ora quantità nettamente inferiori di CO ed HC rispetto ai motori a benzina, quantità leggermente inferiori di NO_x e maggiori di particolato.

I consumi di combustibile di un motore diesel a precamera sono inferiori del 15-20% rispetto ad un motore a benzina equivalente; con un motore diesel ad iniezione diretta si ottiene una riduzione di consumo del 30-35% (ma le emissioni di CO₂ si riducono di una quantità leggermente inferiore per effetto della maggiore densità del gasolio rispetto alla benzina).

Per quanto riguarda lo sviluppo ottimale del processo di combustione, allo scopo di ottemperare ai limiti Euro II ed Euro III, la soluzione più promettente dal punto di vista di consumi, emissioni e prestazioni è senza dubbio costituita dal motore diesel ad iniezione diretta con sistema di iniezione ad alta pressione, sovralimentato con turbocompressore a geometria variabile ed intercooler.

3.3.5 Combustibili alternativi

La riduzione dell'inquinamento in futuro è possibile anche attraverso l'utilizzo di combustibili alternativi o riformulati.

La riformulazione dei combustibili ha effetti molto positivi sulla riduzione delle emissioni allo scarico di tutti gli inquinanti ed è inoltre una via obbligata per l'introduzione di nuove tecnologie motoristiche e di post-trattamento dei gas di scarico. Importanti miglioramenti delle caratteristiche dei combustibili saranno resi obbligatori dalla futura normativa in materia.

La riduzione delle emissioni ottenibile con il miglioramento delle caratteristiche dei combustibili è particolarmente importante; infatti, anche se a prima vista il beneficio sembra minore di quello ottenibile con le tecnologie motoristiche, diventa immediatamente

efficace su tutto il parco circolante senza dover attendere il suo rinnovo.

L'anidride carbonica è notoriamente un prodotto della combustione completa del carbonio contenuto nei combustibili; se ne può ridurre l'emissione in atmosfera riducendo la quantità di combustibili bruciati o privilegiando quei combustibili che nella loro composizione hanno i più alti rapporti del contenuto di idrogeno rispetto al carbonio.

Si può mediamente stimare che, a parità di calore prodotto e posta uguale a 1 la quantità di CO₂ prodotta dalla combustione del metano, per gli altri combustibili si hanno i valori di Tabella 13 (si noti che, per effettuare un confronto tra le emissioni/km di CO₂ di veicoli alimentati con diversi combustibili, si deve tenere conto del diverso rendimento dei motori; con questa correzione si ottengono valori leggermente diversi da quelli indicati nella Tabella 13).

L'idrogeno, grazie alle emissioni nulle di CO₂ ed all'alto potere calorifico, potrà diventare il combustibile del futuro se si riusciranno a superare alcune difficoltà tecnologiche di stoccaggio e di distribuzione nonché i problemi relativi al costo di produzione (l'idrogeno non si trova libero in natura, ma deve essere prodotto tramite elettrolisi).

L'idrogeno presenta interessanti prospettive di utilizzazione come combustibile nei motori a combustione interna oppure per alimentare le celle a combustibile.

Tabella 13

CO₂ prodotta dai diversi combustibili

Tipo di combustibile	Produzione di CO ₂ rispetto a quella del metano
Gasolio	1.31
Benzina	1.27
GPL	1.10
Gas Naturale	1.00
Idrogeno	0.00

Il gas naturale compresso (CNG), costituito prevalentemente da metano, è l'unico combustibile alternativo realmente disponibile su larga scala. Grazie al suo elevato numero di ottano, che rende possibili maggiori rapporti di compressione, il motore a metano ha un elevato rendimento ed emissioni di CO₂ molto inferiori rispetto ad un equivalente motore a benzina. In virtù delle caratteristiche del metano, sostanza a bassa reattività, i motori si comportano meglio dal punto di vista ambientale nei riguardi degli inquinanti

regolamentati e ciò rende prevedibile, in prospettiva, il soddisfacimento anche dei limiti di emissione Euro IV.

3.3.6 Veicoli elettrici

I veicoli elettrici non sono un'invenzione recente; i primi esemplari risalgono a circa un secolo fa e fu proprio un veicolo elettrico il primo mezzo di trasporto su gomma a superare, nel 1899, la velocità di 100 km/h.

Negli ultimi anni si è avuto un forte recupero di interesse per la trazione elettrica, soprattutto in seguito all'emanazione della normativa californiana del 1990, che obbligava le Case costruttrici a commercializzare percentuali crescenti di auto elettriche a scadenze prefissate.

Nonostante gli sforzi del mondo scientifico, al momento le auto elettriche non sono ancora competitive sul libero mercato.

A parte il costo elevato di questi veicoli, che comunque si abbasserebbe con una loro maggiore diffusione, la caratteristica che ostacola lo sviluppo commerciale dei veicoli elettrici è la scarsa autonomia energetica dovuta alla limitata capacità di accumulo delle batterie attualmente disponibili.

Al momento l'autonomia del veicolo elettrico consentita dalle batterie al piombo è di 60-80 km e la ricarica completa delle batterie richiede 6-8 ore, obbligando ad una sosta forzata.

Esistono già in commercio batterie migliori di quelle al piombo, come le batterie al Ni-Cd, ma la loro capacità di accumulo è comunque di due ordini di grandezza inferiore a quella dei combustibili per autotrazione. Molti altri tipi di batterie sono in fase di sviluppo, con alcune soluzioni molto promettenti come le batterie Ni-idruri metallici.

Nonostante gli svantaggi citati si deve notare che le prestazioni del veicolo elettrico, per quanto limitate, sono del tutto compatibili con le esigenze di mobilità in ambito urbano, tenendo conto della brevità della maggior parte delle percorrenze giornaliere. Ricerche condotte in Europa dimostrano, infatti, che il 60% delle percorrenze giornaliere è inferiore ai 30 km ed il 75% delle percorrenze è inferiore ai 50 km.

Per incrementare a livelli significativi la diffusione dei veicoli elettrici anche presso utenti privati appare però necessario assecondare il desiderio di una vettura polivalente, da ottenersi aumentando le prestazioni a livelli comparabili con quelle dei veicoli termici.

Inoltre la diffusione dei veicoli elettrici si deve accompagnare ad una diversa modalità d'uso e manutenzione del veicolo da parte dell'utente: ad esempio si deve evitare una guida troppo prestazionale e le batterie devono essere "gestite" con cura, evitando di scaricarle a fondo usando il veicolo al limite della sua autonomia.

I veicoli elettrici, dal punto di vista del rendimento globale e quindi del consumo di energia primaria, non presentano significativi vantaggi rispetto ai veicoli con motore a combustione interna; infatti, tenendo conto di tutti i rendimenti di conversione dell'energia (dalla centrale elettrica di produzione alle ruote motrici) si giunge per l'auto elettrica ad un

rendimento complessivo di poco superiore al 10%, paragonabile a quello di un'auto termica convenzionale.

Diverso è il discorso in termini di produzione di CO₂: mentre per l'auto termica, che utilizza combustibili fossili, le emissioni di CO₂ sono inevitabili, per l'auto elettrica queste dipendono dal tipo di centrale elettrica di produzione e quindi, in ultima analisi, dal "mix" energetico del paese in cui l'auto viene utilizzata.

Esistono Paesi, come l'Italia, che producono la maggior parte dell'energia elettrica da combustibili fossili, mentre altri Paesi utilizzano in modo rilevante anche altre fonti come il nucleare. Il mix energetico previsto per il 2000 in Italia è infatti così costituito: 53% petrolio, 14% gas naturale, 11% carbone, 22% idroelettrico e fonti rinnovabili; in Francia, invece, la produzione di energia sarà assicurata nel 2000 per l'83% dal nucleare, per il 3% dal carbone e per il 14% da idroelettrico e fonti rinnovabili.

E' evidente quindi che l'impiego dell'auto elettrica, dal punto di vista delle emissioni di CO₂, è più conveniente nei Paesi come la Francia dove l'uso di combustibili fossili nella produzione di energia elettrica è molto ridotto; tuttavia, pur tenendo conto del mix energetico sfavorevole per l'Italia, il bilancio delle emissioni di CO₂ è comunque migliore per l'auto elettrica rispetto alle motorizzazioni termiche convenzionali.

Inoltre, l'introduzione di un numero limitato di auto elettriche non renderebbe necessaria la costruzione di nuove centrali: è stato stimato infatti che un milione di nuovi veicoli elettrici in Italia incrementerebbe i consumi elettrici solo dello 0.8% circa.

Un ulteriore vantaggio offerto dall'auto elettrica è la possibilità di effettuare la ricarica notturna delle batterie, che consente di utilizzare l'energia in un periodo di minore richiesta, quando c'è una forte riserva di capacità produttiva da utilizzare, con positivi effetti anche in termini di economicità del sistema di produzione dell'energia elettrica. La ricarica si può effettuare con allacciamenti elettrici da 3 kW (il normale allacciamento domestico) a 220V.

Per quanto riguarda le emissioni, i veicoli elettrici non producono inquinamento nel luogo di utilizzo, ma possono inquinare per via indiretta attraverso le centrali di produzione dell'energia elettrica, qualora esse siano alimentate con combustibili fossili. In ogni caso il controllo delle emissioni delle centrali è senza dubbio più facile di quello effettuabile sul parco autoveicoli; inoltre, le emissioni della centrale di produzione ricollegabili all'uso dell'auto elettrica sono sensibilmente inferiori a quelle delle autovetture con motore a combustione interna.

Da non dimenticare infine il problema dello smaltimento delle batterie, anch'esso con implicazioni ambientali, da ripetersi più volte nel corso della vita utile dell'autoveicolo elettrico (la vita utile delle batterie al piombo "ad elettrolita aperto" è di 400-600 cicli di ricarica, mentre le batterie alcaline al Ni-Cd possono superare i 1000 cicli). Per lo smaltimento delle batterie esiste un consorzio obbligatorio COBAT che si occupa del riciclaggio delle batterie esauste.

Un settore di possibile sviluppo per la propulsione elettrica è quello dei ciclomotori; sono stati già realizzati motorini elettrici con batterie al piombo, ma sarà probabilmente la disponibilità in futuro delle batterie al Ni-idruri metallici che, consentendo un'autonomia reale dei ciclomotori in ambito urbano prossima ai 50 km, renderà molto appetibile questa soluzione.

Nel luglio 1998 erano in circolazione in Italia circa 7500 veicoli elettrici ed ibridi di vario tipo (inclusi veicoli speciali), tra cui 660 autovetture, 120 autobus elettrici e 70 autobus ibridi; si tratta, anche in una prospettiva a breve termine, di un mercato di nicchia. Se rimarrà tale i costi di produzione non potranno essere abbattuti e, soprattutto, sarà irrilevante il beneficio ambientale derivante dall'utilizzo di tali veicoli.

3.3.7 Veicoli ibridi

Mentre i veicoli elettrici richiedono ancora notevoli avanzamenti tecnologici per essere competitivi, i veicoli ibridi possono già garantire un'autonomia energetica soddisfacente e livelli di inquinamento estremamente bassi.

Attualmente tali veicoli sono visti come una soluzione "ponte" in attesa dello sviluppo di sistemi più competitivi, come l'auto con celle a combustibile.

I sistemi di propulsione ibridi sono sistemi complessi che utilizzano un motore elettrico in aggiunta al motore termico, al fine di consentire a quest'ultimo un funzionamento meno impegnativo ed una notevole riduzione delle emissioni inquinanti. Con i veicoli ibridi è possibile inoltre ottenere anche apprezzabili riduzioni del consumo energetico.

Nel corso degli ultimi anni sono state proposte molte configurazioni di sistemi di propulsione ibridi, alcune delle quali anche molto complesse, ma tutte comunque derivabili dalle due configurazioni base "serie" e "parallelo".

Il sistema ibrido serie è sostanzialmente un sistema di propulsione elettrico con l'aggiunta di un gruppo elettrogeno a monte dello stesso, che ha il compito di aumentare l'autonomia del veicolo generando a bordo l'energia elettrica. In questo modo si supera il problema tipico della limitata autonomia dei veicoli elettrici, dovuta alla necessità di accumulare nelle batterie a bordo tutta l'energia necessaria al moto nell'intervallo compreso tra due soste per la ricarica.

Il sistema ibrido parallelo è invece costituito da un motore termico che funziona a regime variabile e fornisce la potenza meccanica direttamente alle ruote. Un motore elettrico, alimentato dalle batterie, fornisce una coppia aggiuntiva all'albero motore nelle condizioni di marcia più gravose, consentendo al motore termico un funzionamento meno impegnativo.

A differenza del sistema ibrido serie che - come abbiamo appena evidenziato - può essere considerato un sistema di propulsione elettrico "aiutato" da un motore termico, il sistema ibrido parallelo è sostanzialmente un sistema di propulsione termico "aiutato" dal motore elettrico.

Nel sistema serie lo svantaggio del notevole numero di trasformazioni energetiche, che penalizza il rendimento globale del sistema, viene compensato dal vantaggio del funzionamento stazionario del motore termico. Al contrario, nel sistema parallelo il rendimento globale del sistema si giova di un minor numero di trasformazioni energetiche, ma è penalizzato del funzionamento a regime variabile del motore termico.

Queste considerazioni hanno spinto a ricercare nuove configurazioni ibride che mantenessero i vantaggi appena descritti dei sistemi "serie" e "parallelo" senza averne gli svantaggi: dei sistemi cioè con un motore termico stazionario che possa trasferire almeno una parte della potenza prodotta direttamente alle ruote senza convertirla in altre forme di energia.

A questo scopo sono stati ideati alcuni sistemi ibridi più complessi, tra i quali si può ricordare il sistema che utilizza un rotismo epicicloidale installato sulla Toyota Prius, che viene già prodotta in serie dai primi mesi del 1998.

Questo sistema, chiamato dalla Toyota "split hybrid", è stato proposto per la prima volta in forma teorica con il nome "Sipre" da studiosi italiani dell'Università di Roma "La Sapienza" ed operanti nell'ambito del CNR; solo successivamente il propulsore è stato sviluppato dalla società austriaca AVL ed infine dalla Toyota.

3.3.8 Veicoli con celle a combustibile

Si tratta di veicoli elettrici/ibridi in cui l'energia elettrica viene prodotta a bordo da un sistema costituito da:

- un "reformer", in grado di trasformare il combustibile utilizzato (in campo automobilistico potrebbe essere metano, metanolo o benzina) in idrogeno oppure in una miscela di gas ricca di idrogeno; in alternativa, l'idrogeno può essere prodotto a terra ed immagazzinato a bordo del veicolo come idrogeno compresso;
- una batteria di celle a combustibile alimentata con l'idrogeno prodotto dal reformer e con aria, in grado di produrre energia elettrica e come sottoprodotto acqua.

Le celle a combustibile (*fuel cells*) sono quindi dei generatori elettrici in grado di convertire direttamente l'energia chimica di un combustibile in energia elettrica, senza passare attraverso un processo di combustione, con evidenti vantaggi in termini di rendimento.

Tra i diversi tipi di celle a combustibile le più interessanti per la trazione stradale sono quelle ad elettrolita polimerico. Le celle a combustibile producono emissioni inquinanti molto ridotte ed hanno un buon rendimento; se l'idrogeno è prodotto da combustibili fossili sono presenti emissioni di CO₂ durante il processo di reforming, ma la loro quantità è ridotta grazie al miglior rendimento complessivo ottenibile rispetto agli altri sistemi di propulsione.

Molti Costruttori di autoveicoli sono impegnati in programmi di sviluppo delle autovetture con celle a combustibile, sia negli Stati Uniti che in Europa, e sono auspicabili progetti di

ricerca in questo settore anche in Italia.

Uno studio dell'Argonne National Laboratories prevede una quota di mercato per queste vetture dell'1% nel 2020; può darsi che gli sviluppi di questo sistema siano più rapidi, ma è difficile che le celle a combustibile possano dare un contributo significativo al raggiungimento degli obiettivi di Kyoto.

3.4 Sistemi di controllo della marcia veicolare, del traffico e della mobilità

Il controllo del traffico e della mobilità, la sicurezza e l'efficienza dei sistemi di trasporto possono essere sensibilmente migliorati in fase operativa mediante l'adozione di strategie e sistemi di controllo di tipo innovativo. Questi sistemi, resi tecnicamente ed economicamente fattibili dagli sviluppi dell'informatica, della telematica e della multimedialità, rappresentano un campo in cui si stanno concentrando notevoli quantità di risorse per la ricerca e nel quale è fortemente attiva la concorrenza fra macro-aree economiche a livello mondiale.

In particolare per quanto concerne il trasporto su strada, la necessità di regolamentare gli spostamenti per eliminare condizioni di sovraccarico delle reti ha orientato la ricerca verso lo sviluppo di architetture integrate in cui le azioni di controllo di sistemi operanti in settori diversi (controllo semaforico, gestione dei trasporti pubblici, monitoraggio ambientale, gestione degli accessi, sistemi di gestione delle informazioni, sistemi di comunicazione) vengono coordinate a livello operativo al fine di perseguire l'obiettivo generale della salvaguardia dell'ambiente attraverso il contemporaneo e migliore utilizzo delle risorse di trasporto e della sosta.

In generale, va sottolineato che la telematica può contribuire a razionalizzare tutte le decisioni e le azioni che riguardano la mobilità. In particolare,

- *i servizi di telelavoro* possono ridurre la domanda per viaggi obbligati casa-lavoro,
- *i servizi di informazione prima del viaggio* possono contribuire a migliorare le scelte dell'utente riguardo al momento in cui effettuare il viaggio, al modo da utilizzare, al percorso; in ultima analisi, questi servizi contribuiscono ad un miglior equilibrio tra domanda e offerta,
- *i servizi e sistemi di controllo e gestione del traffico e dei trasporti* possono ridurre la congestione e gli effetti ambientali del traffico e, nel contempo, privilegiare i modi di trasporto più efficienti, quali il trasporto pubblico,
- *i sistemi di informazione e navigazione dinamici* possono avere, in ultima analisi, un effetto simile ai precedenti,
- *i sistemi di controllo del veicolo* possono migliorare i flussi di traffico, aumentando la

sicurezza e diminuendo gli impatti ambientali.

In questo contesto assumono particolare importanza le attività di ricerca sui sistemi integrati di controllo del traffico e sui sistemi di informazione all'utenza, in campo urbano ed extraurbano sia per quanto concerne la pianificazione del viaggio (pre-trip) sia per le informazioni sui percorsi e sul traffico (on-trip) e l'assistenza alla guida, le quali si avvalgono del rapido sviluppo di tecnologie di radiocomunicazione di tipo RDS (Radio Data System), DAB (Digital Radio Broadcasting), di tipo cellulare e satellitare. Altre applicazioni telematiche di particolare rilievo riguardano le tecnologie per la tariffazione automatica della sosta e delle infrastrutture stradali. Per quanto concerne poi il trasporto pubblico, l'introduzione di sistemi avanzati per il monitoraggio ed il controllo della flotta, unitamente ad un adeguato coordinamento semaforico di tipo "intelligente", consentono di migliorare l'efficienza e l'affidabilità del servizio e l'impatto ambientale, grazie al risparmio di combustibile e al minore inquinamento, con un impatto positivo anche sul traffico privato.

I benefici sull'ambiente, in termini sia di riduzione delle emissioni inquinanti che di consumo di combustibile, ottenuti mediante l'applicazione delle tecnologie telematiche al trasporto su strada, sono direttamente collegati alla riduzione della congestione. Infatti l'aumento della fluidità della circolazione stradale porta, con la riduzione del numero di accelerazioni/decelerazioni e degli stop-and-go dei veicoli, e con il mantenimento più prolungato di motori su regimi di funzionamento più favorevoli, a benefici ambientali e a riduzioni del consumo di carburante.

In particolare, si ha una riduzione della produzione di incombusti, anche se si potrebbe pensare che un incremento di velocità possa portare ad un aumento delle emissioni di NO_x . Infatti è dimostrato che i regimi ottimali per la riduzione globale delle emissioni inquinanti corrispondono a velocità comprese fra 40 km/h e 60 km/h. In realtà, però, se, come nel caso dell'uso di sistemi di controllo semaforico più efficienti, l'aumento delle velocità medie è ottenuto:

- i) diminuendo i tempi di coda,
- ii) diminuendo accelerazioni/decelerazioni,
- iii) senza aumentare le velocità di crociera o le velocità di punta,

tale incremento non provoca affatto un aumento delle emissioni di NO_x o dei consumi, ma al contrario una diminuzione, dell'ordine di 6÷7%, nonché una diminuzione dei tempi di viaggio del 14÷15%, come risulta da esperimenti condotti a Leeds e Goteborg.

Nel complesso i test condotti dopo l'applicazione di queste tecnologie hanno dato risultati positivi. Uno studio di valutazione effettuato negli USA sull'applicazione di tecnologie telematiche nel controllo della circolazione urbana realizzato a Los Angeles ha portato ai seguenti risultati:

- riduzione del 20% del perditempo alle intersezioni;
- riduzione del 13% dei tempi di viaggio complessivi;
- riduzione del 13% del consumo di combustibile;
- riduzione del 10% delle emissioni di HC;
- riduzione del 10% delle emissioni di CO.

In Italia una delle applicazioni più rilevanti nel campo telematica e ambiente è costituita dal progetto 5T¹, messo in atto a Torino, per il quale la riduzione delle emissioni inquinanti costituisce uno degli obiettivi principali. La strada percorsa dal progetto 5T per raggiungere questo obiettivo passa attraverso tre punti principali:

- favorire il passaggio di utenza verso il trasporto pubblico;
- migliorare il controllo semaforico, allo scopo di fluidificare la circolazione;
- includere l'elemento ambientale in maniera esplicita nella strategia di definizione degli itinerari.

Gli impatti dell'applicazione del sistema sono stati positivi [29]. Sulla base delle verifiche effettuate è stata calcolata una diminuzione dei tempi di viaggio del 15% circa con il solo coordinamento dei semafori e del 21% con semafori, routing e trip planning; in corrispondenza, si è stimata una riduzione delle emissioni inquinanti che può arrivare globalmente al 10% e localmente al 21% (di cui un 12% è ottenuto grazie all'instradamento su itinerari alternativi, un 6% al coordinamento semaforico e un 3% al cambio modale verso il trasporto pubblico) nonché una riduzione dei consumi dell'ordine del 10%.

La differenza fra i dati di Torino e quelli più ottimistici di Los Angeles per quanto riguarda le emissioni ed i consumi, è probabilmente dovuta alla diversità del parco circolante; infatti, le automobili americane di maggiori dimensioni sono sicuramente più penalizzate da congestioni ed accelerazioni. Comunque, come indicazione generale dei benefici ottenibili, si può ragionevolmente considerare un valore medio fra le stime relative ai due casi citati, anche se i risultati sono fortemente dipendenti dallo specifico contesto applicativo.

Per quanto concerne l'impatto ambientale, rivestono un'estrema importanza anche le ricerche nel campo dei sistemi di controllo e di ausilio alla marcia dei veicoli. Le attività più rilevanti riguardano i sistemi installati a bordo del veicolo e le interfacce veicolo-infrastruttura, come, per esempio, i sistemi che consentono di regolare i parametri del

¹ Si tratta di un progetto inserito nel quadro più ampio di una ricerca a sua volta facente parte del IV Programma Quadro UE, denominata QUARTET PLUS, nella quale vengono effettuate valutazioni lungo termine sugli impatti di sistemi IRTE (Integrated Road Transport Environment) applicati a sei località in Europa: Atene, Torino, Stoccarda, Goteborg, Tolosa e Matisse (Regno Unito)

motore in modo dinamico in funzione del livello di inquinamento esterno rilevato, nonché i sistemi di guida cooperativa. Questi ultimi, il cui sviluppo più avanzato è costituito dalla guida automatica, di cui sono già state realizzate alcune applicazioni a livello prototipale, consentono di aumentare la sicurezza e l'efficienza del traffico mediante il miglioramento dello scambio di informazioni relative alla velocità, posizione, accelerazione, alle condizioni del manto stradale, nonché di messaggi di emergenza per il verificarsi di eventuali condizioni di pericolo (incidenti, nebbia, etc.), tra veicoli cooperanti in plotoni o tra veicoli e l'infrastruttura opportunamente attrezzata. Pertanto, l'ottimizzazione della marcia dei plotoni veicolari diminuisce le irregolarità di marcia permettendo quindi una diminuzione delle emissioni inquinanti.

Infine, anche nel settore del trasporto merci vanno citate le attività di ricerca sull'ottimizzazione della gestione della flotta, essenzialmente per quanto riguarda la programmazione degli itinerari e la riduzione dei viaggi a vuoto, che oltre a portare ad un miglioramento dell'efficienza del trasporto, comportano anche una riduzione dell'impatto ambientale mediante un'ottimizzazione dei consumi energetici.

Da quanto esposto appare chiaro (e le analisi sperimentali effettuate lo confermano) che, a parità di domanda, la telematica può portare un contributo molto importante alla riduzione globale delle emissioni e degli effetti nocivi. Questo contributo è importante in quanto può essere ottenuto con investimenti relativamente bassi, senza interventi infrastrutturali ed in tempi molto ragionevoli: in ultima analisi, con investimenti che si ripagano in tempi molto brevi.

Occorre però tenere conto della natura degli interventi telematici; infatti, questi sono tutti interventi di razionalizzazione della domanda e dell'offerta di trasporto. Anche gli effetti sono chiari: a parità di domanda, comportano una riduzione dimostrata dei tempi di viaggio. Di conseguenza, possono innescare un'ulteriore domanda di mobilità, alla pari degli interventi infrastrutturali; inoltre, possono attrarre maggior domanda sui mezzi di trasporto individuali. A suffragare questa affermazione, basti la constatazione ovvia che una riduzione del "costo" del trasporto influisce, nel medio-lungo termine, sulla scelta residenziale, sul numero e la lunghezza dei viaggi, sulla scelta modale.

In conclusione, se da un lato sono chiare le potenzialità della telematica, d'altro lato occorre ribadire che le applicazioni della telematica devono essere correttamente pianificate, in un contesto di scelte chiare e consistenti, che preveda contestualmente misure capaci di contrastare l'aumento incontrollato della domanda e che indirizzi gli investimenti verso i modi più efficienti. La telematica stessa fornisce alcuni strumenti che rendono possibili queste politiche, quali i *controlli di accesso*, il *road pricing* e simili.

4. LE ATTIVITA' DI RICERCA

La presentazione di un quadro esauriente delle ricerche per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti imputabili alle attività di trasporto richiederebbe un'approfondita indagine presso i numerosi organi di ricerca sia pubblici che privati (Università, Industrie dei veicoli e petrolifere, ecc.) che operano nel settore.

Per brevità, nel seguito sono perciò sinteticamente descritte soltanto le ricerche svolte dall'ENEA e dal Progetto Finalizzato Trasporti 2 del CNR, che sono le strutture pubbliche maggiormente coinvolte in questo impegnativo compito.

4.1 Le principali attività dell'ENEA

Il Dipartimento Energia, Divisione Sistemi Energetici per la Mobilità e l'Habitat dell'ENEA opera sulla tematica Mobilità e Trasporti attingendo a tre fonti di finanziamenti: Accordo di Programma ENEA-MICA (Ministero Industria, Commercio ed Artigianato), Progetti finanziati dalla Commissione Europea, Commesse di varia origine (PFT2, Comuni, privati).

La scelta della attività da svolgere è condizionata dalle considerazioni strategiche svolte nei capitoli precedenti. Le competenze della Divisione coprono l'intero arco, dalle misure dei flussi su strada, a quelle sui mezzi fino alla modellistica ed alla progettazione.

I finanziamenti acquisiti tramite programmi della Commissione Europea hanno il duplice scopo di complementare quelli nazionali e di mantenere vivi i contatti con i più avanzati gruppi europei operanti su attività affini. In questo modo sviluppi e conoscenze elaborati in campo europeo ricadono mediante progetti dimostrativi sulle nostre città e diventano patrimonio di conoscenze che, anche tramite l'ENEA, vengono diffusi verso ricercatori e progettisti.

Le principali attività esposte di seguito sono quindi selezionate e sviluppate sulla base dei filoni strategici già individuati.

a) Pianificazione della mobilità urbana

- Sviluppo del sistema MOBILITY (finanziato dall'Accordo di Programma ENEA-MICA) per la pianificazione e la gestione della mobilità urbana. Le funzioni sono: analisi della mobilità (domanda e offerta), Piani Urbani del Traffico e dei Trasporti, simulazione e valutazione di scenari competitivi, calcolo dei consumi e delle emissioni per singoli veicoli, classi, archi, zone urbane; valutazione della diffusione dell'inquinamento gassoso e acustico. Il sistema è basato su basi di dati GIS (Geographic Information System) e su un sistema di codici di analisi e simulazione.

- Progetto comunitario JOULE-ESTEEM per la pianificazione strategica del traffico in grandi città, analizzando l'uso del territorio e gli interventi strutturali (caso studio: Roma).
- Metodologia SAVE-SLAM per la pianificazione della mobilità a Firenze (esportabile in altre realtà).
- Metodologia SAVE-inPUT, per i Piani Urbani del Traffico in Comuni dell'Umbria.
- Studio del PUT del Comune di Casalecchio di Reno.
- Sviluppo del codice TEE per valutare consumi ed emissioni di Sistemi di Trasporto in contesti di traffico diversi e per regimi di velocità variabili (collaborazione con l'istituto francese INRETS: Institut pour la Recherche dans les Systèmes de Transport).
- Progetto comunitario SAVE-HESAID sulla applicazione di modelli di emissione in realtà urbane.

b) Gestione del traffico

- Sviluppo di sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS) e di Sistemi di Supervisione (SS) per la gestione integrata del traffico, nell'ambito dei progetti comunitari THERMIE-REGIT (a Terni) e THERMIE-JUPITER (a Firenze).
- Applicazioni telematiche per la gestione della Mobilità e del Traffico: progetto comunitario CAPITALS applicato a Madrid, Bruxelles, Parigi, Berlino, Roma; nella nostra capitale si sperimenta la gestione di zone a traffico limitato (ZTL) e Smart-card per il pagamento di sosta+bigliettazione+servizi.
- Monitoraggi vari, come i flussi di traffico nella città di Roma.

c) Sperimentazione dimostrativa di flotte pubbliche

- Progetto “Flotte innovative” dell'Accordo di Programma ENEA-MICA: sperimentazione dimostrativa di tre flotte di autobus ibridi per il trasporto pubblico urbano nelle città di Ferrara (8 mezzi), Roma (12 mezzi) e Terni (8 mezzi) - la sperimentazione ha lo scopo di valutare tutti gli impatti, sull'azienda e sulle città.
- Progetto THERMIE-FLEETS: complementa il progetto “Flotte innovative” a Terni.
- Progetto comunitario SAVE-MEDIT: analizza lo stile di guida degli autisti di mezzi pubblici per migliorare l'efficienza energetica (Bologna, Barcellona, Mendoza).
- Progetto comunitario SAVE-Optimization sulla gestione ottimale di flotte pubbliche.
- Progetto comunitario THERMIE-JUPITER II sulla sperimentazione di flotte pubbliche alimentate a metano nella città di Firenze e sulla gestione integrata del traffico.

- Monitoraggio in linea di flotte a Roma (minibus elettrici), Bologna (progetto THERMIE-CENTAUR, ibrido innovativo), Venezia (prog. THERMIE-ENTIRE su mini-flotte collettive).

d) Trasporto merci

- Partecipazione al Programma COST 321 sul trasporto merci in ambito comunitario.
- Partecipazione al Progetto Comunitario COMMUTE (DGVII) sugli impatti delle reti e delle tecnologie multimodali di trasporto merci e passeggeri su base europea.
- Partecipazione al progetto FERRO sulle applicazioni della intermodalità al trasporto merci su ferrovia, finanziato con fondi strutturali.

E' da segnalare un'attività speciale per lo sviluppo di un sistema di climatizzazione per vetture basato sull'effetto Peltier, avente la finalità di eliminare i fluidi climalteranti dagli impianti veicolari, senza penalizzare l'efficienza energetica.

e) Tecnologie veicolari

La Divisione Tecnologie Energetiche Avanzate del Dipartimento Energia sta effettuando diverse attività rivolte alla ricerca ed allo sviluppo di sistemi di trasporto stradale innovativi. Le attività vengono prevalentemente svolte nell'ambito dell'Accordo di Programma ENEA-MICA e dei programmi dell'Unione Europea.

L'insieme delle attività riguarda la ricerca, lo sviluppo e la prova in varie condizioni operative di componenti, sottosistemi ed interi veicoli. Il programma viene suddiviso in progetti di sviluppo componenti ed attività di prova.

- *Progetto Celle a combustibile ad elettrolita polimerico (PEMFC)*
Questo progetto vede la partecipazione dell'ENEA, della De Nora (industria privata), del CNR-TAE (istituto di ricerca del CNR) ed alcune università e mira allo sviluppo industriale di PEMFC a basso costo ed ad alta densità di potenza. Finora sono state prodotte celle e insiemi di celle che, da una potenza specifica iniziale di 0,1 kW/kg sono passate nel 1998 a circa 0,25 kW/kg. Sono stati realizzati stack (batterie di celle) da 10 kW. Sono state anche realizzate presso l'ENEA alcune linee di prova di celle e stack.
- *Progetto ALPE (Accumulatori al Litio Per Elettrolizzazione)*
L'ENEA con l'Arcotronics Italia e le Università di Bologna e Roma sta realizzando prototipi preindustriali di celle al litio ad elettrolita polimerico per applicazioni alla trazione stradale. L'attività, ancora in corso, porterà alla realizzazione di alcuni moduli da laboratorio di 1-2 kWh composti da circa 500 bicelle (una particolare configurazione

sandwich sviluppata dall'ENEA), realizzate con un impianto in scala pilota del tipo semiautomatico. Le caratteristiche previste di tali moduli sono di oltre 80 Wh/kg e una vita ciclica di oltre 300 cicli. L'attività non solo prevede lo sviluppo di una piccola linea pilota ma anche la realizzazione presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia di una camera secca dove saranno semplificate le operazioni di manipolazione ed assemblaggio dei singoli componenti e delle celle.

- *Progetto Auto Elettrica da Città*
Ansaldo Ricerche, Centro Ricerche FIAT ed ENEA stanno completando la realizzazione ed il collaudo, su un veicolo prototipo di piccola e media taglia, di un drivetrain con potenza media di 15 kW (potenza di picco 30 kW). L'azionamento prevede caratteristiche definite a livello europeo e soluzioni innovative in termini di motore elettrico (motore asincrono in c.a.) e di inverter (convertitore DC/AC a IGBT). L'azionamento, realizzato dall'Ansaldo in varie versioni, è stato provato al banco e su strada su due diversi prototipi di veicoli: un Fiorino ed una FIAT 500 Elettra, superando le prove di funzionalità. Le prove al banco della batteria, dell'azionamento e dei veicoli sono state effettuate dall'Ansaldo e dall'ENEA, mentre il Centro Ricerche FIAT ha particolarmente curato l'integrazione nel veicolo e le prove di funzionalità su strada.
- *Progetto Veicoli Ibridi*
E' in corso un progetto di studio teorico e sperimentale su diverse soluzioni di veicoli elettrici ad alimentazione ibrida che utilizzano anche turbine a gas per la generazione a bordo di energia. Tale Progetto vede coinvolta l'Università di Pisa e mira a sviluppare soluzioni costruttive, progettuali e di controllo ottimizzate per le diverse configurazioni serie e/o parallele.
- *Caratteristiche e prova di componenti e veicoli*
L'ENEA ha realizzato una serie di attrezzature di prova per batterie, supercondensatori, interi azionamenti e veicoli. Sono attualmente in corso diversi progetti che utilizzano la stazione di prova batterie, la stazione di prova supercondensatori, la moderna stazione di prova azionamenti ed il banco a rulli. Alcune attività riguardano la caratterizzazione al banco e su strada di batterie (al piombo ed alcaline). Strumentazione per l'acquisizione e la trasmissione dei dati sulla flotta sperimentale di veicoli elettrici dell'ENEA è stata specificatamente sviluppata: tale strumentazione consente la gestione remota della sperimentazione.
- *Progetto Comunitario JOULE-EUCAR Fase III*
L'ENEA esegue, per conto del Comitato EUCAR (che raggruppa i principali costruttori europei di auto), prove su batterie per veicoli elettrici ed ibridi.

- *Progetto Comunitario JOULE-SCOPE*
L'ENEA collabora, per la parte di prove al banco, alla realizzazione di nuovi supercondensatori a base di polimeri conduttori ad alta energia e potenza specifica. Tale progetto vede la collaborazione con industrie ed enti di ricerca francesi ed italiani.
- *Progetto Comunitario JOULE-MARADOR*
Un gruppo di istituti di ricerca europei, comprendenti ENEA, TNO, ECN, Università di Biel, IKA, stanno sviluppando procedure di prova per veicoli convenzionali ed alternativi per confrontarne i consumi e le emissioni.
- *Sviluppo componenti ausiliari*
Sono sviluppati con diverse collaborazioni sistemi di supervisione a bordo dei veicoli e sistemi di ricarica delle batterie.

4.2 Le ricerche sviluppate dal PFT2 del CNR

Prima di passare alla descrizione sintetica di quella parte dei prodotti delle ricerche del Progetto Finalizzato Trasporti (PFT2) che possono contribuire alla riduzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti imputabili alle attività di trasporto, appare opportuno fornire alcuni cenni storici sulle iniziative pubbliche dirette allo sviluppo della ricerca nel settore trasporti.

Il contributo pubblico alla ricerca sui trasporti si è prevalentemente concretizzato, fino agli inizi degli anni 80, con l'erogazione di fondi alle industrie manifatturiere, destinati al finanziamento della ricerca applicata nel campo della produzione di veicoli e materiali per il trasporto.

All'inizio degli anni 80 veniva impresso un decisivo impulso alla ricerca nel settore attraverso l'avvio del primo Progetto Finalizzato Trasporti (PFT) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).

Il primo Progetto Finalizzato Trasporti prevedeva tematiche afferenti sia alla pianificazione degli interventi sia alla innovazione tecnologica, soprattutto nel campo dei veicoli; il programma è stato sviluppato dal 1982 al 1987, con un finanziamento a carico del CNR di 185,4 miliardi di lire correnti. Tale importo era integrato da una quota a carico delle industrie di 11,4 miliardi (pari al 6% del totale) per cui il costo globale delle ricerche è stato di circa 197 miliardi.

C'è da aggiungere che, rispetto all'importo del finanziamento a carico del CNR previsto

dalla delibera CIPE (199,6 miliardi), le somme effettivamente erogate presentavano una limitata riduzione (-14,2 miliardi), pari al 7,1%.

I notevoli risultati ottenuti con il primo Progetto Finalizzato Trasporti nel campo delle metodologie e delle applicazioni tecnologiche hanno dato luogo alla decisione politica di proseguire le attività del PFT con un secondo Progetto Finalizzato Trasporti (PFT2)

Lo studio di fattibilità del PFT2, redatto da un'apposita Commissione nel 1989, venne approvato dal CIPE nel luglio 1990, con una previsione di finanziamenti a carico del CNR ammontanti complessivamente a circa 292 miliardi.

L'onere sostenuto dal CNR è risultato però inferiore (165 miliardi) a causa di tagli complessivi, pari al 43,5% dell'importo previsto, i quali hanno comportato, oltre alla eliminazione di intere tematiche, continue modifiche ed aggiustamenti al programma di ricerca, al fine di non compromettere il conseguimento degli obiettivi prioritari.

L'autofinanziamento industriale (circa 92 miliardi) rappresenta il 55,7% della somma a carico del CNR ed il 35,8% del costo globale delle ricerche del PFT2 (circa 257 miliardi).

In tema di finanziamenti, il PFT2 si differenzia sostanzialmente dal primo Progetto finalizzato sia per gli scostamenti tra somme previste e somme erogate dal CNR sia per la maggiore partecipazione delle Unità Operative di tipo industriale alle spese globalmente sostenute per la ricerca.

Le attività del PFT2 hanno avuto inizio alla fine del 1991 con alcune tematiche prioritarie considerate quali anticipazioni del 1° anno (1992) del Programma esecutivo triennale 1992-1994: la conclusione delle ricerche del Progetto è prevista per la fine del 1998 a causa di uno slittamento dei finanziamenti annuali verificatosi nel 1996.

La struttura del PFT2 è stata definita in base all'esperienza acquisita con il primo Progetto finalizzato modificando l'impostazione secondo alcuni orientamenti di carattere generale:

- piena apertura ad un processo di internazionalizzazione della ricerca sui trasporti;
- articolazione del Progetto in tematiche che privilegiano le innovazioni a livello di sistema rispetto a quelle che interessano i singoli comparti modali;
- forte compartecipazione finanziaria delle industrie;
- maggiore impegno nel PFT2 per l'attività di formazione di giovani laureati.

Il Progetto è stato suddiviso in cinque aree di ricerca, alle quali si aggiungono le attività internazionali, sviluppate nell'ambito di sei Sottoprogetti (SP):

1. Governo della mobilità e strumenti per la pianificazione
2. Veicoli
3. Sistemi tecnologici di supporto e infrastrutture
4. Trasporto urbano e metropolitano
5. Trasporto merci

6. Programmi internazionali

Anche se le attività di ricerca del PFT2 non sono del tutto concluse e nonostante le difficoltà incontrate nel finanziamento dei programmi esecutivi annuali, cui si è fatto cenno, si può affermare che molti degli obiettivi prioritari del PFT2 sono già stati raggiunti. Dalla notevole mole di prodotti delle ricerche del PFT2 sono stati selezionati e successivamente elencati solo quelli che sono in linea con l'obiettivo di fornire un contributo alla riduzione dei consumi energetici e delle emissioni inquinanti connessi alle attività di trasporto.

Nella elencazione si è seguito il criterio di classificare i prodotti in base alle aree di destinazione degli interventi diretti a conseguire il citato obiettivo:

- regolazione e normativa
- pianificazione e gestione delle reti e dei servizi
- veicoli, propulsori e componenti

4.2.1 Indicazioni per le attività di regolazione e normativa

Manuale per la pianificazione dei trasporti in Italia

E' sempre più sentita l'esigenza di regole chiare cui far riferimento nel momento in cui occorre intervenire sull'assetto delle infrastrutture e dei servizi di trasporto, al fine di realizzare la costruzione di un piano dei trasporti armonico in tutti i suoi aspetti e per ogni livello di intervento. A tal fine è stato realizzato un manuale che vuole proporsi come testo organico per la redazione dei documenti di piano, raccolta di istruzioni operative per l'applicazione delle moderne tecniche di pianificazione del traffico e dei trasporti, "capitolato" di riferimento per l'affidamento e lo svolgimento di incarichi di redazione dei piani di settore.

Manuale per gli Studi di Impatto Ambientale delle infrastrutture di trasporto

Il settore dei trasporti, che pure svolge un ruolo chiave nella realtà sociale e produttiva del nostro paese, ha comunque un impatto energetico e ambientale notevole. Per affrontare tali problemi è stato redatto questo manuale, che costituisce le linee guida per la redazione degli studi di impatto ambientale dei progetti di trasporto e si articola in varie fasi che seguono parallelamente lo sviluppo del processo di definizione di un'opera: pianificazione, progettazione esecutiva ed esercizio.

Governo della mobilità e pianificazione urbanistica: indicazioni, raccomandazioni, proposte

La "mobilità sostenibile" si basa sulla reale integrazione tra urbanistica e trasporti che possa garantire al tempo stesso un efficace governo della mobilità e del territorio. Un

modello di questo tipo è sempre più uno strumento di politica territoriale irrinunciabile. Il testo proposto, redatto in forma di manuale, presenta un insieme di raccomandazioni, regole e strumenti validi ed efficaci, destinati a tecnici, amministratori, organizzazioni e gruppi di cittadini, che consentono a ciascun soggetto, all'interno dei ruoli istituzionali di competenza, di mettere a punto, governare e controllare azioni efficaci per la riduzione della congestione urbana ed il conseguimento di una "mobilità sostenibile".

4.2.2 Strumenti per la pianificazione e gestione delle reti e dei servizi di trasporto

Nel programma di ricerca del PFT2 si è dato ampio spazio alle ricerche dirette a migliorare i processi di pianificazione e gestione delle reti e dei servizi di trasporto.

Sebbene a questo tipo di ricerche sia stato dedicato l'intero SP 1, anche negli altri sottoprogetti, focalizzati sulle aree di ricerca desumibili dal rispettivo titolo, sono state incluse tematiche concernenti la pianificazione e gestione di specifici sottosistemi di trasporto. Particolare importanza rivestono le ricerche del SP 4 poiché interessano i trasporti in ambito urbano e metropolitano, dove maggiori sono i problemi derivanti dalla mobilità. I prodotti della ricerca, nel seguito elencati, possono essere classificati in tre categorie, definite in base ai campi di utilizzazione prefigurati:

- Sistemi di supporto alle decisioni (DSS) per la pianificazione dei sistemi di trasporto
- Sistemi di simulazione degli impatti energetici e ambientali
- Sistemi per la gestione ottimale dei sistemi di trasporto

La successiva descrizione dei prodotti della ricerca seguirà pertanto l'ordine suddetto.

Sistemi di supporto alle decisioni (DSS) per la pianificazione dei sistemi di trasporto

Sistema di supporto alle decisioni (DSS) per la pianificazione strategica e settoriale

Il settore dei trasporti ha un ruolo chiave nella realtà sociale e produttiva di ogni Paese, una rete di trasporto ben organizzata e coerentemente pianificata è l'elemento cardine per il funzionamento dell'intero sistema. Il software realizzato è un Sistema di Supporto alle Decisioni che, partendo da definite ipotesi di sviluppo socio-economico, demografico e territoriale, permette, nell'ambito della pianificazione generale, di analizzare la situazione esistente, individuare le criticità e simulare gli effetti sugli utenti, sui gestori e sulla collettività delle alternative di intervento ipotizzate.

MITER - Modello Integrato Trasporti ed Economia Regionale

Esiste un legame stretto e inscindibile tra sistema economico-produttivo e sistema dei trasporti a tal punto che un qualsiasi intervento nel primo determina ripercussioni nel secondo e viceversa. Per poter prevedere e simulare le reciproche relazioni è stato

realizzato il modello matematico MITER ed il relativo software; MITER fornisce le configurazioni di equilibrio dei sistemi produttivi e di trasporto, tenendo conto delle variazioni di accessibilità derivanti dagli interventi sul sistema dei trasporti.

Software per l'analisi dell'impatto dell'innovazione tecnologica sulle interrelazioni localizzazione-trasporti: Modello Telemaco

La crescente mobilità delle persone è essenzialmente dovuta ad un assetto del territorio, poco efficiente e mal distribuito. Le innovazioni tecnologiche nel settore delle comunicazioni e della telematica possono contribuire a migliorare la mobilità, ma è necessario saper valutare l'impatto della loro diffusione sulle interrelazioni localizzazioni-trasporti. La ricerca ha sviluppato il modello Telemaco, in grado di simulare le reazioni del sistema urbano, in termini di mutamenti della struttura localizzativa delle attività e delle interazioni casa-lavoro e tra le imprese, che si producono sulle reti di trasporto e sulle reti telematiche.

Un sistema di supporto alle decisioni per la pianificazione del traffico

Il Codice della Strada impone ai Comuni di affrontare la razionalizzazione del traffico urbano attraverso la predisposizione dei Piani Urbani del Traffico. Per progettare gli interventi e simulare l'effetto di modelli matematici sofisticati sono necessari strumenti informatizzati di facile utilizzabilità da parte di tecnici delle Amministrazioni. La ricerca ha prodotto un sistema di supporto alle decisioni per la pianificazione del traffico per aree urbane ed extraurbane denominato MT-Model, costituito da diversi moduli di simulazione dei comportamenti degli utenti sia del trasporto privato che pubblico, di valutazione degli impatti ambientali ed energetici, delle prestazioni del sistema di trasporto.

Sistema di supporto alle decisioni per l'organizzazione dell'offerta di trasporto nei Piani di Bacino

Lo stato di crisi del trasporto pubblico locale e la recente legge di riforma del settore impongono ai decisori pubblici ed alle aziende una migliore programmazione dei servizi allo scopo di ottimizzare l'offerta di trasporto riducendo gli sprechi e le sovrapposizioni. In tale ambito i sistemi di supporto alle decisioni si inseriscono come strumenti che, agevolando le fasi della pianificazione, consentono ai decisori di effettuare con rapidità valutazioni qualitative e quantitative sugli effetti di interventi sulla struttura del sistema dei trasporti. A tale proposito è stato implementato un modello di assegnazione della domanda alle reti di trasporto collettivo extraurbano da utilizzare per la riorganizzazione dell'offerta e per la redazione dei piani di bacino, tenendo conto degli orari dei servizi e minimizzando le disutilità degli utenti rispetto agli orari desiderati.

DSS per la pianificazione e controllo di un sistema di trasporto pubblico locale

In un regime di risorse limitate, la necessità di definire delle politiche di trasporto e di

gestione dei servizi per il trasporto pubblico locale, tenendo conto dei vincoli di bilancio e del livello di domanda di mobilità che intende soddisfare, è un'attività che non può essere condotta senza un opportuno strumento di ausilio alle decisioni. Il DSS realizzato permette alla Pubblica Amministrazione di svolgere il ruolo di programmazione dei servizi che le è proprio e fornisce inoltre alle Aziende o alle Authority sui Trasporti la possibilità di meglio definire la rete dei servizi ed i livelli d'offerta.

Sistema di gestione ed integrazione di flussi informativi provenienti da fonti eterogenee di supporto ad attività decisionali sul traffico urbano

I sistemi di gestione del traffico richiedono una corretta integrazione dei flussi informativi provenienti da fonti diverse. A tale proposito è stato sviluppato un sistema di gestione e di integrazione delle informazioni che ha l'obiettivo di rendere disponibile un ambiente di comunicazione flessibile ed affidabile di supporto alla distribuzione, utilizzazione ed integrazione di informazioni "certificate" provenienti da fonti informative, eterogenee e distribuite su tutto il territorio urbano che costituisca lo strato dei servizi di base per lo sviluppo di attività di analisi, pianificazione e valutazione per la gestione del traffico urbano.

La mobilità urbana: progetto di monitoraggio per la mobilità delle grandi e medie città

Le dinamiche territoriali ed economiche trasformano continuamente la dislocazione dei servizi, le attività delle imprese e le abitudini dei consumatori; ne deriva un continuo cambiamento nelle esigenze di mobilità e la necessità di monitorare e rilevare le trasformazioni della domanda di mobilità in termini di quantità e qualità degli spostamenti. In questo studio è stata svolta una ricognizione e valutazione degli strumenti e metodi di rilevazione della domanda di mobilità, e la sperimentazione di metodologie standardizzate per la rilevazione della domanda di mobilità in ambito urbano.

Sistema informativo ambientale per la valutazione del trasporto urbano

Nell'ambito delle attività di ricerca volte a definire e realizzare strumenti informatici in grado di supportare la gestione degli aggregati urbani e, in particolare, i processi decisionali relativi all'attivazione di interventi di trasformazione del territorio, è stata realizzata una Base Dati su Internet finalizzata a supportare l'assunzione di decisioni in materia di interventi strutturali, modali e localizzativi, nel settore dei trasporti urbani, con particolare riferimento a tutte le normative esistenti a livello comunitario, nazionale e locale.

Sistemi di simulazione degli impatti energetici e ambientali

Sistema software per la valutazione integrata degli impatti prodotti dal traffico urbano

Il problema della congestione del traffico urbano rappresenta uno degli aspetti più critici

della qualità della vita nelle città. Il miglioramento del trasporto pubblico può costituire una soluzione valida, soprattutto con l'introduzione di nuovi servizi di collegamento rapido tra periferia e centro. Per poter valutare le strategie ed i progetti di intervento servono dei sistemi di supporto alle decisioni idonei a valutare in modo integrato gli impatti prodotti dal traffico veicolare e la ripartizione degli spostamenti tra trasporto pubblico e privato. Un tale sistema è stato realizzato e sperimentato a Firenze, integrando in un unico ambiente software diversi modelli di stima dell'efficienza energetica e dell'inquinamento risultante in differenti aree e corridoi urbani.

Prototipo software per la valutazione dell'impatto ambientale in ambiente urbano

La valutazione dell'impatto ambientale rappresenta una fase essenziale nei processi decisionali relativi alla progettazione di sistemi di trasporto, di infrastrutture e di nuovi servizi. Soprattutto in ambito urbano è necessario disporre di validi strumenti di valutazione non solo dell'inquinamento atmosferico ma anche del rumore e dei parametri di intrusione visiva delle opere di trasporto. La ricerca ha messo a punto un sistema informativo geografico che integra diversi modelli di simulazione, la cui sperimentazione e validazione è in corso presso il comune di Lucca.

Sistema informativo geografico integrato per la valutazione dell'inquinamento atmosferico

Il controllo della qualità dell'aria nelle aree urbane rappresenta un problema rilevante per la salute pubblica. Le amministrazioni locali devono rilevare le soglie di attenzione e di allarme al fine di limitare gli scarichi inquinanti degli autoveicoli. A tale scopo è necessario disporre di un sistema informativo in grado di valutare gli impatti ambientali prodotti dal traffico. La ricerca ha realizzato un sistema informativo geografico integrato con dei modelli di assegnazione dei flussi sulla rete di emissione degli inquinanti e della loro dispersione nell'atmosfera, la cui sperimentazione è in corso di validazione nella città di Firenze.

Sistemi per la gestione ottimale dei sistemi di trasporto

Prototipo di sistema informativo geografico finalizzato all'analisi e valutazione delle interazioni tra sistema dei trasporti e territorio urbano

La stretta correlazione che esiste tra sistema dei trasporti e territorio impone che si abbiano sempre a disposizione le più aggiornate informazioni relative all'area servita. Questo prototipo software costituisce un sistema informativo geografico integrato per l'elaborazione di informazioni rilevanti nell'attività di pianificazione e di gestione del sistema di trasporto pubblico urbano. Esso consente alle aziende di effettuare analisi e tematizzazioni geografiche del territorio servito, mantenere aggiornati i dati elementari relativi alla mobilità, realizzare la zonizzazione di riferimento per la pianificazione e la

manutenzione della base dati della rete del trasporto pubblico.

Manuale operativo per l'acquisizione, la realizzazione e il collaudo dei sistemi di controllo delle flotte pubbliche

La qualità del servizio di trasporto pubblico urbano è diventata oggi un'esigenza reale da parte degli utenti. I sistemi telematici di monitoraggio permettono di localizzare e controllare le flotte di autobus e di diffondere le informazioni richieste dai passeggeri. Questi però sono sistemi complessi e costosi. La ricerca ha sviluppato un manuale per aiutare le Aziende nelle fasi di acquisizione, realizzazione del progetto e collaudo. Il manuale è stato testato in alcune gare di appalto effettuate a Firenze e Livorno dimostrandosi molto utile nella valutazione tecnico-economica delle offerte.

Software integrato per la pianificazione e la gestione di reti di trasporto pubblico

La gestione efficiente del trasporto pubblico urbano può produrre economie significative e rendere il servizio più attraente per gli utenti. La ricerca ha prodotto un sistema informativo che integra diversi modelli software dedicati alla progettazione delle reti di trasporto pubblico e alla programmazione delle risorse per espletare il servizio. Il sistema consente di stimare la domanda di trasporto, prevedere i flussi di traffico sulle linee, definire l'orario di servizio e calcolare i turni vettura e del personale. La sua sperimentazione è in corso presso l'Azienda ACT di Trieste.

Sistema di ausilio alla gestione di servizi flessibili di trasporto pubblico a chiamata

Un moderno trasporto pubblico deve adattarsi alle caratteristiche della domanda e quindi offrire oltre ai servizi prefissati e regolati con una certa frequenza, anche servizi flessibili, a chiamata da parte degli utenti, che operano con una flotta variabile di autobus, utilizzando fermate e percorsi non vincolati, con orari e viaggi completamente determinati dalla domanda di trasporto relativa ad un certo giorno o addirittura in tempo reale. A tale scopo è stato sviluppato un sistema informativo di ausilio alla gestione di servizi flessibili di trasporto pubblico, che è in fase di sperimentazione operativa presso l'Azienda ATAF di Firenze.

Sistema Informativo Multimediale

La gestione della mobilità urbana è sicuramente un aspetto rilevante per realizzare l'efficienza del sistema di trasporto. L'informazione agli utenti gioca un ruolo rilevante nel ridurre la congestione, evitare percorsi inutili e ottimizzare i tempi di spostamento. La ricerca ha prodotto un sistema multimediale di informazione dinamica all'utenza del trasporto pubblico e privato offrendo suggerimenti individuali e collettivi per l'esecuzione degli spostamenti, tenendo conto delle condizioni del traffico e dei problemi ambientali, in modo da sfruttare al meglio l'offerta di sosta e di servizio del trasporto pubblico. In

particolare, nella sperimentazione in corso a Torino, l'informazione è fornita attraverso diversi canali come il Videotel, Televideo, Internet e chioschi informativi interattivi mentre un sistema di instradamento collettivo del traffico tramite pannelli a messaggio variabile dà raccomandazioni attraverso testi e pittogrammi.

Strategia di instradamento collettivo del traffico tramite pannelli a messaggio variabile

I sistemi telematici di informazione all'utenza costituiscono uno strumento essenziale per la gestione del traffico urbano. Nell'ambito del Progetto 5T - Tecnologie Telematiche per il Trasporto ed il Traffico a Torino - è stato realizzato un sistema di informazione dinamica all'utenza del trasporto pubblico e privato, che offre suggerimenti individuali e collettivi per l'esecuzione degli spostamenti nell'ambito urbano. Il sistema di instradamento collettivo del traffico tramite pannelli a messaggio variabile è una componente significativa di tale sistema. I pannelli a messaggio variabile sono infrastrutture dislocate a bordo strada in grado di fornire all'automobilista informazioni e raccomandazioni attraverso messaggi di testo e pittogrammi al fine di prevenire e contenere i fenomeni di congestione dell'area urbana sotto controllo.

Sistema decentralizzato di controllo del traffico basato sulla programmazione logica

Il Controllo Semaforico del traffico esplica una funzione essenziale nel regolare i flussi agli incroci ma spesso risulta insufficiente specie in presenza di elevati livelli di congestione, con la formazione di code e lunghi tempi di attesa. La ricerca ha progettato e realizzato un sistema di controllo decentralizzato basato sulla programmazione logica in cui ogni intersezione viene controllata da un'unità indipendente che scambia con le unità limitrofe una quantità ridotta di informazioni e che opera in tempo reale in base ai dati forniti dai rivelatori del traffico. La simulazione del nuovo sistema di controllo ha dimostrato che le sue prestazioni sono significativamente migliori rispetto ai sistemi tradizionali di controllo semaforico.

Sistema informativo del servizio di trasporto pubblico

In molte città europee si stanno sperimentando numerose innovazioni tecnologiche per migliorare l'efficienza del sistema complessivo di trasporto. Si tratta di introdurre in modo massiccio ed integrato sistemi telematici per gestire il trasporto pubblico, controllare il traffico, diffondere le informazioni agli utenti. Anche in Italia è stato sviluppato il progetto 5T, che significa Tecnologie Telematiche per il Trasporto e il Traffico a Torino. La ricerca ha in particolare realizzato il sistema informativo del servizio di trasporto pubblico che integra il monitoraggio e controllo dei mezzi pubblici col sistema di controllo semaforico, fornendo la priorità selettiva agli autobus e tram in corrispondenza degli incroci.

Software applicativo per la programmazione dei trasporti di linea nelle aziende di

autotrasporto merci a collettame

La programmazione di un servizio di autotrasporto a collettame è un problema complesso per il quale la Ricerca Operativa prevede soluzioni euristiche, raramente disponibili nelle piccole-medie industrie, dirette a massimizzare il margine lordo giornaliero. Il software sviluppato permette una programmazione razionale e dettagliata delle attività: tipo di mezzo da utilizzare, itinerario che deve seguire, mix di merce che deve essere caricato su ogni mezzo e per ogni tratta del viaggio.

Sistema integrato per la gestione, la simulazione e l'analisi delle prestazioni di sistemi ferroviari metropolitani

Le ferrovie metropolitane sono spesso utilizzate molto intensamente e richiedono strumenti "intelligenti" in grado di assistere la progettazione e la gestione dell'esercizio in condizioni di traffico elevato. A questo scopo sono stati realizzati tre diversi strumenti fra loro integrabili. Il primo strumento è un simulatore orientato essenzialmente alla determinazione degli orari dei treni, il secondo strumento è un prodotto finalizzato alla progettazione e all'esercizio, il terzo strumento invece è un pacchetto che permette l'analisi delle prestazioni del sistema dal punto di vista elettrico ed energetico.

Modelli e sistemi per la simulazione e la regolazione del traffico autostradale

Per migliorare congestione e sicurezza su autostrade è necessaria la definizione e realizzazione di strumenti di simulazione e controllo. Il simulatore di traffico realizzato è in grado di eseguire previsioni a breve e medio termine sull'andamento delle situazioni di traffico in autostrada. Esso è stato implementato sulla base di modelli matematici multiclasse che sono stati sviluppati e validati sulla base di dati reali e sono innovativi per la capacità di considerare categorie diverse di veicoli tra loro interagenti e le perturbazioni del traffico conseguenti a situazioni particolari (condizioni meteo, incidenti etc.).

4.2.3 Veicoli, propulsori e componenti

Le ricerche relative a veicoli e propulsori, ad alto contenuto tecnologico, hanno prodotto numerosi prototipi sia di componenti che di veicoli. Anche in questo caso sono stati omessi i prodotti di quelle ricerche che non perseguivano l'abbattimento dei consumi energetici e dell'inquinamento.

Oltre alle ricerche che hanno dato luogo alla costruzione di prototipi - elencate nel seguito - si sottolinea l'estrema importanza delle ricerche "di base" nel campo delle tecnologie veicolari, svolte prevalentemente da Istituti del CNR e da Istituti universitari.

I prodotti della ricerca possono essere raggruppati in due distinte categorie:

- Propulsori e componenti
- Veicoli

Nella successiva descrizione viene pertanto seguito questo criterio di classificazione.

Propulsori e componenti

Motore ad iniezione diretta di benzina

Il motore ad iniezione diretta di benzina è caratterizzato, rispetto ad un motore multipoint tradizionale, da un incremento delle prestazioni, da una riduzione delle emissioni (attraverso l'eliminazione di fenomeni di condensazione della miscela nei condotti di aspirazione) e da una riduzione dei consumi, per mezzo della stratificazione della carica controllabile mediante fasatura dell'iniezione. Nel corso dell'attività di ricerca è stata sperimentata con buoni risultati l'iniezione diretta di benzina (abbinata a strategie di gestione evolute dell'iniezione) ed il ricircolo dei gas di scarico, che hanno permesso una sostanziale riduzione delle emissioni inquinanti.

Motore Diesel ad iniezione diretta con sistema di iniezione ad alta pressione

La necessità di ridurre drasticamente i consumi delle autovetture sta spingendo tutte le maggiori case automobilistiche a sviluppare dei motori Diesel ad iniezione diretta di nuova generazione. La ricerca ha portato ad ottimi risultati con la realizzazione di un motore Diesel ad iniezione diretta sovralimentato, con 4 valvole per cilindro e con un sistema di iniezione ad alta pressione Unijet a controllo elettronico, in grado di soddisfare le normative anti-emissioni previste per il prossimo futuro, abbinando elevate prestazioni specifiche con l'ottimo comfort. Altro importante risultato dell'attività è un notevole approfondimento analitico/sperimentale nel campo della riduzione della rumorosità strutturale. La versione con 2 valvole per cilindro del motore diesel ad iniezione diretta Unijet è recentemente entrata in produzione sulle vetture Alfa Romeo 156.

Sistema intelligente di controllo di crociera (AICC) per autoveicoli in ambiente urbano

I sistemi di Cruise Control vengono studiati per soddisfare allo stesso tempo le esigenze ambientali, consentendo un maggiore scorrimento del traffico, e le esigenze di comfort e sicurezza del guidatore, al quale viene fornita un'assistenza attiva in grado di evitare le collisioni e finalizzata all'ottimizzazione dei percorsi. Nel sistema sviluppato, installato sul veicolo dimostratore UDC (Urban Drive Control), l'acceleratore ed il freno sono controllati da una centralina elettronica che utilizza un profilo di velocità consigliato, calcolato da un centro di gestione del traffico urbano, ed i dati raccolti da appositi sensori che rilevano la presenza di eventuali ostacoli.

Veicoli

Autovettura dimostrativa con cambio robotizzato ERGO

Una gestione integrata del motore e del cambio nelle automobili può portare a notevoli miglioramenti dei consumi, delle emissioni, del comfort e della sicurezza di guida. Questa funzione è stata ottimizzata nella vettura dimostrativa ERGO, dotata di un cambio meccanico servocomando a controllo elettronico (che può essere gestito in modalità semiautomatica o totalmente automatica) e di una farfalla motorizzata per regolare la potenza del motore durante il cambio marcia. Con il cambio ERGO è stata stimata una riduzione media dei consumi in città del 5% rispetto ad un cambio manuale tradizionale, ed una riduzione compresa tra l'8% ed il 20% rispetto ai cambi automatici. Una versione modificata del cambio ERGO, denominata SELESPEED, è recentemente entrata in produzione e viene installata su vetture Ferrari ed Alfa Romeo.

Autovettura dimostrativa ERGOJET

Una notevole riduzione dei consumi negli autoveicoli può essere ottenuta ottimizzando il funzionamento dell'intero sistema di propulsione, costituito dal motore e dagli organi di trasmissione. A questo scopo è stato realizzato un veicolo dimostratore, denominato ERGOJET, che utilizza un motore diesel ad iniezione diretta UNIJET accoppiato al cambio robotizzato ERGO, al fine di sperimentare il sistema integrato e di ottimizzarne il funzionamento. Il potenziale di risparmio di combustibile di queste tecnologie è prossimo al 20% rispetto ad un veicolo di prestazioni equivalenti azionato da motore diesel ad iniezione indiretta e dotato di un cambio manuale tradizionale.

Autovettura ibrida VANZIC

In attesa di sviluppi significativi delle auto elettriche, penalizzate da una scarsa autonomia, si stanno affermando negli ultimi tempi le autovetture ibride, che utilizzano sullo stesso veicolo sia motori elettrici che termici, allo scopo di ottenere contemporaneamente emissioni inquinanti ridotte ed elevata autonomia di marcia. Il prototipo VANZIC è dotato di una propulsione ibrida di tipo "serie" che utilizza un piccolo gruppo motore-generatore che, alimentando durante la marcia le batterie ed il motore elettrico, consente un significativo aumento dell'autonomia operativa del veicolo.

Prototipo autovettura elettro-solare SOLARIA

I veicoli elettrici non producono emissioni inquinanti durante l'uso, ma risultano produttori indiretti di inquinamento attraverso la centrale elettrica che fornisce loro l'energia per la ricarica delle batterie, qualora essa utilizzi combustibili fossili. Per ridurre la dipendenza delle vetture elettriche dalle fonti energetiche non rinnovabili e quindi diminuire l'inquinamento globale prodotto, è stato costruito un prototipo di piccola autovettura biposto a trazione elettrosolare, denominata SOLARIA. Essa utilizza pannelli fotovoltaici (i principali a terra, i secondari a bordo) per la parziale ricarica delle batterie, ad integrazione di quella convenzionale con la rete elettrica. L'autonomia "solare" così

ottenuta, con riferimento alla città di Roma, è circa 1250 km/anno per ogni m² di superficie fotovoltaica impiegata.

Autovettura ibrida ETABETA

Per ridurre l'inquinamento e la congestione, in città sono richieste automobili compatte e poco inquinanti, mentre per l'uso fuori città si preferiscono autovetture più grandi e con migliori prestazioni. Con Etabeta vengono soddisfatte queste esigenze contrastanti in un'unica vettura. Per conciliare compattezza ed abitabilità, in Etabeta lo sbalzo posteriore si può accorciare nell'uso cittadino per facilitare il parcheggio, ed allungare negli spostamenti extraurbani. La vettura è dotata inoltre di un sistema di propulsione ibrido, con unità termica ed elettrica indipendenti, utilizzabili alternativamente a scelta del guidatore. Il motore termico, garantendo migliori prestazioni ed autonomia, viene utilizzato per le grandi percorrenze, mentre la marcia in città prevede l'uso della sola propulsione elettrica.

Autovettura sportiva a trazione ibrida

La riduzione dei consumi e dell'inquinamento è ormai un'esigenza irrinunciabile anche per le automobili sportive. Con questi obiettivi è stato realizzato un prototipo sperimentale di vettura sportiva dotata di un sistema di propulsione ibrido flessibile, che può funzionare in solo termico, assicurando in tal caso bassi consumi e buone prestazioni, in solo elettrico, per una marcia non inquinante, e con entrambi i propulsori su quattro ruote motrici.

5. LE PROSPETTIVE DI RICERCA

Sviluppi consistenti della attività di ricerca nel settore dei trasporti sono richiesti da una molteplicità di condizioni:

- il sistema ambiente-territorio-trasporti presenta un carattere fortemente connesso; le interazioni tra i tre sottosistemi, anche se generalmente note a livello qualitativo, non sono state ancora compiutamente esplorate nella loro complessità e definite sotto il profilo quantitativo;
- il sistema dei trasporti è intrinsecamente dinamico, in primo luogo per le sue connessioni agli andamenti economici ed agli sviluppi tecnologici; è pertanto richiesto un continuo adeguamento degli strumenti conoscitivi e delle pratiche di intervento;
- nel sistema dei trasporti è fondamentale l'elemento umano; motivazioni e comportamenti nelle scelte di viaggio (per le persone e per le merci) sono fattori soggetti a continua evoluzione;
- la rilevanza del sistema dei trasporti sotto il profilo ambientale, economico e sociale, è tale che anche ridotti incrementi di efficienza ed efficacia presentano elevati ritorni positivi.

Obiettivo ultimo della ricerca è contribuire alla definizione di un "modello" del sistema dei trasporti, che sia coerente con le esigenze della sostenibilità e della equità dello sviluppo. I campi di ricerca nei trasporti possono essere ricondotti a due macro aree fondamentali:

- metodi e strumenti per la pianificazione e la gestione dei sistemi di mobilità;
- la ricerca tecnologica nel campo dei veicoli, delle infrastrutture, degli equipaggiamenti ausiliari, dei sistemi telematici.

E' necessario che la ricerca sui trasporti, pur articolandosi in aree specialistiche, sia improntata ad una visione olistica del sistema ambiente-territorio-trasporti, in conseguenza delle strette connessioni, più volte richiamate, tra i tre sottosistemi.

In questa visione, è necessario che l'attività di ricerca non venga dispersa, ma venga invece indirizzata verso le aree che presentano maggiori criticità e nelle quali sia possibile conseguire i maggiori benefici per la sostenibilità dello sviluppo.

Riferendosi in particolare ai temi del risparmio energetico e della tutela ambientale, esistono molti spazi di ricerca circa le azioni da intraprendere, la loro efficacia, le eventuali retroazioni negative, che verranno illustrati nel seguito. E' ovvio che, in questa logica, non verranno indicate altre aree di ricerca (quali la incidentalità e la sicurezza), che pure rivestono un'importanza preminente.

5.1. Pianificazione e gestione dei sistemi di mobilità

Il contributo della ricerca, nell'area della pianificazione e della gestione dei sistemi di trasporto, può derivare dallo sviluppo di metodologie e di strumenti di supporto in relazione ad attività che possono modificare direttamente o indirettamente la ripartizione modale, con crescita dell'uso del trasporto collettivo e, a parità di domanda d'uso del mezzo privato, possono incidere sull'entità dei consumi e dell'inquinamento.

Le attività in questione sono molteplici e possono essere ricondotte ai seguenti settori:

- redazione ed applicazione di piani strategici di intervento sul territorio e sulle reti di trasporto alle diverse scale territoriali (nazionale, regionale, comprensoriale, urbana), finalizzati alla creazione di sistemi di trasporto in cui le diverse modalità possono essere utilizzate nel loro campo ottimale d'impiego;
- redazione ed applicazione di piani di mobilità e di traffico a scala urbana, in cui vengono progettati interventi di gestione della domanda di mobilità (zone a traffico limitato, park pricing, road pricing), ed interventi di ottimizzazione dell'offerta esistente (organizzazione della circolazione, sistemazione delle intersezioni, percorsi pedonali e ciclabili, etc.);
- redazione ed applicazione di piani di riorganizzazione del mercato del trasporto collettivo (servizi e tariffe) alle diverse scale territoriali (regionale, comprensoriale, urbana);
- redazione ed applicazione di piani di riduzione dell'impatto ambientale da traffico e di incremento delle condizioni di sicurezza.

L'esecuzione corretta ed efficace di tali attività richiede:

- manuali indicanti procedure e metodi da applicare;
- strumenti di supporto all'analisi propedeutica ed alla progettazione e monitoraggio degli interventi previsti.

Nonostante gli avanzamenti che, in tempi recenti, hanno caratterizzato la cultura nel settore dei trasporti, si rendono necessari ulteriori sviluppi nel campo dei metodi, dei modelli e degli strumenti di supporto per l'analisi ed il monitoraggio dei sistemi di trasporto e nel campo delle procedure di pianificazione territoriale e trasportistica. Il contributo della ricerca a queste attività può essere articolato in due filoni: una ricerca di tipo metodologico ed una a carattere applicativo. Alcuni temi della ricerca metodologica sono:

- i meccanismi comportamentali della domanda;
- le caratteristiche del mercato e dei sistemi di offerta;

- i sistemi di supporto alle decisioni e le tecniche per la valutazione degli interventi.

Temi della ricerca applicata sono, tra gli altri:

- la sperimentazione delle strategie di intervento per l'individuazione e l'analisi di tutti i possibili impatti;
- la definizione di linee guida e la redazione di manuali d'intervento;
- le azioni di formazione e trasferimento delle conoscenze.

Nel seguito sono riportati alcuni cenni sui caratteri salienti di queste tematiche.

5.1.1 Analisi dei meccanismi comportamentali

La conoscenza dei meccanismi comportamentali, sia per il trasporto delle persone che per il trasporto delle merci (esigenze di mobilità, scelta dei tempi e dei modi di trasporto, desiderata degli utenti in termini di qualità dell'offerta), costituisce requisito indispensabile per l'avvio delle politiche congiunte di potenziamento dei sistemi di offerta e di orientamento della domanda verso le modalità più favorevoli sotto il profilo tecnico, economico ed ambientale, di cui si è detto in precedenza.

L'analisi della domanda di trasporto si propone di collegare l'entità e le caratteristiche rilevanti della stessa alle variabili socio-economiche ed alle caratteristiche dell'offerta di trasporto.

Gli attuali livelli di conoscenza della domanda di mobilità delle persone e delle merci risultano eterogenei ed in generale insufficienti. Manca comunque una conoscenza omogenea e completa delle diverse componenti della domanda viaggiatori e merci alla scala nazionale, regionale, comprensoriale e locale.

Per quanto concerne la mobilità delle persone, negli ultimi decenni sono stati compiuti progressi sostanziali nella conoscenza delle caratteristiche e nella modellizzazione degli spostamenti alla scala urbana e metropolitana; minore impulso hanno invece ricevuto le ricerche sulla mobilità alla media e lunga distanza.

I modelli di domanda classici, di carattere sostanzialmente statico e centrati sulla mobilità sistematica (casa-lavoro, casa-scuola) non riescono tuttavia ad interpretare correttamente alcuni aspetti della mobilità che acquistano sempre maggiore rilevanza. Ad esempio, le distribuzioni spaziali e temporali delle attività, che l'individuo è chiamato a svolgere nell'arco giornaliero, risultano sempre più disperse e danno origine a catene di spostamenti complesse. L'introduzione di servizi e modalità di trasporto innovativi determina nuovi meccanismi di reazione da parte degli utenti.

Il carattere intrinsecamente congestionato delle reti urbane determina un'evoluzione delle scelte di viaggio (scelta degli orari di partenza, scelta del percorso) ed anche, nel lungo periodo, nuove scelte di mobilità (localizzazione della residenza e del posto di lavoro). Le scelte di viaggio possono, in particolare, modificarsi in funzione della informazione che

l'utente possiede circa lo stato della rete.

Per quanto concerne il trasporto delle merci, solo di recente sono state avviate ricerche sistematiche sulla natura delle merci trasportate e sull'articolazione spaziale, temporale e modale del trasporto. Un campo di particolare interesse è lo studio delle interazioni tra le scelte di trasporto ed in particolare il modo di trasporto e le scelte logistiche su frequenza e dimensioni dello spedito, aree di stoccaggio etc. Il trasporto delle merci nelle aree urbane, che interessa i territori più densamente abitati ed è in genere effettuato su reti congestionate, costituisce un settore ancora scarsamente esplorato.

5.1.2 Analisi dell'assetto del mercato dei trasporti

Nel mercato dei trasporti è in atto una profonda trasformazione. La liberalizzazione dell'accesso ai mercati è stata già attuata, all'interno dell'Unione Europea, per il trasporto aereo e l'autotrasporto delle merci ed è imminente per la navigazione di cabotaggio. Per il trasporto ferroviario, tradizionalmente di competenza pubblica, l'Unione Europea (direttiva 440 del 1991) indirizza verso la separazione societaria tra rete e servizi ed il libero accesso alle infrastrutture di nuovi operatori interessati ad offrire servizi ulteriori e concorrenziali.

Il mercato del trasporto sta dunque evolvendo da un assetto caratterizzato dalla presenza di oligopoli ad un assetto caratterizzato dalla competizione, che si manifesta a più livelli:

- competizione tra i soggetti produttori dei servizi di trasporto, come già avviene nel trasporto aereo e dovrebbe avvenire nel trasporto pubblico locale;
- competizione tra le diverse modalità di trasporto, incentivata anche dai processi di internalizzazione dei costi.

Questa profonda modifica delle regole del mercato non potrà non avere conseguenze in termini di ripartizione modale e di occupazione spazio-temporale delle reti; le implicazioni ambientali del gioco tra i competitori costituiscono un campo di ricerca di primaria importanza ancora sostanzialmente inesplorato.

5.1.3 Analisi dei sistemi di offerta

La ricerca sulla rappresentazione dei sistemi di offerta ha preso storicamente le mosse con la modellizzazione delle reti stradali; successivamente sono stati compiuti avanzamenti sulla modellizzazione dei sistemi di trasporto collettivo. L'attenzione è stata rivolta inizialmente alla scala urbana e si è estesa successivamente alle scale territoriali più ampie.

Per quanto concerne il trasporto delle merci, solo di recente è stata superata un'impostazione della ricerca, basata prevalentemente sugli sviluppi matematici dei problemi di ottimizzazione della logistica, a favore di una maggiore considerazione degli aspetti tecnologici ed organizzativi e delle diverse componenti dei costi e dei tempi del trasporto.

Tanto per il trasporto passeggeri, quanto per il trasporto delle merci, l'attenzione è stata

posta inizialmente sugli aspetti interni al sistema. Spesso il sistema economico e gli assetti territoriali sono stati considerati quali variabili esterne e predefinite. Solo di recente sono state avviate ricerche sistematiche sui problemi delle interazioni con l'ambiente ed il territorio, in termini generali di consumo di risorse naturali, spesso non rinnovabili, ed in particolare di inquinamento atmosferico ed acustico; ricerche sono state avviate anche sugli effetti strutturanti che il sistema dei trasporti esercita sul territorio.

Da un punto di vista generale, ogni sforzo deve essere fatto per promuovere le conoscenze nel settore, ed in particolare per colmare i differenziali di conoscenza esistenti sulle caratteristiche intrinseche dei vari sistemi di offerta e sulla loro rappresentazione nell'ambito di un modello quantitativo del sistema trasporti-territorio. Migliorando le caratteristiche del sistema si vengono infatti a contenere i fenomeni di congestione, creando così i presupposti per il risparmio energetico e la riduzione dei carichi ambientali.

In questo contesto risulta necessario superare l'approccio tradizionale alla modellizzazione dei sistemi di offerta, che è sostanzialmente di tipo statico, a favore di un approccio di tipo dinamico, orientato cioè alla modellizzazione della propagazione dei flussi sulle reti; ciò consente una migliore conoscenza della evoluzione nello spazio e nel tempo dei livelli operativi interni del sistema dei trasporti e degli impatti sull'ambiente.

Sotto il profilo specifico del contenimento dei consumi energetici e della tutela ambientale è possibile individuare le seguenti aree di ricerca:

- quantificazione dei consumi energetici e delle emissioni finali delle varie modalità di trasporto nelle differenti condizioni operative;
- quantificazione dei consumi energetici complessivi e delle emissioni delle varie modalità nell'ambito del ciclo di vita (costruzione, esercizio, dismissione).

5.1.4 Sviluppo dei sistemi di supporto alle decisioni e delle tecniche di valutazione

I sistemi di supporto alle decisioni nei trasporti sono finalizzati a svolgere tre attività fondamentali:

- il monitoraggio del sistema dei trasporti e delle sue interazioni con il sistema dell'ambiente e del territorio;
- la valutazione delle ipotesi per interventi a carattere infrastrutturale e gestionale;
- la fornitura di dati e servizi alle amministrazioni ed agli operatori del settore.

La conoscenza del sistema dei trasporti costituisce condizione indispensabile per governarne in forma ottimale i processi evolutivi. Il monitoraggio è qui inteso in senso ampio, ed ha per oggetto la domanda di trasporto nelle sue caratteristiche, i sistemi di offerta (infrastrutture, servizi, gestioni), i flussi finanziari, le esternalità. I sistemi di monitoraggio del traffico in senso stretto vengono invece esaminati nel punto relativo alla ricerca tecnologica.

La valutazione degli interventi si fonda sulla previsione degli effetti tecnici, gestionali, economici ed ambientali conseguenti alle decisioni assunte in materia di infrastrutture, servizi, tariffe e normative.

La fornitura di dati e servizi consente una più consapevole attività di programmazione per i soggetti a ciò deputati (pubblica amministrazione, operatori del settore).

Lo sviluppo dei sistemi di supporto alle decisioni costituisce un'attività relativamente recente, soprattutto nel trasporto passeggeri extraurbani e merci. Nel 1997 è stato rilasciato il SIMPT, Sistema Informatico per il Monitoraggio e la Pianificazione dei Trasporti [18], che è orientato prevalentemente alla pianificazione strategica alla scala nazionale. Ulteriori attività di ricerca sono necessarie per produrre sistemi di supporto alle decisioni di specifico impiego ai vari livelli territoriali della pianificazione (nazionale, regionale, comprensoriale, locale) e per assicurarne la coerenza metodologica e la compatibilità operativa. Sistemi di supporto alle decisioni, riferiti alla scala urbana, sono invero già disponibili; richiedono tuttavia di essere aggiornati alle nuove metodologie di analisi della domanda, dell'offerta e delle interazioni tra queste realtà, che sono state descritte in precedenza.

5.1.5 Sperimentazione delle strategie di intervento

Come già evidenziato, il sistema ambiente-territorio-trasporti presenta un elevato grado di complessità e forti cicli di retroazione; ciò rende difficile la previsione di tutte le possibili conseguenze degli interventi; è in particolare difficile l'individuazione del mix delle azioni, che può dimostrarsi più efficace nei diversi contesti.

Molte attese, ad esempio, destano i sistemi innovativi di offerta, finalizzati alla riduzione dell'uso delle auto individuali (car pooling, servizi a chiamata, noleggio di microvetture elettriche); attraverso la sperimentazione si potrà meglio individuarne le condizioni ottimali di attuazione ed in particolare le condizioni che ne determinano una maggiore accettazione da parte degli utenti. Anche alcune modalità di attuazione del road pricing necessitano di sperimentazione (struttura tariffaria, modalità di riscossione del pedaggio, repressione degli abusi, accettabilità sociale).

E' pertanto necessaria la sperimentazione di pacchetti delle diverse misure, in aree selezionate, al fine di valutare la loro efficacia attraverso l'esame della risposta e della sensitività del sistema; gli studi "before and after" costituiscono uno strumento molto potente per lo sviluppo delle conoscenze nel settore.

5.1.6 Redazione di linee guida e di manuali di intervento

La necessità di una sempre maggiore qualità e coerenza metodologica dei piani e dei progetti, della confrontabilità tra strumenti prodotti in contesti territoriali differenti e della integrabilità degli strumenti redatti alle diverse scale territoriali, indirizzano verso lo sviluppo di un insieme di prodotti, che in linea generale comprendono:

- indirizzi per la pianificazione territoriale, finalizzati ad influenzare la mobilità verso configurazioni più sostenibili;
- procedure e manuali per la pianificazione strategica, tattica ed operativa alle diverse scale territoriali (piani di trasporto, piani di mobilità, piani urbani del traffico, etc.);
- manuali e strumenti di supporto alla progettazione dei sistemi di trasporto collettivo;
- nuovi manuali e strumenti di supporto alla progettazione di centri intermodali passeggeri e merci;
- manuali per gli interventi tesi ad aumentare la sicurezza delle reti stradali;
- sviluppo di politiche di utilizzo delle nuove tecnologie di comunicazione per la riduzione delle esigenze di mobilità;
- metodologie standardizzate di raccolta dei dati di mobilità, inquinamento ed incidentalità;
- procedure di analisi di impatto ambientale, con più avanzati modelli di simulazione dei diversi tipi di impatto;
- sviluppo di nuove forme di finanziamento per le infrastrutture di trasporto.

Alcuni di questi strumenti sono stati già prodotti nell'ambito del Progetto Finalizzato Trasporti 2 del CNR; è tuttavia necessaria una costante azione di aggiornamento, affinché gli strumenti possano mantenere il passo con l'evoluzione del sistema dei trasporti ed il progresso delle conoscenze nel settore.

5.1.7 Sviluppo di tecniche di comunicazione sociale, formazione e diffusione della cultura scientifica

Lo sviluppo sostenibile del sistema dei trasporti non può prescindere, come si è detto, da un profondo coinvolgimento della popolazione, che dovrà acquisire una concreta consapevolezza delle problematiche ambientali ed orientarsi verso stili di vita più coerenti con gli obiettivi del contenimento dei consumi energetici e delle emissioni. Ciò è vero, in particolare, per le politiche di orientamento della domanda verso le modalità di trasporto più favorevoli sotto il profilo della sostenibilità. A tutt'oggi si conoscono pochi esempi di azioni in tal senso; vi è quindi spazio per la ricerca e la sperimentazione delle tecniche di comunicazione più adeguate.

Una maggiore consapevolezza degli aspetti energetici ed ambientali del sistema dei trasporti è richiesta ad una pluralità di soggetti, che svolgono compiti istituzionali direttamente collegati al campo dei trasporti: amministratori, tecnici, operatori del settore; esistono margini di miglioramento, che è necessario investigare, nelle tecniche di formazione permanente finalizzate allo specifico argomento.

5.2 Veicoli e combustibili

Nel paragrafo 3.3 sono stati descritti gli interventi sulle caratteristiche del veicolo necessari alla riduzione dei consumi e dell'inquinamento.

I miglioramenti previsti, in realtà, sono possibili solo se verranno effettuati adeguati investimenti in ricerca nei campi dell'aerodinamica, dei motori, dei nuovi materiali, dei sistemi di propulsione innovativi, della componentistica.

La ricerca e l'innovazione tecnologica rappresentano pertanto un'inderogabile necessità, cui possono far fronte, in maniera adeguata, i numerosi centri di ricerca pubblici e privati che operano in Italia nel campo dei trasporti.

Il contributo di alcune tecnologie (come le vetture elettriche, ibride e con celle a combustibile) alla riduzione dei consumi e dell'inquinamento non potrà essere significativo entro il 2010, ma potrà essere determinante in una prospettiva di lungo termine (20-30 anni); è perciò compito della ricerca occuparsi fin d'ora attivamente anche di queste soluzioni tecnologiche.

Nel seguito sono indicati i principali settori nei quali si dovrebbe sviluppare la ricerca.

5.2.1 Riduzione della resistenza aerodinamica

L'Italia possiede in questo campo un centro di ricerca industriale di assoluta eccellenza a livello mondiale, la galleria del vento della società Industrie Pininfarina S.p.A., i cui successi sono stati conseguiti anche grazie alla partecipazione a progetti di ricerca del CNR.

La galleria del vento Pininfarina fu costruita e messa in funzione già nel 1972, la prima in Italia ed allora una delle poche al mondo, per proseguire in modo scientifico le attività di ricerca aerodinamica, dapprima condotte in modo empirico e poi in collaborazione con il Politecnico di Torino.

Le ricerche sperimentali sulle forme aerodinamiche di alta efficienza svolte nella galleria del vento Pininfarina hanno ottenuto negli ultimi decenni risultati sempre all'avanguardia in campo internazionale.

Nel corso del Progetto Finalizzato Energetica 1 del CNR è stato effettuato uno studio teorico-sperimentale per una forma aerodinamica ideale, che ha portato alla realizzazione, nel 1978, di un modello statico con un C_x di 0.201 contro una media di 0.46 delle vetture del momento. Un risultato ancora teorico, ma significativo, che influenzò molti studi successivi.

Nel 1990 è stato realizzato il veicolo marciante su una meccanica di serie, la CNR E2,

prototipo di vettura media europea ad alta efficienza aerodinamica, frutto del Progetto Finalizzato Energetica 2, che segnava il ragguardevole C_x di 0.193. Questo risultato rappresenta ancora oggi il record insuperato di C_x per una berlina 4 porte 5 posti.

La migliore efficienza aerodinamica globale, con un prodotto tra il C_x e la superficie frontale S pari a solo 0.32, appartiene invece al prototipo Pininfarina Ethos 2 coupé realizzato nel 1993.

Attualmente è in fase di conclusione una ricerca nell'ambito del Progetto Finalizzato Trasporti 2 del CNR riguardante la realizzazione di un sistema per la simulazione in galleria del vento dell'effetto suolo, cioè del comportamento aerodinamico della zona tra il pianale della vettura e la strada. Il sistema utilizza un tappeto mobile (di larghezza ridotta ed inserito all'interno delle ruote), un dispositivo indipendente per la rotazione delle ruote e dei sottosistemi aggiuntivi di aspirazione e soffiatura dello strato limite a monte del tappeto mobile.

Questo sistema rappresenta una soluzione innovativa del tutto inedita nel campo dell'aerodinamica sperimentale e consente di riprodurre, con buona precisione, i flussi sotto il pianale della vettura.

Tuttavia in futuro sono necessari ulteriori miglioramenti per effettuare una simulazione accurata anche dell'effetto del vento laterale sulle autovetture e dei flussi turbolenti.

Ciò sarà possibile solo a condizione che vengano pianificate attività di ricerca apposite che permettano ulteriori miglioramenti delle gallerie del vento attuali.

5.2.2 Pneumatici

Le ricerche per la riduzione della resistenza al rotolamento dei pneumatici dovranno riguardare in futuro soprattutto i materiali e le metodologie di progettazione.

Per quanto riguarda i materiali, è necessario studiare nuovi elastomeri e cariche rinforzanti le cui caratteristiche diano origine a mescole con particolari proprietà dinamiche. Infatti per diminuire la resistenza al rotolamento è necessario avere mescole per il battistrada con la minima dissipazione a basse frequenze, mentre per mantenere buone doti di guida e di tenuta su strada bagnata si devono avere mescole con elevata dissipazione ad alte frequenze.

Gli studi quindi sono diretti ad acquisire conoscenze per progettare e preparare materiali (polimeri, cariche rinforzanti e mescole) con caratteristiche dinamiche mirate. Da citare, a questo proposito, una ricerca, iniziata nel 1998 nell'ambito del Progetto Finalizzato Materiali Speciali per Tecnologie Avanzate II del CNR, sulla modellazione computerizzata delle proprietà dinamiche di mescole, a partire dalle proprietà di elastomeri e cariche rinforzanti, con l'obiettivo di sviluppare metodi di simulazione per la progettazione dei materiali.

Per quanto riguarda la progettazione dei pneumatici, l'obiettivo è di ridurre al minimo la quantità di materiale, e quindi il peso, necessario per ottenere certe prestazioni (carico,

velocità) e studiare la forma e la struttura interna che rendano minima l'energia di deformazione nei componenti più dissipativi. Perciò si ricercano nuovi metodi, generalmente basati sull'analisi agli elementi finiti, per l'accurato calcolo di sforzi e deformazioni in tutte le possibili circostanze, tenendo conto della natura viscoelastica dei materiali impiegati nei pneumatici.

5.2.3 Allevamento dei veicoli

Attualmente i materiali utilizzati per la costruzione del veicolo rientrano mediamente nelle seguenti percentuali: 68% acciaio, 10% plastica, 4% vetro, 4% alluminio, 14% altri materiali.

Si può ritenere che in futuro la percentuale di acciaio diminuisca leggermente (3-4%), pur mantenendo un ruolo predominante, rispetto alle leghe leggere, in virtù della possibilità di operare alleggerimenti legati all'uso di acciai ad alta resistenza.

Un contributo significativo potrà venire dall'applicazione dell'alluminio e del magnesio per determinati sottosistemi del veicolo.

La diffusione di tecnologie di processo innovative potrà permettere di ridurre la massa del veicolo grazie alla possibilità di realizzare pezzi complessi distribuendo il materiale in stretta correlazione con la localizzazione delle sollecitazioni.

Prima di estendere l'applicazione delle leghe leggere sul veicolo, la ricerca deve fornire un contributo alla rimozione di alcuni problemi tecnologici riguardanti il processo di fabbricazione (piegatura, collegamenti, ecc.) e l'applicazione (ad esempio, riparabilità).

5.2.4 Miglioramento dei motori a benzina e diesel

La riduzione dell'inquinamento prodotto dai veicoli stradali può essere ottenuto essenzialmente in tre modi:

- a) limitando la produzione alla fonte degli inquinanti da parte del propulsore utilizzato;
- b) adottando dispositivi di post-trattamento dei gas di scarico in grado di eliminare parzialmente gli inquinanti prodotti durante la combustione;
- c) adottando combustibili meno inquinanti.

Per limitare la produzione di inquinanti alla fonte è necessario comprendere in maniera approfondita la fluidodinamica della combustione ed i meccanismi di formazione degli inquinanti nei motori. Oltre all'attività sperimentale un notevole contributo in questo senso potrà venire dallo sviluppo di codici di calcolo multidimensionali in grado di predire i fenomeni suddetti. Queste ricerche, svolte finora con ottimi risultati in Italia da numerosi Istituti di ricerca (tra cui l'Istituto Motori, l'Istituto sulla Propulsione e sull'Energetica e l'Istituto di ricerca sulla Combustione, tutti del CNR), sono di fondamentale importanza perché l'approfondimento di questi fenomeni, ancora non completamente noti, potrà fornire

indicazioni preziose per la progettazione dei motori del futuro.

Un enorme salto di qualità per quanto riguarda le emissioni ed i consumi nei motori diesel ha coinciso con l'introduzione della tecnologia dell'iniezione diretta ad alta pressione *common rail*; questo dispositivo, ormai diffuso in tutto il mondo, è stato sviluppato in Italia all'inizio degli anni 90 dal Centro Ricerche Fiat nell'ambito di un programma di ricerca con finanziamento pubblico.

Sono attualmente in corso attività di ricerca che permetteranno di migliorare ulteriormente il sistema, le cui enormi potenzialità di applicazione e sviluppo cominciano solo ora ad essere esplorate.

Il *common rail* è un sistema di iniezione ad alta pressione (1350 bar) a controllo elettronico, in cui gli iniettori sono alimentati mediante una linea di alimentazione comune mantenuta a pressione costante. L'iniezione principale viene preceduta ai carichi medio-bassi da un'iniezione pilota; l'intero sistema può essere gestito con la massima flessibilità, finalizzata all'aumento delle prestazioni ed alla riduzione dell'inquinamento.

In futuro il perfezionamento del sistema richiede un aumento delle pressioni di iniezione fino a 1600-1800 bar; in questo modo si potrà ottenere una maggiore polverizzazione del combustibile e quindi un migliore rendimento di combustione.

Ulteriori sofisticazioni dell'impianto dovrebbero portare ad una diminuzione della portata minima di iniezione e del tempo tra iniezione pilota ed iniezione principale, in modo da aumentare ulteriormente i margini di flessibilità di gestione del sistema.

Il sistema *common rail* si abbina molto bene ai motori plurivalvole (essenzialmente 4 valvole per cilindro). Infatti i motori plurivalvole agevolano l'applicazione del *common rail*, permettendo il posizionamento centrale e verticale dell'iniettore e rendendo perfettamente simmetrica la camera di combustione (facilitandone quindi la messa a punto). Inoltre le migliori caratteristiche di coppia e prestazioni dei motori plurivalvole facilitano l'utilizzo di rapporti al cambio più favorevoli dal punto di vista del consumo specifico.

Viceversa, il sistema *common rail* agevola lo sviluppo dei motori plurivalvole in quanto, specie nelle cilindrate di uso automobilistico, l'applicazione di sistemi tipo iniettore-pompa risulterebbe particolarmente difficoltosa a causa del loro notevole ingombro.

In futuro si cercherà di ridurre la cilindrata unitaria dei motori diesel da 0.5 a 0.3 litri e quindi di realizzare un motore diesel ad iniezione diretta con *common rail* da soli 1200cc che, montato su una vettura medio-piccola, potrà consentire di raggiungere l'obiettivo dei 3 litri/100 km.

Il motore diesel ad iniezione diretta ha infatti consumi energetici più bassi di qualsiasi altro tipo di motore convenzionale e l'uso del *common rail* riduce anche le emissioni di particolato in maniera considerevole. In questa maniera il motore diesel, già più pulito del motore a benzina per quanto riguarda il CO, gli HC e le emissioni per evaporazione, deve abbattere solamente le emissioni di NO_x.

A questo proposito, per rispettare le normative Euro IV previste per il 2005, sarà necessario sviluppare i cosiddetti catalizzatori DeNO_x, in grado di ridurre gli NO_x in ambiente ossidante; questi catalizzatori, attualmente del tutto inefficienti, dovranno essere oggetto di opportuni programmi di ricerca per raggiungere livelli di abbattimento degli NO_x almeno del 60%. In ogni caso, lo sviluppo dei catalizzatori DeNO_x è subordinato ad una consistente riduzione del contenuto di zolfo nei combustibili, senza la quale non sarà possibile conseguire risultati accettabili.

In futuro sarà inoltre necessario sviluppare filtri per il particolato che siano affidabili ed efficienti, anche per i mezzi pesanti e gli autobus.

Nei motori a benzina il problema dell'inquinamento si risolve attualmente con l'uso dei catalizzatori trivalenti, che comportano però l'adozione del rapporto stechiometrico della miscela aria/combustibile per un soddisfacente abbattimento degli inquinanti, impedendo una sostanziale riduzione dei consumi.

I catalizzatori trivalenti, attualmente in uso sulle vetture a benzina, funzionano ad una temperatura compresa tra i 250°C e gli 800°C; di conseguenza nelle partenze a freddo, per almeno un paio di minuti, il catalizzatore non funziona; è quindi necessario perfezionare i catalizzatori in modo da ridurre il tempo di attivazione (*light off*). L'attività di ricerca sui catalizzatori dovrà occuparsi anche dell'affidabilità e della fluidodinamica interna, non ancora ottimizzata, che causa stress termici.

L'iniezione diretta nei motori a benzina, benché molto promettente, non ha ancora ottenuto risultati soddisfacenti e richiede ancora un'intensa attività di ricerca. Si prevede in futuro lo sviluppo di motori ad iniezione diretta di benzina funzionanti inizialmente con miscela stechiometrica; ciò permetterà già di acquisire notevoli vantaggi sia sul piano dei consumi sia su quello delle emissioni, grazie ad un miglior controllo dei transitori, eliminando il problema del film fluido nei condotti di aspirazione. Ulteriori vantaggi verranno dalla coppia più elevata, che consentirà di utilizzare il motore in condizioni più favorevoli alla riduzione del consumo.

Successivamente, lo sviluppo dei catalizzatori DeNO_x potrebbe eliminare anche nei motori a benzina il vincolo del rapporto stechiometrico, permettendo l'affermazione dei motori a benzina a miscela magra (*lean burn*), con sostanziali riduzioni dei consumi di combustibile. La flessibilità conseguibile con la tecnologia del controllo elettronico della distribuzione potrà permettere di ridurre i consumi attraverso una diminuzione delle perdite di pompaggio ed un controllo ottimale del rapporto aria/combustibile durante i transitori.

Un miglioramento dei consumi si potrà ottenere anche con il sistema di raffreddamento modulare del motore, in grado di mantenere ogni cilindro alla temperatura ottimale in ogni condizione di funzionamento.

La richiesta del basso consumo impone l'adozione di una trasmissione efficiente; per questo aspetto la ricerca in Italia ha già prodotto una soluzione interessante di cambio

robotizzato con il quale è stato ottenuto un consumo inferiore del 5% rispetto al cambio convenzionale in un ciclo urbano ECE.

Infine un problema non secondario è la determinazione, attraverso indagini sperimentali ed un'adeguata modellistica, dei cicli di funzionamento reali dei veicoli su strada, ai fini di una più corretta valutazione dell'inquinamento prodotto e dei consumi.

Per quanto riguarda i ciclomotori (<50cc), allo scopo di soddisfare le prossime normative europee sull'inquinamento Euro I (1999) ed Euro II (2002) sarà necessario introdurre i motori a 2 tempi ad iniezione diretta catalizzati ed i motori a 4 tempi catalizzati, tutti con controllo elettronico.

5.2.5 Combustibili alternativi

La riduzione dell'inquinamento è possibile anche attraverso l'uso di combustibili alternativi gassosi (metano), vegetali oppure combustibili liquidi riformulati.

Il problema principale legato all'adozione di nuovi combustibili è però la loro compatibilità con il motore; il motore infatti deve essere opportunamente adattato perché l'uso del nuovo combustibile avvenga senza inconvenienti. Questa attività presenta spesso problemi tutt'altro che trascurabili e richiede lunghe sperimentazioni.

Il metano (CNG) è l'unico combustibile alternativo ad elevate caratteristiche ecologiche effettivamente disponibile su larga scala e quindi in grado, seppur marginalmente, di dare un contributo al raggiungimento degli obiettivi della Conferenza di Kyoto e delle normative anti-inquinamento.

Le motorizzazioni a metano, attualmente in fase di sviluppo, sono basate su una tecnologia di controllo elettronico della combustione sostanzialmente mutuata dai motori a benzina. Pur essendo già in grado di rispettare i limiti di emissione previsti nel 2000 e di garantire minori emissioni di CO₂, i veicoli a metano attuali hanno prestazioni inferiori (-10%) e soprattutto autonomia più ridotta (-40%) rispetto ai veicoli convenzionali.

In futuro, per annullare le differenze di prestazioni ed autonomia rispetto ai veicoli convenzionali e per ridurre ulteriormente l'impatto sull'ambiente, è necessario sviluppare veicoli a metano di seconda generazione che, consentendo una riduzione delle emissioni ai livelli dei veicoli elettrici (emissioni indirette dalla centrale) sarà possibile classificare come EZEV (Equivalent Zero Emission Vehicles).

Le attività di ricerca si dovranno concentrare sullo sviluppo di tecnologie di controllo della combustione specifiche per il metano e su tecnologie innovative ad elevata sicurezza per lo stoccaggio del combustibile gassoso a bordo (bombole metalliche cerchiare in fibre di nuovo tipo, serbatoi ad adsorbimento) che consentiranno di ottenere un aumento dell'autonomia.

Inoltre, l'introduzione di tecnologie di post-trattamento per i motori a metano permetterà di ridurre ulteriormente le emissioni allo scarico di idrocarburi, costituite per il 90% da metano incombusto.

5.2.6 Veicoli elettrici

Per i veicoli elettrici è importante che vengano definiti futuri programmi di ricerca focalizzati sullo sviluppo di batterie ad elevata densità energetica, con ricarica rapida e che non presentino problemi di inquinamento nella fase di smaltimento.

Attualmente sono in fase di studio, nei laboratori di ricerca di tutto il mondo, una decina di tipi di batterie diverse; tra queste la più promettente per il prossimo futuro è la batteria Ni-idruri metallici.

Il peso del pacco batterie (attualmente 300-400 kg con batterie al piombo per avere una autonomia sufficiente) rappresenta un fattore critico anche perché impedisce una sostanziale diminuzione del peso del veicolo, indispensabile per ridurre in modo significativo i consumi energetici.

Sono necessarie ricerche per migliorare il comportamento delle batterie attraverso una opportuna gestione termica ed elettrica, per ottimizzarne le condizioni di carica e scarica e per evitare sollecitazioni elettriche che ne ridurrebbero l'autonomia e la vita utile. Fa parte di questo filone di ricerca il concetto di associare alla batteria un'unità ausiliaria di accumulo ad alta potenza specifica ed alto rendimento di carica/scarica, preposta all'erogazione di picchi di potenza (*buffer*). I benefici potenziali di questa soluzione sono: l'aumento di prestazioni del veicolo (accelerazione), la risposta operativa del veicolo indipendente dalle condizioni della batteria (stato di carica, etc.) e dalle condizioni climatiche, l'aumento della durata delle batterie, l'incremento dell'autonomia come risultato combinato del livellamento del carico della batteria e del recupero energetico operato con miglior rendimento.

E' necessario un impegno di ricerca anche per la messa a punto del sistema di controllo e dell'inverter, per una maggiore affidabilità ed integrazione a livello di packaging dei dispositivi elettronici.

Per quanto riguarda i motori elettrici la tendenza attuale è verso l'uso di motori asincroni; sono tuttavia in fase di promettente sviluppo anche altri motori, come i motori sincroni a magneti permanenti.

Una importante causa di consumo nei veicoli elettrici è rappresentata dai sistemi di climatizzazione, indispensabili in questi veicoli in quanto non si dispone di calore di scarto come per i motori a combustione interna. Si calcola che ciò produca una riduzione di autonomia del 30%, ma sono possibili notevoli progressi con l'uso di pompe di calore o con l'integrazione energetica fornita da pannelli fotovoltaici, sperimentata con successo in una vettura elettrico-solare del Progetto Finalizzato Trasporti 2 del CNR.

E' opportuno precisare che le ricerche sull'auto elettrica dovranno coinvolgere non solo le Case automobilistiche, ma anche le industrie e gli enti di ricerca che si interessano direttamente dello sviluppo di sistemi di accumulo più efficienti. Finora sono state svolte

importanti ricerche, nel settore delle auto elettriche e ibride, da parte dell'ENEA, che ha realizzato anche alcuni veicoli sperimentali.

5.2.7 Veicoli ibridi

Per superare il problema della ridotta autonomia dell'auto elettrica, conservandone in parte i vantaggi in termini di ridotto inquinamento, sono allo studio diverse soluzioni ibride.

Generalmente i Costruttori preferiscono per le autovetture la propulsione con sistema ibrido "parallelo", mentre è visto con favore lo sviluppo dell'ibrido "serie" per i veicoli di grandi dimensioni, come gli autobus, nei quali il peso e l'ingombro delle batterie costituiscono un problema meno penalizzante.

Sono in corso ricerche su veicoli ibridi serie da parte di molte Case costruttrici; le ricerche riguardano anche lo sviluppo di motori primi diversi da quelli a benzina o diesel, come le turbine a gas, i motori Stirling ed ovviamente le celle a combustibile.

La ricerca sulle turbine a gas di piccolissima taglia lascia ancora aperte molte questioni, tra cui i consumi elevati, il rumore, le emissioni all'avviamento, etc. Questa motorizzazione presenta comunque il vantaggio di prestarsi all'uso di combustibili alternativi.

Negli ultimi tempi sta crescendo l'interesse per alcune soluzioni di ibrido "minimo", in cui la simbiosi tra i due motori elettrico e termico è limitata al minimo indispensabile per assicurare sufficiente autonomia e minore impatto ambientale.

In questa definizione si colloca il veicolo elettrico dotato di un piccolo gruppo motogeneratore di soccorso detto A.P.U. (Auxiliary Power Unit), in grado di generare a bordo l'energia media necessaria alla trazione nel ciclo urbano. Questo sistema può funzionare anche in solo elettrico, ove richiesto, ma presenta il vantaggio, rispetto al veicolo elettrico convenzionale, di "riportare l'utente comunque a casa" (funzione di *limp home*); per questa ragione il sistema viene anche detto "ad autonomia estesa" (*range extender*).

L'ibrido parallelo con motore diesel ad iniezione diretta di piccola cilindrata (1200cc) potrebbe consentire in futuro l'effettivo raggiungimento dell'obiettivo dei 3 litri/100 km; infatti ai vantaggi del diesel ad iniezione diretta si aggiungono le potenzialità di riduzione dei consumi del sistema ibrido parallelo (stimate tra il 5% ed il 20%), oltre alle potenzialità offerte da una trasmissione ottimizzata ed altri interventi.

L'ibrido parallelo potrà inoltre essere utilizzato nelle vetture sportive per ottenere, attraverso l'apporto del motore elettrico, un incremento di prestazioni solo nelle situazioni di marcia che lo richiedono (ad esempio maggiore accelerazione allo spunto), senza dover rinunciare al requisito del basso consumo complessivo.

In generale, i sistemi ibridi sono caratterizzati da un uso delle batterie diverso rispetto ai veicoli elettrici; le batterie nei sistemi ibridi devono infatti svolgere essenzialmente una funzione di livellamento di carico più che di accumulo di energia.

Non esistono ancora tecnologie idonee a questa funzione (anche se si ritiene che in futuro le batterie Ni-idruri metallici possano costituire una soluzione); da qui scaturisce la necessità di un *buffer* di potenza. Le due tecnologie candidate a svolgere questa funzione sono i volani ed i supercondensatori; per entrambe sono ancora necessari studi approfonditi per risolvere alcuni problemi di carattere tecnologico, benché la tecnologia dei supercondensatori sembri più vicina alla maturità.

Oltre a batterie ad elevata efficienza energetica ed elevata densità di potenza, i veicoli ibridi di seconda generazione richiederanno lo sviluppo di un motore termico integrato con la macchina elettrica, un'elettronica di potenza ad elevata integrazione ed un controllo dell'intero sistema (motore termico, motore elettrico, trasmissione, ausiliari) per la gestione ottimale delle diverse modalità di funzionamento.

In Italia sono stati realizzati negli ultimi anni numerosi prototipi di veicoli ibridi di diverso tipo e dimensioni, soprattutto nell'ambito dei progetti di ricerca dell'ENEA e del Progetto Finalizzato Trasporti 2 del CNR. L'ENEA dispone di laboratori ed una stazione di prova appositamente realizzata per la messa a punto di veicoli ibridi di qualsiasi tipologia.

5.2.8 Veicoli con celle a combustibile

La tecnologia delle celle a combustibile consente già oggi la realizzazione di veicoli elettrici con prestazioni molto superiori a quelle dei veicoli elettrici con batterie, anche di tipo avanzato.

Dal punto di vista delle emissioni e dei consumi questa tecnologia presenta grandi vantaggi rispetto a qualsiasi altro tipo di propulsione, e quindi ogni ulteriore restrizione di carattere normativo avrà l'effetto di favorire l'introduzione delle celle a combustibile.

Le ricerche in questo campo riguardano soprattutto le problematiche di produzione e stoccaggio dell'idrogeno a bordo, oltre allo sviluppo di un sistema di trazione adatto alla propulsione ibrida tipo serie.

Le prospettive più interessanti riguardano lo sviluppo di veicoli con celle a combustibile alimentati a benzina; è infatti facilmente comprensibile la facilità con cui verrebbe accettato dal mercato un veicolo elettrico che si può alimentare con benzina sfruttando la rete di distribuzione già esistente.

La ricerca dovrà perciò dedicare particolare attenzione allo sviluppo di reformer in grado di generare idrogeno dalla benzina, oltre allo studio degli altri componenti del sistema di propulsione ed alla sperimentazione con prototipi dimostrativi.

Su questa tecnologia si stanno concentrando gli sforzi di molte industrie negli Stati Uniti, in Giappone ed anche in molti Paesi europei. Sono nati recentemente in varie parti del mondo consorzi di ricerca che vedono coinvolte molte importanti industrie automobilistiche, con finanziamenti ingenti. Sono già nati alcuni prototipi, ma i margini di miglioramento sono ancora rilevanti (il rendimento globale attuale di questi veicoli si aggira sul 30%, ma può aumentare notevolmente).

Sebbene sia ancora molto lontana la fase di produzione su vasta scala a costi accettabili, poiché devono essere ancora risolti molti problemi tecnologici, è opportuno che l'industria automobilistica italiana cominci già da ora a studiare l'impiego delle celle a combustibile per la trazione.

In Italia i programmi di ricerca in questo campo sono piuttosto limitati, nonostante l'impegno che soprattutto l'ENEA dedica a questa tecnologia da molti anni. Si ritiene quindi necessario un forte sforzo di ricerca in questo settore strategico per il futuro dell'industria italiana dei trasporti.

5.3 Sistemi di controllo della marcia veicolare, del traffico e della mobilità

In questo paragrafo sono sinteticamente descritti alcuni dei possibili contributi che la ricerca sui sistemi telematici di controllo della guida, del traffico e della mobilità possono dare in termini di riduzione dei consumi e delle emissioni inquinanti. In generale, la ricerca riguarda non solo gli sviluppi delle tecnologie ma anche l'elaborazione di metodologie per la gestione ed il coordinamento dei nuovi servizi originati dall'introduzione di tali tecnologie.

5.3.1 Sistemi di supporto della guida e di controllo del veicolo

I sistemi di supporto della guida sono in grado di assistere i conducenti nella scelta dei percorsi e di segnalare particolari condizioni di pericolo. Dal punto di vista ambientale questi sistemi portano a due tipi di vantaggi:

- ottimizzazione dei percorsi, con conseguente riduzione dei veicoli km complessivi (e delle emissioni);
- regolarizzazione della marcia degli autoveicoli, con conseguente riduzione delle irregolarità nelle emissioni causate dai regimi transitori del motore.

I sistemi più semplici di supporto alla guida sono basati su segnaletica a messaggio variabile e sull'integrazione con sistemi radio monodirezionali (RDS-TMC); è prevedibile uno sviluppo anche verso sistemi bidirezionali di comunicazione (GSM). Esistono anche sistemi di supporto basati su sistemi satellitari GPS già disponibili in commercio, anche se la loro penetrazione sul mercato è per ora abbastanza limitata. I sistemi GPS attuali sono in grado di comunicare al conducente la posizione del veicolo mediante una mappa visualizzata su un display e di indirizzarlo sul percorso ottimale verso la destinazione scelta attraverso informazioni sia su display che vocali. I sistemi disponibili al momento,

pur avendo teoricamente la possibilità di ottimizzare le scelte sulla base delle effettive condizioni del traffico, sono praticamente dei sistemi basati su un'analisi statica dei percorsi, per l'indisponibilità delle informazioni che dovrebbero essere prodotte dai sistemi di raccolta ed elaborazione dei dati sulla situazione in tempo reale della circolazione. Un ulteriore impulso alla diffusione di questi sistemi potrà essere dato proprio dalla loro integrazione con sistemi in grado di produrre informazioni aggiornate, in modo da poter tenere conto di situazioni di congestione, di deviazioni temporanee, ecc.

Un'altra interessante applicazione è costituita dai sistemi di controllo del veicolo come i radar anticollisione, i sistemi di controllo della distanza laterale, i sistemi anticollisione e i sistemi di controllo della marcia. Anche se l'impatto più rilevante di tali sistemi è sulla sicurezza, essi hanno anche un effetto sull'impatto ambientale in quanto, consentendo una marcia più regolare del veicolo, permettono una riduzione dei consumi. A medio-lungo termine questi sistemi potranno probabilmente diventare dei veri e propri sistemi AVG (Automatic Vehicle Guidance), in grado di controllare attivamente la marcia dei veicoli su itinerari prestabiliti (per esempio lungo arterie autostradali), lasciando ai conducenti il controllo dei veicoli all'esterno di questi percorsi.

5.3.2 Sistemi integrati di controllo del traffico urbano

I sistemi di controllo semaforico in grado di rispondere alle variazioni delle condizioni del traffico stradale sono, in termini generali, un elemento importante di miglioramento dell'efficienza del sistema dei trasporti. Tali sistemi sono in grado di modificare dinamicamente i piani semaforici, sia allo scopo di coordinare intersezioni fra loro adiacenti (e quindi di muovere i veicoli all'interno di plotoni meno soggetti a soste durante i tempi di rosso) sia allo scopo di instradare i flussi di traffico su itinerari alternativi (comunicandoli opportunamente agli automobilisti attraverso pannelli a messaggi variabili e bollettini radio) per esempio in presenza di situazioni sfavorevoli (sotto l'aspetto ambientale e, più in generale, sotto l'aspetto della fluidità di circolazione).

L'integrazione di questi servizi con sistemi di gestione dei trasporti pubblici permette di prioritizzare il movimento di questi ultimi, aumentandone il grado di competitività e attraendo un maggior numero di passeggeri che possono essere così sottratti al mezzo privato. Si può arrivare, in questo modo, a veri e propri sistemi IRTE (Integrated Road Transport Environment).

I principali obiettivi di sviluppo della ricerca, che possono essere attualmente individuati nell'ambito di questi sistemi, sono:

- sviluppo di sistemi integrati in grado di rispondere più rapidamente al variare delle condizioni del traffico stradale;
- sviluppo di strumenti in grado di raccogliere informazioni real-time sulle condizioni del traffico (spire induttive, sistemi intelligenti di acquisizione di immagini video), allo scopo di fornire un quadro aggiornato delle condizioni di circolazione;

- sviluppo di sistemi di tipo modulare, in grado di essere aggiornati rapidamente nel momento in cui nuove esigenze o nuovi strumenti tecnologici dovessero prospettarsi;
- miglioramento delle caratteristiche di interfacciabilità di questi sistemi con sistemi paralleli, quali i sistemi di gestione del trasporto pubblico, i sistemi radio di informazione all'utenza (basati su sistemi RDS o GSM) e i sistemi di assistenza alla guida (basati sul sistema satellitare GPS), al fine di realizzare sistemi IRTE completi.

5.3.3 Gestione dei servizi di trasporto pubblico

I sistemi telematici di gestione del trasporto pubblico ne migliorano l'efficienza in termini globali, aumentando così la competitività nei confronti dei mezzi privati e favorendo lo spostamento modale verso sistemi con un impatto minore in termini ambientali e di consumo energetico. Attualmente le funzioni svolte da questi sistemi sono:

- localizzazione automatica dei veicoli con sistemi AVL (Automatic Vehicle Location);
- comunicazione vocale e dati di tipo avanzato fra veicoli e centrali operative;
- conteggio automatico dei passeggeri;
- gestione delle informazioni per i conducenti;
- gestione delle informazioni per gli utenti (paline "intelligenti" alle fermate, colonnine informative in luoghi di passaggio, sistemi basati su Televideo o Internet);
- diagnostica in tempo reale sullo stato di funzionamento dei veicoli (con segnalazione di eventuali avarie, ecc...);
- gestione di database geografici (GIS) e di programmi di ottimizzazione delle risorse in grado di assistere i gestori del sistema nelle decisioni, per quanto concerne sia la fase di pianificazione che la gestione di situazioni anomale (interruzioni stradali, picchi di domanda, ecc.).

Gli obiettivi di sviluppo sono individuabili, al momento, nel miglioramento di queste funzioni, con un particolare riguardo a:

- sviluppo dei sistemi di localizzazione dei veicoli, basati fino all'inizio degli anni '90 su *markers* posizionati lungo il percorso, ai quali si stanno sempre di più affiancando (e sostituendo) sistemi di tipo satellitare (GPS e simili);
- sviluppo dei sistemi di comunicazione, in particolare con la definizione di nuovi standard, quali il TETRA (Trans European Trunked Radio) per le radiocomunicazioni mobili digitali e il GPRS (General Packet Radio Service) per la trasmissione dati via GSM.

Per quanto riguarda in particolare i sistemi di informazione all'utenza, non si può trascurare che due fattori possono essere decisivi per un aumento dell'utilizzazione del

trasporto pubblico: il *miglioramento della qualità percepita del trasporto e l'aumento di opportunità di uso multimodale*. In entrambi i casi la telematica gioca un ruolo fondamentale in quanto elemento essenziale per la gestione dei sistemi di informazione dinamica all'utente.

Occorre, quindi, a tale fine:

- sviluppare le architetture integrate per la cooperazione tra gestori di diversi modi di trasporto, al fine di facilitare lo scambio di dati sulla situazione della rete;
- sviluppare sistemi e servizi economici e flessibili per l'interazione con l'utente finale, la pianificazione interattiva dei viaggi, la prenotazione di alcuni servizi legati al trasporto.

Infine, va anche considerato che stanno emergendo chiare tendenze verso l'organizzazione di un'offerta di trasporto più flessibile, che possa meglio rispondere alle esigenze della mobilità. Sono infatti in corso di sperimentazione forme di trasporto intermedie tra il trasporto pubblico tradizionale (di massa) e l'auto privata, quali: il *car sharing*, le auto (preferibilmente elettriche) in self service, il *car pooling*, i taxi collettivi, i sistemi di trasporto a chiamata nel caso di domanda debole (o *demand responsive*).

Tutti questi servizi possono rispondere bene alle esigenze di flessibilità e di economicità del trasporto; hanno però in comune una esigenza di gestione dinamica e di interazione con l'utente, che richiede un utilizzo intenso di strumenti telematici.

5.3.4 Gestione degli accessi alle zone a traffico limitato

La gestione degli accessi assume una particolare valenza ambientale nelle aree urbane caratterizzate da centri storici di particolare pregio, normalmente presenti nelle città italiane. L'automazione e il controllo telematico delle procedure di accesso permettono notevoli risparmi di personale, specialmente in grandi città (per esempio Roma, dove sono in corso varie sperimentazioni nell'ambito del progetto europeo Capitals), con un elevato numero di varchi di accesso al centro storico (dell'ordine di diverse decine).

Attualmente il controllo degli accessi viene effettuato mediante due tipi di apparecchiature, tra di loro complementari:

- telecamere per il rilievo delle targhe e la successiva identificazione automatica tramite elaboratore;
- *transponder* fisso installato a bordo dei veicoli, in grado di permetterne l'identificazione.

Lo sviluppo nei prossimi anni si concentrerà probabilmente nel miglioramento dell'efficienza di queste apparecchiature. Anche l'integrazione e lo sviluppo dei sistemi automatici di pagamento, qualora si decidesse di introdurre politiche di *road pricing*

finalizzate alla riduzione dei volumi di traffico, potrebbero rientrare nell'elenco dei possibili sviluppi correlati all'aspetto della gestione degli accessi.

5.3.5 Controllo del traffico autostradale

Le principali attività di ricerca nel settore autostradale riguardano i sistemi di informazione all'utenza, i sistemi di monitoraggio del traffico mediante l'impiego di sensoristica avanzata integrata con sistemi di elaborazione delle immagini, i sistemi di *enforcement* e i sistemi di pedaggio automatico.

L'introduzione di funzioni telematiche, come il controllo degli accessi e l'esazione automatica dei pedaggi, porta ad una riduzione della congestione lungo le arterie autostradali e in prossimità dei loro terminali, con conseguente miglioramento del consumo energetico e delle emissioni inquinanti. Alcune sperimentazioni condotte negli Stati Uniti sul controllo del traffico autostradale (dove le funzioni di controllo degli accessi erano state integrate con segnaletica a messaggio variabile) hanno portato a riduzioni delle emissioni di sostanze inquinanti dell'ordine del 30% e riduzioni dei ritardi dovuti alla congestione fino al 30%.

5.3.6 Sistemi di gestione delle informazioni, sistemi di comunicazione

Una gestione delle informazioni e delle comunicazioni agli utenti il più possibile completa e tempestiva è essenziale ai fini di permettere una scelta adeguata sia del modo di trasporto, sia del percorso da seguire, minimizzando così percorsi a vuoto e fenomeni di congestione. Come è già stato fatto osservare, i sistemi di gestione delle informazioni e di comunicazione sono strettamente integrati con i sistemi di controllo della circolazione già presentati, alle cui linee di sviluppo sono legati.

In ogni caso, è possibile anche individuare modalità di sviluppo proprie di questi sistemi. Per quanto riguarda i sistemi di gestione delle informazioni si può fare riferimento agli sviluppi propri delle tecnologie informatiche (maggiori velocità di elaborazione, maggiori capacità di immagazzinamento dei dati). Per i sistemi di comunicazione ai viaggiatori è prevedibile un ulteriore sviluppo dei sistemi radio di tipo RDS-TMC (Radio Data System - Traffic Message Channel) e GSM, come pure un'integrazione all'interno del sistema di diffusione delle informazioni dei nuovi *media* (Internet, TV digitale) che hanno fatto la loro comparsa sulla scena negli ultimi anni.

5.3.7 L'apporto della telematica alla riduzione e sostituzione degli spostamenti fisici

Tra le possibili iniziative dirette a contenere la domanda sistematica di trasporto, attraverso le applicazioni telematiche, assume particolare rilevanza lo sviluppo di teleattività come il telebanking, il teleshopping e, soprattutto, il telelavoro, ove per telelavoro si intende qualunque attività lavorativa svolta a distanza da una sede centrale di coordinamento, per conto della quale si opera.

Le teleattività hanno un impatto diretto sugli spostamenti; per esempio il telelavoratore può svolgere a casa la sua attività, eliminando o riducendo gli spostamenti casa-lavoro e viceversa, oppure il teleshopping può portare ad una riduzione degli spostamenti legati agli acquisti e ad una redistribuzione del trasporto merci nell'ambito urbano. Per quanto concerne in particolare il telelavoro, al momento non vi sono consistenti indicazioni su quanto lo status di telelavoratore possa portare gli individui ad aumentare gli spostamenti non dipendenti dall'attività professionale (svago, acquisti, visite); di sicuro il maggior tempo a disposizione, ricavato dall'eliminazione degli spostamenti casa-lavoro, potrebbe parzialmente riversarsi su spostamenti di altro genere, ma il travaso sarà sicuramente parziale, con benefici complessivi in termini di riduzione di mobilità (e quindi di inquinamento e consumo di carburante).

A questo proposito sono rilevanti le attività di ricerca sui modelli di previsione dei comportamenti degli utenti in seguito all'introduzione delle nuove tecnologie informative; attraverso tali modelli si cerca di valutare l'impatto delle suddette tecnologie sulle abitudini degli utenti.

Per il futuro gli sviluppi delle teleattività sono strettamente legati allo sviluppo delle tecnologie telematiche e alla riduzione dei costi connessi con l'uso di queste tecnologie (in gran parte già disponibili, se si pensa alle linee di trasmissione dati ad ampia banda, ai sistemi di video conferenza, ecc...). Una barriera importante da superare, in particolare per il telelavoro, però, rimane quella dell'*habitus* mentale, al quale sia i lavoratori che i datori di lavoro sono legati, che porta ad individuare una sede fisica distinta per la residenza e per le attività lavorative. Solo quando tale barriera sarà superata il telelavoro potrà sfruttare in pieno le tecnologie a sua disposizione.

6. ALCUNE RIFLESSIONI SUL FUTURO DELLA RICERCA SUI TRASPORTI IN ITALIA

I risultati di quella parte delle ricerche del Progetto Finalizzato Trasporti 2 (PFT2) che possono contribuire ad abbattere i consumi energetici e l'inquinamento atmosferico (sinteticamente descritti nel Capitolo 2) dimostrano che, con un concreto impegno della ricerca, è possibile affrontare problematiche complesse ed individuare un'ampia gamma di possibili soluzioni.

Le ricerche sviluppate nei due Progetti Finalizzati Trasporti (PFT e PFT2) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) hanno prodotto notevoli risultati e contribuito sostanzialmente alla conoscenza dei problemi del settore ed alla formazione di una comunità scientifica dei trasporti.

Tuttavia, a queste iniziative è mancata la necessaria continuità (tra il primo ed il secondo Progetto finalizzato sono intercorsi circa quattro anni) ed inoltre il PFT2 si trova attualmente nella fase conclusiva.

Verrà quindi a mancare il supporto della ricerca in una fase fortemente evolutiva dell'economia nazionale, pesantemente condizionata dall'assetto del sistema trasporti il quale, a sua volta, mostra importanti trasformazioni che lasciano prefigurare un diverso assetto del mercato e, al tempo stesso, la necessità di un adeguato impegno nella ricerca nel settore.

Negli ultimi anni sono state prese importanti iniziative legislative dirette a migliorare la situazione generale del sistema trasporti ed in particolare l'efficienza gestionale ed economica delle aziende pubbliche operanti nel settore.

A titolo di esempio si può citare la recente riforma del trasporto pubblico locale, le trasformazioni in atto nel settore ferroviario, la riforma della normativa concernente il trasporto delle merci, il sistema portuale, la gestione degli aeroporti.

Ulteriori importanti mutamenti potrebbero scaturire dal nuovo Piano Generale dei Trasporti, il cui processo di formazione è in fase di imminente avvio.

Alle modifiche della normativa nazionale vanno ad aggiungersi quelle derivanti dal recepimento delle direttive della U.E. il cui peso, nel campo dei trasporti, è decisamente notevole.

Il settore trasporti è inoltre interessato da continue innovazioni nelle tecnologie utilizzate nella produzione dei servizi e nelle infrastrutture. L'incessante progresso nel campo delle telecomunicazioni, dei veicoli, degli equipaggiamenti ausiliari, accelerato dall'accesa competizione tra i grandi blocchi industriali (Stati Uniti, Unione Europea, Giappone ed altri Paesi asiatici), impone una costante partecipazione ai programmi di ricerca internazionali al fine di ottenere adeguati livelli di innovazione e sviluppo industriale.

Le trasformazioni in atto nei Trasporti pongono agli operatori del settore (Pubblica Amministrazione, imprese di gestione, industrie produttrici di mezzi e sistemi) sfide nuove

alle quali è difficile, se non impossibile, far fronte senza un'adeguata base di conoscenze, acquisibili soltanto attraverso un forte impegno nel campo della ricerca.

La complessità ed articolazione del *Sistema Trasporti*, implica l'attuazione, con adeguati finanziamenti pubblici, di importanti programmi di ricerca che investono aree disciplinari molto diversificate: dallo studio di metodologie per la pianificazione e la gestione dei sistemi di trasporto, alla ricerca tecnologica nel campo dei veicoli, delle infrastrutture, degli equipaggiamenti ausiliari, dei sistemi telematici.

Sebbene (come evidenziato nel Capitolo 2) i Progetti Finalizzati abbiano contribuito efficacemente ad affrontare le complesse problematiche del sistema nazionale dei trasporti, attualmente si pone il grave problema di proseguire l'attività di ricerca nel settore attraverso una struttura permanente che possa disporre di un flusso adeguato e continuo di finanziamenti.

Giova ricordare che il problema del finanziamento della ricerca sui trasporti era stato recepito nella Legge 186/91, istitutiva del Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica nel Trasporto (CIPET), la quale prevedeva che fosse destinata alla ricerca di base e tecnologica nel settore "una percentuale non inferiore all'1 per cento dell'importo dell'accantonamento" del "fondo speciale di conto capitale".

L'importanza di questa particolare disposizione, ai fini della ricerca, è notevole in quanto veniva ribadito, in modo concreto, il legame inscindibile tra ricerca e politica degli investimenti nei trasporti. Purtroppo questa norma non ha mai trovato applicazione a seguito di diverse vicende che hanno portato, tra l'altro, allo scioglimento del CIPET ed al trasferimento delle relative competenze al CIPE.

Rimane quindi impellente la necessità di istituire un Organo di ricerca sui trasporti che possa soddisfare le esigenze già note e quelle che emergeranno a seguito del continuo evolversi del mercato, delle tecnologie e delle conoscenze tecniche, attingendo a fondi pubblici e privati di cui sia programmabile la disponibilità nel tempo.

Tale esigenza è stata recepita da molti anni da quasi tutti i Paesi industrializzati, i quali si sono dotati di Istituti di ricerca permanenti che operano in aree di particolare interesse strategico nel settore dei trasporti. Si cita a titolo di esempio:

Gran Bretagna: Transport Research Laboratory - TRL.

Germania: Bunderstalt für Strassenwesen - BAST.

Francia: Institut National de Recherche sur les Transports et leur Securite' - INRETS.

Stati Uniti: John A. Volpe National Transportation System Center.

Svezia: Swedish Road and Traffic Research Institute - VTI.

Canada: Transportation Development Center di Montréal.

Oltre a queste strutture di ricerca ne esistono numerose altre, individuate attraverso una indagine ad hoc, la quale ha dimostrato che il problema della ricerca sui trasporti è tenuto

nella dovuta considerazione anche in Paesi con livelli di industrializzazione non eccessivamente spinti. Questa situazione pone ulteriormente in evidenza le carenze strutturali della ricerca nazionale sui trasporti e l'assoluta necessità di colmare in tempi brevi questa grave lacuna.

E' perciò necessario, in primo luogo, attivare un meccanismo di finanziamento strutturale della ricerca sui trasporti basato sulla destinazione, a tale attività, di una quota percentuale degli investimenti pubblici nel settore. Questo meccanismo consentirà di realizzare, mediante una convenzione con il CNR, una struttura permanente di ricerca che sia in grado di acquisire ed ampliare il patrimonio di conoscenze e di relazioni sviluppate nell'ambito dei Progetti Finalizzati Trasporti nonché di percepire i mutamenti nel contesto generale sin dalla loro fase iniziale e quindi di adeguare le attività di ricerca alle esigenze che si vanno mano a mano concretizzando.

Il modello che si propone è quello di un Centro Nazionale di Ricerca sui Trasporti che, a differenza di altri esempi internazionali, sia di dimensioni relativamente contenute e che rivolga l'attenzione prevalente all'analisi dei sistemi di trasporto, negli aspetti funzionali, economici, tecnologici e della sicurezza. Gli strumenti operativi principali del Centro dovrebbero essere: l'attività di ricerca svolta direttamente nell'ambito dei finanziamenti strutturali o di contratti di ricerca specifici, prevalentemente con la Pubblica Amministrazione; la gestione di contratti di ricerca su temi specifici da affidare ad Unità di ricerca esterne, in modo da utilizzarne il "know how", mettendo a frutto e consolidando la rete di organismi di ricerca sviluppata con i Progetti Finalizzati Trasporti.

Questa scelta sembra perseguibile in tempi più brevi e con risorse limitate, in quanto consente di recuperare le esperienze dei Progetti Finalizzati Trasporti, rivolgendo l'attenzione al settore di maggiore interesse per la collettività e le Amministrazioni pubbliche.

Il Centro dovrebbe finalizzare la propria attività a promuovere l'innovazione (ricerca, sviluppo e diffusione delle conoscenze) nel settore dei trasporti; esso potrà svolgere funzioni di servizio e consulenza per le Amministrazioni pubbliche, particolarmente su temi di specifico interesse dei Ministeri o delle altre Amministrazioni che finanziano la ricerca e che necessitano di strumenti di analisi complessi, collegati agli sviluppi della ricerca teorica e applicata.

Il Centro potrà anche svolgere funzioni di promozione e monitoraggio delle iniziative di ricerca nel settore dei trasporti, attraverso la interazione con sistemi informativi e strutture di ricerca operanti in ambito sia nazionale che internazionale.

Infine, potrà essere svolta un'azione di promozione e coordinamento della partecipazione italiana alla elaborazione della Normativa comunitaria ed ai programmi di ricerca della U.E in materia di trasporti.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ministero dei Trasporti, Direzione Generale Programmazione, Organizzazione e Coordinamento, Conto Nazionale dei Trasporti, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, 1997.
- [2] Ministero dei Trasporti, Direzione Generale Programmazione, Organizzazione e Coordinamento, I trasporti in Italia, Rapporto 1995, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, 1995.
- [3] Ministero dei Trasporti e della Navigazione, Ministero dei Lavori Pubblici, Ministero dell'Ambiente, "Conferenza nazionale dei trasporti. Documento introduttivo", Roma, 1998.
- [4] Decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285. Nuovo codice della strada, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 114, 18 maggio 1992.
- [5] Ministero dei Lavori Pubblici, Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico (art.36 del Decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285. Nuovo Codice della strada): Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 146, parte prima, 24 giugno 1995.
- [6] European Conference of Ministers of Transport, CO₂ emissions from transport, ECMT, 1997.
- [7] European Conference of Ministers of Transport, Efficient transport for Europe, Policies for internalisation of external costs, ECMT, 1998.
- [8] Ministero dei Lavori Pubblici, "Un programma per la riqualificazione del sistema stradale italiano", Roma, febbraio 1998.
- [9] AA.VV., Tra sfida ambientale e mobilità sostenibile, Mobilità e traffico urbano, N. 3, 1998, pp. 2-5.
- [10] Decreto Ministeriale 27 marzo 1998, Mobilità sostenibile nelle aree urbane, Gazzetta Ufficiale n. 179, 3 agosto 1998.
- [11] D.L. 19.12.1997, n. 422, "Conferimento alle regioni ed agli enti locali di funzioni e compiti in materia di trasporto locale, a norma dell'articolo 4, comma 4, della legge 15 marzo 1997, n.59, Gazzetta Ufficiale n. 287, 10 dicembre 1997.
- [12] Segretariato del CIPET, "Mobilità urbana e ambiente. Documento preliminare", Roma, 1993.
- [13] Cascetta E., Di Gangi M. "La struttura della domanda interregionale di trasporto merci su strada", Nota interna, 1998.
- [14] AA.VV., Il trasporto delle merci e l'impatto sul traffico nelle città italiane, Mobilità e traffico urbano, N. 10, 1997, pp. 2-12.
- [15] Legambiente, WWF, "La mobilità in Italia. Le tendenze, gli scenari, le politiche", Istituto di ricerche Ambiente Italia, Milano, 1998.
- [16] Chapuis M., Fabre F., Zubero I. (Eds.), Freight Transport Logistics, COST 310, Commission of the European Communities, 1993.
- [17] Alfaro J.L., Chapuis M., Fabre F., "Uso razionale dell'energia nel trasporto interregionale, COST 307, Commission of the European Communities, 1993.
- [18] Cascetta E. (1998), Considerazioni sulla metodologia per la valutazione delle priorità di

- intervento del PGT, Atti della 54a Conferenza del traffico e della circolazione, ACI.
- [19] Proceedings of the 3th World Congress on Intelligent Transport Systems, 14-18 October 1996, Orlando, USA.
 - [20] Proceedings of the 4th World Congress on Intelligent Transport Systems, 21-24 October 1997, Berlin, Germany.
 - [21] Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, 12-16 October 1998, Seoul, Korea.
 - [22] Proceedings of the 2nd International Conference Infomobility 98, 22-23 June 1998, Rome, Italy.
 - [23] Perret, K.E. and Stevens A. (1996). "Review of the potential benefits of Road Transport Telematics", TRL Report 220.
 - [24] Guerci, C. M. (1996), "Telecomunicazioni e informatica per i trasporti - Tecnologia e mercato al 2005", ISFORT, ed. il Mulino, Bologna.
 - [25] AAVV (1996), "ITS Architecture Performance and Benefits Study", US Department of Transportation - Federal Highway Administration, April 1996.
 - [26] CORD Project V 2056 (1997), "Key achievements of the Advanced Transport Telematics Research and Technological Development (1992-1994)", Programme: Telematics Systems in Areas of General Interest. Deliverable No. D016 - Revision 2. Commission of the European Communities. April 1997.
 - [27] Shibata J., French R.L., "A Comparison of Intelligent Transportation Systems -Progress around the World through 1996", ITS America, June 1997.
 - [28] Casey R. F. et al. (1998), "Advanced Public Transportation Systems: The State of the Art - Update '98", U.S. Department of Transportation - Federal Transit Administration.
 - [29] QUARTET PLUS Project (1998), "IRTE Evaluation in six Sites: Results of the European Approach", Telematics Application Programme (DGXIII), Transport Sector. Project No. TR1044, Deliverable No. D07.3, March 1998.