

Politecnico di Milano

Facoltà del Design

Corso di Laurea Magistrale in
Disegno Industriale



Tesi di Laurea Magistrale

MOBILITÀ SOSTENIBILE

Riprogettazione del sistema stradale

Relatore

Prof. Giovanni Pasini

Corelatore

Prof. Gianluigi Arnaldi

Progetto di:

Roberto Righi

matricola 707690

Anno Accademico 2009-2010

Abstract

Il lavoro che segue affronta il tema della mobilità personale, in relazione alle sue criticità in termini di sostenibilità, di logistica, e di sicurezza.

Verrà sviluppata un'analisi del sistema dei trasporti, a livello globale e analitico, delle peculiarità, problematiche, opportunità e possibili evoluzioni dei sistemi di trasporto personale oggi più diffusi.

Da quest'analisi verranno tratte le considerazioni critiche sullo stato dell'arte dei trasporti che porteranno ad elaborare un nuovo sistema basato sull'uso della guida automatica, i sistemi di comunicazione tra veicoli e con le infrastrutture e soprattutto, su un nuovo modo di concepire il movimento su strada e i veicoli ad esso dedicati.

Questa nuova architettura si basa sulla formazione di convogli di veicoli che viaggiano a distanza ravvicinata grazie all'uso della guida automatica e al supporto delle comunicazioni tra veicoli, questa caratteristica determina un radicale aumento dell'efficienza logistica del sistema ed un importante risparmio energetico, avvicinando il sistema stradale a quello ferroviario, per quanto riguarda la sostenibilità, ma senza alcuna rinuncia dal punto di vista dell'utenza.

Vengono quindi stimate le caratteristiche di usabilità, efficienza, sostenibilità del nuovo si-

stema. Per concretizzare tale tesi verrà proposto il concept di un veicolo che possa efficacemente rispondere alle esigenze dell'utente.

Il veicolo sviluppato sarà modulare, a due posti e in grado di assemblarsi ad un altro veicolo uguale, in modo da ridurre gli ingombri e i consumi, mentre gli spazi interni servono per essere vissuti al meglio durante gli spostamenti.

Indice Generale

Introduzione	13	2.4.5 Particolato	60
1 Il sistema dei trasporti	17	2.4.6 Anidride carbonica	61
1.1 Definizione e limiti	18	2.4.7 Confronto tra gpl, diesel e benzina	65
1.2 Livelli	18	2.4.8 Produzione di inquinamento delocalizzata	67
1.2.1 Rete locale	19	2.5 Sistema stradale e utenti	68
1.2.2 Rete secondaria	20	2.5.1 Spazio personale	69
1.2.3 Rete principale	20	2.5.2 Caratterizzazione della propria individualità	71
1.2.4 Rete primaria	21	2.5.3 Intera tratta a bordo di un solo mezzo	73
1.2.5 Rete internazionale	22	2.5.4 Propria responsabilità del mezzo	74
1.3 Tipi di trasporto	22	2.6 Conclusioni	76
1.4 Evoluzioni	25	3 Il sistema ferroviario	77
2 Il sistema stradale	29	3.1 Il treno	80
2.1 Logistica di una strada	31	3.1.1 Architettura	82
2.1.1 App. sulla portata di una strada	34	3.1.2 Locomotive	83
2.2 L'auto	41	3.1.3 Le carrozze	86
2.3 Strade e petrolio	44	3.2 Logistica e controllo	88
2.3.1 Attrito dell'aria	47	3.2.1 Nascita	89
2.3.2 Isteresi delle gomme e trasmissione	49	3.2.2 Oggi	91
2.3.3 Frenate	51	3.2.3 Problemi legati alle rotaie	92
2.3.4 Motore	54	3.3 Capillarità della rete	93
2.4 Petrolio e inquinamento	56	3.4 Anche i treni bruciano petrolio	96
2.4.1 Sostanze inquinanti emesse.	57	3.4.1 Migliore efficienza aerodinamica dei treni	98
2.4.2 Monossido di carbonio	57	3.4.2 Minori attriti sul terreno	99
2.4.3 Idrocarburi incombusti	58	3.4.3 Marcia più regolare del mezzo	100
2.4.4 Ossidi di azoto	59	3.4.4 Evoluzioni	100
		3.5 Vivere un treno	104
		3.5.1 Conformazione delle tratte	105
		3.5.2 Qualità dell'ambiente	106
		3.6 Conclusioni	107

4 La metropolitana	109	5.2.1 Politica e trasporti aerei	150
4.1 Nascita e storia	112	5.3 Ryanair e il volo low-cost	153
4.2 Infrastrutture	116	5.3.1 Storia	154
4.2.1 Metropolitane in galleria	117	5.3.2 Il servizio	157
4.2.2 Metropolitana sopraelevata	119	5.3.3 Gli effetti economici	158
4.2.3 Metropolitane di superficie o in trincea	121	5.4 Volare	161
4.2.4 Costi	122	5.4.1 Usabilità	162
4.3 Automazione e sicurezza	125	5.4.2 Sicurezza reale e percepita	162
4.3.1 Segnalamento e sezioni di blocco	125	5.5 Valutazioni e prospettive	164
4.3.2 ATP, ATO, ATS	126	6 Trasporto Acqueo	167
4.3.3 Trasmissione delle informazioni	128	6.1 Stato del settore	169
4.3.4 Postazione centrale	130	6.1.1 Liner	170
4.3.5 La metropolitana automatica di Torino	130	6.1.2 Settore crocieristico	171
4.3.6 Il sistema integrato VAL	131	6.2 Sostenibilità	173
4.4 I veicoli	132	6.2.1 Navigazione a vela	174
4.4.1 Propulsione	133	6.2.2 Skysails	174
4.4.2 Carrello	134	6.2.3 Turbine Flettner	175
4.4.3 Interni	135	6.2.4 Energia solare	177
4.5 La rete	137	6.2.5 Interventi sul motore	178
4.6 Conclusioni	139	6.3 Prospettive	178
5 Trasporti aerei	141	7 Il futuro della mobilità	179
5.1 Saturare il cielo, è possibile?	143	7.1 Treni ad alta velocità	181
5.1.1 Possibilità di manovra	145	7.2 Muoversi in auto nel 2020	184
5.1.2 Quote di volo	145	7.2.1 Guida automatica	185
5.1.3 Atterraggio e decollo	146	7.2.2 Comunicazioni v2v	185
5.1.4 Sistemi di controllo del traffico aereo	146	7.2.3 Comunicazioni v2i	187
5.2 Sostenibilità del trasporto aereo	148	7.3 Evoluzioni nell'assetto della rete dei trasporti	189

7.4 Obiettivi di progetto	190	8.3.8 Trasporto di una famiglia	243
7.4.1 Modo d'uso	190	8.3.9 Sicurezza	245
7.4.2 Modularità	191	8.3.10 Car-sharing	247
7.4.3 Ecosostenibilità	193	8.4 Tempistiche di introduzione	248
7.4.4 Styling	193	Conclusioni	257
7.4.5 Credibilità	194	Bibliografia	261
8 Il progetto	197		
8.1 Il sistema	198		
8.1.1 Come si comporta un flusso in una strada	198		
8.1.2 La nostra soluzione	200		
8.1.3 Come si può fare	202		
8.1.4 Libertà o controllo	206		
8.1.5 Ipotesi di viaggio	208		
8.2 Il veicolo	210		
8.2.1 Accoppiamento	212		
8.2.2 Sistema di propulsione	216		
8.2.3 Bombole	219		
8.2.4 Celle a combustibile	221		
8.2.5 Motore elettrico	222		
8.2.6 Raffreddamento	224		
8.2.7 Scanner laser	225		
8.2.8 Sedili	226		
8.3 Uso	231		
8.3.1 Accesso	231		
8.3.2 Guida	234		
8.3.3 Interfaccia	235		
8.3.4 Rotazione sedile	237		
8.3.5 Lavorare	239		
8.3.6 Svegliarsi	241		
8.3.7 Riposo	242		

Introduzione



Questo progetto nasce da un particolare modo di affrontare il problema della mobilità personale, basato sull'analisi e sull'intervento progettuale applicati a livello sistemico.



Quando un cacciatore raccoglitore dell'età della pietra aveva necessità di seguire un branco di antilopi o spostarsi in un luogo più adatto alla stagione, semplicemente prendeva le sue poche cose e cominciava a camminare verso la sua meta. L'uomo trasportava se stesso, concludeva quindi in se stesso un intero "sistema di trasporto" in grado di spostare un uomo, il quale non poteva nemmeno contare su facilitazioni durante il percorso, a meno che non ce le avesse lasciate lui stesso precedentemente.

Oggi, quando una persona decide di spostarsi, viene ospitato e guidato da una rete informativa e infrastrutturale che avvolge l'intero pianeta.

Ciò significa che i circa sei miliardi e ottocento milioni di abitanti della terra condividono una rete globale in grado di trasportare ognuno di loro in tutto il mondo, un'immensa macchina che chiameremo col nome di "sistema dei trasporti". In un certo senso non

siamo più quindi più noi a spostarci, ma è il sistema dei trasporti che ci sposta, chiedendoci di aiutarlo con la nostra manodopera e dicendoci cosa fare.

Quando scendiamo dall'aereo e saliamo sulla nostra amata autovettura, sentendoci finalmente liberi di decidere dove andare, non facciamo altro che inserirci in un altro livello del sistema che, un poco subdolamente, ci lascia tenere il volante in mano, ma ci priva di ogni libertà decisionale.

L'insieme di indicazioni, regole e codici forniti dal sistema rende l'apporto decisionale dell'utente estremamente limitato, a meno che questi non decida, quelle regole, di infrangerle.

Ora tutto questo potrebbe anche non riguardare particolarmente un progettista se non fosse per il fatto che il sistema in questione non funziona come dovrebbe, o meglio non riesce ad adattarsi alla crescente richiesta



Fig1 Mappa delle rotte aeree commerciali nel mondo

di spostamenti, né a quella di ridurre drasticamente i consumi energetici e le emissioni inquinanti.

Se lo scopo di un progettista è trovare soluzioni per migliorare il mondo in cui viviamo, quest'ambito dà la possibilità di intervenire su un sistema che presenta gravi problematiche che provocano effetti su tutti coloro che lo usano e, indirettamente, anche su coloro che non lo usano, un intervento progettuale efficace potrebbe quindi ottenere un rilevante miglioramento della qualità della vita a livello globale.

Eppure il termine "automotive design" è spesso sinonimo di styling finalizzato alla vendita, nonostante sia chiaro a tutti che il problema del sistema non sia certo la carenza di auto in circolazione

Forse il problema è che i progettisti si concentrano sul prodotto dando per scontato il sistema, mentre l'ingegneria dei trasporti si occupa più che altro di apportare piccole modifiche del sistema per adeguarlo ad un prodotto di fatto privo di evoluzioni positive. Due progettazioni parallele e scoordinate dunque che possono, per esempio, portare al paradosso di aumentare le dimensioni delle auto in un momento in cui di spazio ce n'è pochissimo, mantenendo comunque gli spazi interni abitabili angusti e poco vivibili.

L'idea scatenante di questo lavoro di tesi è realizzare un'ipotesi di riprogettazione coordinata prodotto-sistema del trasporto personale su strada, che è poi quello più usato, più critico, ma anche forse quello che potrebbe essere pronto a rivoluzionare il suo funzionamento grazie all'introduzione di nuove tecnologie di

cui si parla poco, ma che avrebbero un effetto potenzialmente rivoluzionario.

In questo lavoro di tesi abbiamo quindi deciso di riprogettare prima di tutto un sistema, diverso da quello attuale, più adatto alle esigenze degli utenti e del pianeta.

1 Il sistema dei trasporti



Quando ci muoviamo siamo di fatto ospitati da un sistema organico globale che ci consente di muoverci in gran parte del pianeta. Questo sistema è formato da infrastrutture e veicoli, ma anche da norme, codici e gestione delle informazioni.

In questo capitolo analizziamo le parti di questo sistema e le loro interazioni per capire cosa si può fare per migliorarlo.

1.1 Definizione e limiti

1.2 Livelli

1.3 Tipi di trasporto

1.4 Evoluzioni

1.1 Definizione e limiti

Con il termine sistema dei trasporti ci riferiamo all'insieme di infrastrutture, mezzi e informazioni che rendono possibile lo spostamento delle persone e che sono stati organizzati o creati a tale scopo.

Ci riferiamo a questo insieme di entità come ad un sistema in quanto composto da elementi diversi, ma organici, che hanno quindi valore in quanto parte di un tutto del quale condividono il fine ultimo (spostare persone).

Tale sistema è probabilmente la più grande macchina che l'uomo abbia mai realizzato, se pensiamo che ferrovie, navi, strade, porti, automobili, aeroporti, satelliti gps, tunnel sottomarini, ponti e gallerie avvolgono completamente il pianeta.

La rete è formata da livelli sovrapposti caratterizzati da diverse velocità di spostamento e diversi gradi di capillarità, ma anche da mezzi di trasporto, infrastrutture e organizzazioni sostanzialmente differenti.

Il modo in cui gli utenti si muovono all'interno del sistema è determinato dalla volontà della singola utenza, dalla conformazione e organizzazione della rete infrastrutturale, e da indicazioni o imposizioni.

Il rapporto tra singolo utente e sistema non è dunque di semplice utilizzo, in quanto **una parte significativa della determinazione del percorso e delle modalità del viaggio è dettata da esigenze del sistema** e non dell'utente, questo avviene ormai anche quando è l'utente a controllare il mezzo di trasporto.

1.2 Livelli

Il sistema è composto da una rete a più livelli, dove ad ogni livello corrisponde una scala di distanze percorse differente, per cui il percorso per muoversi da un posto ad un altro non è solitamente rettilineo, ma molto più simile a quello che percorre un segnale all'interno di una rete informatica.

Un viaggio comincia quasi sempre ai livelli di rete più bassi, quindi gestiti da un sistema di spostamento più capillare, ma più lento e con minore capienza.

Se il viaggio è lungo, anziché muoversi in direzione della meta, il viaggiatore si muove in dire-

zione della connessione più vicina ad un livello di rete superiore, attraverso la quale compiere velocemente grandi distanze.

Questo passaggio può avvenire molte volte, perché sono individuabili molti livelli di spostamenti nel sistema dei trasporti, basti pensare che solo per quanto riguarda il sistema stradale si usano di norma quattro livelli di reti distinti.

È importante notare come i livelli della rete non sono legati alla distanza percorribile su quel livello, ma piuttosto alla distanza per cui sono ottimizzati, se è quindi vero che un viaggiatore può spostarsi da Roma a Berlino usando esclusivamente treni locali, è anche vero che ci metterà molto di più che usando un treno della tav.



Un viaggio ottimizzato utilizza infatti solitamente una, o poche, tratte di pari livello, a meno che il livello “in uso” non sia il massimo disponibile.

1.2.1 Rete locale

La rete locale è formata sostanzialmente esclusivamente da strade, percorsi pedonali, scale, vialetti, rampe di accesso ecc...

Effettivamente quasi qualsiasi cosa, in una città, fa parte della rete locale di trasporto, persino gli edifici in parte, se consideriamo che la maggior parte dei condomini costruiti in città ha delle rampe di scale con ascensore che, collegando gli appartamenti ospitati alla strada, fanno oggettivamente anche loro parte della rete di trasporto, in quanto sono infrastrutture realizzate per consentire alle persone di spostarsi.

Su questo livello ci si può muovere in bicicletta, a piedi, in autobus o in auto, anche se di solito le auto vi si spostano nell’ambito di un viaggio più lungo, come fase iniziale o finale.

In realtà la scala di spostamenti, e quindi anche il mezzo usato, dipendono fortemente dal grado di urbanizzazione della zona: un collegamento

Figura 1.1 Uno svincolo autostradale in California, è una buona rappresentazione della strutturazione logica della rete stradale in più livelli sovrapposti, a volte anche fisicamente.

locale nell'entroterra della Sardegna può essere molto lungo, mentre una via di quartiere a Milano è solitamente molto breve, così che non avrebbe senso percorrerla in auto se non ci fosse la necessità di avere l'auto a disposizione in un secondo momento per percorrere distanze più lunghe.

1.2.2 Rete secondaria

La rete secondaria è quella che collega piccoli paesi tra loro, a volte sono anche presenti linee ferroviarie che realizzano collegamenti su questa scala, ma per la maggior parte in Italia sono state abbandonate, fatta eccezione per le aree metropolitane dove ferrovie, metropolitane di superficie e metropolitane tradizionali svolgono un ruolo importantissimo all'interno della rete.

1.2.3 Rete principale

La rete principale è costituita dalle strade statali, che collegano cittadine e paesi o che percorrono le valli in montagna, sono strade con una ridottissima affluenza di ciclisti e pedoni, non ci sono autobus, ma solo qualche linea di pullman, la cui frequenza di transito spesso è insufficiente a garantire un servizio accettabile.

Dal punto di vista ferroviario parliamo di collegamenti regionali e sono moltissime le linee presenti e usate a questo livello.

Vale la pena menzionare a riguardo anche alcuni collegamenti marittimi o lacustri, realizzati

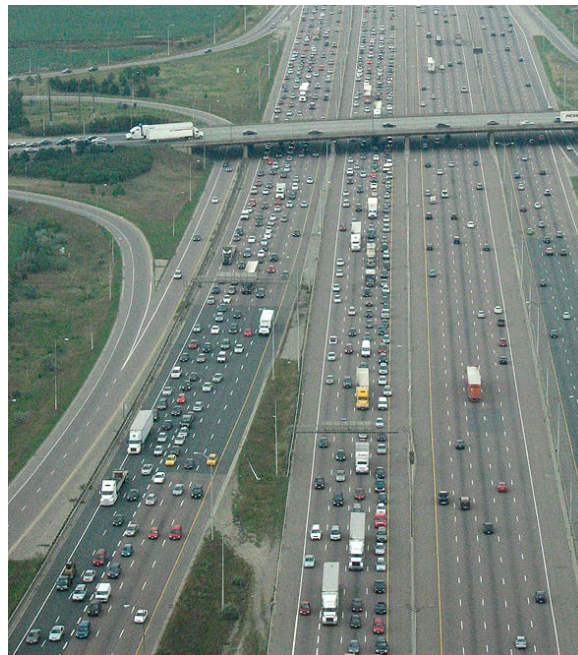


Fig. 1.2 La Highway 401 nei pressi di Toronto.

da piccoli traghetti, spesso con la possibilità di trasportare veicoli.

1.2.4 Rete primaria

La rete primaria è costituita dalle autostrade e dalle tangenziali, dalle tratte ferroviarie principali percorse da treni inter cittadini che effettuano fermate solo nelle principali città, dalle rotte di collegamento navale più lunghe come quelle che collegano le isole maggiori e dalle rotte aeree nazionali.

Dal punto di vista stradale l'accesso a veicoli non a motore è vietato, le infrastrutture stradali consentono un viaggio con velocità di almeno 100 km/h in assenza di problemi di traffico, lavori o incidenti.

L'accesso alle infrastrutture stradali avviene attraverso rampe con corsie di accelerazione e, in certi casi, caselli per il pagamento di pedaggi supplementari.

I mezzi pubblici su gomma sono praticamente assenti. Per quanto riguarda i mezzi pubblici la quasi totalità degli spostamenti avviene infatti in treno, la rete ferroviaria riesce infatti su que-

ste lunghezze a fornire un servizio competitivo grazie alla possibilità dei passeggeri di fare tratte di una certa lunghezza senza dover guidare e alla disponibilità di una rete propria isolata da interferenze esterne.

Il problema dell'uso della rete ferroviaria è che la rete primaria non è affatto capillare, quindi per la maggior parte dei viaggi rimangono scoperte tratte locali o secondarie da compiere con altri mezzi, il che spesso si traduce nell'uso dell'auto.



Fig. 1.3 Ferrovia per l'alta velocità accanto alla Torino-Venezia.

1.2.5 Rete internazionale

I tempi sono sicuramente maturi per parlare di una rete internazionale composta dalle rotte aeree di medio/lunga percorrenza e dalle linee ferroviarie dell'alta velocità.

Viaggi di tale portata vengono di solito programmati con largo anticipo, il che limita la problematica del trasporto pubblico legato alla frequenza di transito dei mezzi e, di conseguenza, della limitata possibilità decisionale dell'utente riguardo all'orario di partenza e di arrivo.

La rete stradale è sì utilizzabile e utilizzata anche per spostamenti su questa scala, tuttavia gli elevati tempi di percorrenza e la necessità di guidare per molte ore di seguito ne limitano notevolmente l'appetibilità.

1.3 Tipi di trasporto

Oltre ad una suddivisione logica in livelli del sistema è certamente possibile e utile delineare e definire i vari "modi" in cui ci si può spostare.

Tipicamente la nomenclatura e classificazione di queste modalità di spostamento viene attuata attraverso il veicolo impiegato per muoversi, e quindi di conseguenza fa riferimento ad una rete di infrastrutture pensate per consentire a quel tipo di veicolo di muoversi.

Nel momento in cui esiste un sistema globale e organico è logico porsi la domanda della funzione delle diverse modalità di spostamento, infatti il cambio di modalità di spostamento, e quindi di mezzo impiegato, pone problemi piuttosto

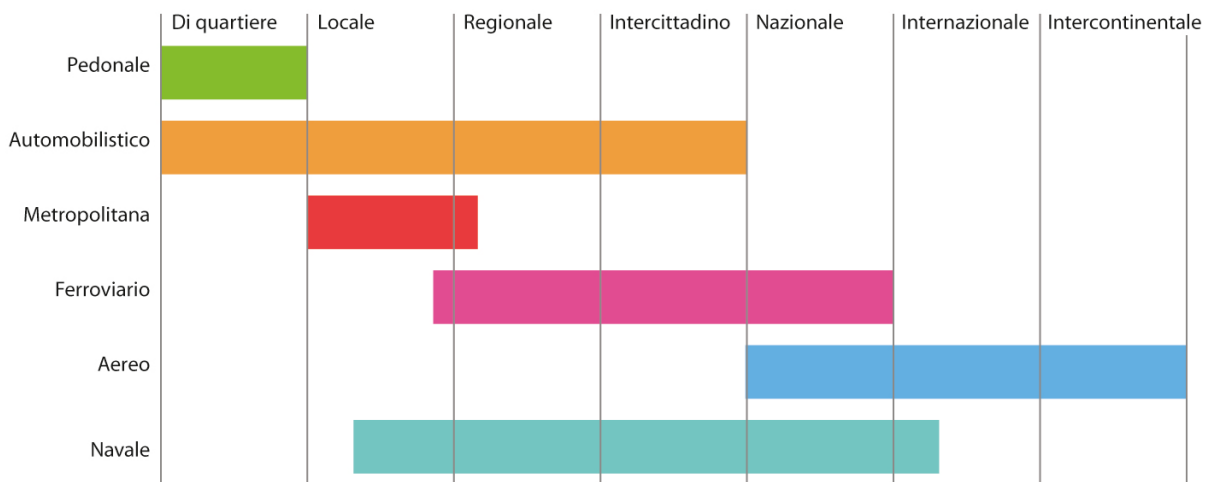


Figura 1.4 Rappresentazione istantanea dell'attività di internet sul nostro pianeta.

seri riguardo alla gestione dello spostamento del passeggero da un mezzo all'altro e alla gestione logistica dei mezzi.

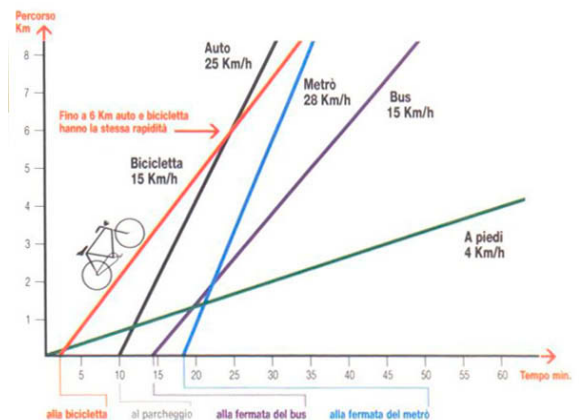
Le principali differenze tra un mezzo e l'altro sono le aree geografiche in cui si può muovere (terra, mare o entrambi), e la scala su cui risulta conveniente farlo muovere, quindi il livello di rete in cui è conveniente utilizzarlo.

Nel grafico a sinistra vediamo una rappresentazione riassuntiva di che tipi di mezzi vengono principalmente utilizzati e della loro applicazione ai vari livelli del sistema.

Si nota una forte sovrapposizione di modalità di trasporto nella media percorrenza, infatti tali distanze sono efficacemente coperte dal trasporto navale, ferroviario e stradale.

Ora il sistema navale ha certamente una sua ragion d'essere visto che né le auto né i treni sono in grado di muoversi sull'acqua in assenza di infrastrutture apposite, la cui realizzazione è in certi casi di estrema difficoltà, mentre per quanto riguarda il sistema stradale e quello ferroviario sono due alternative in effettiva concorrenza all'interno del sistema.

Questa sovrapposizione di sistemi con infrastrutture differenti, entrambi i quali adibiti sia al trasporto personale che a quello merci, è un punto di inefficienza dell'intero sistema dei trasporti, anche perché la scarsa integrazione tra i



sistemi rende il passaggio da uno all'altro lento e fastidioso per il viaggiatore, che tende a evitarlo quando possibile.

Vista la attuale situazione di carenza energetica le politiche lungimiranti cercano di favorire il sistema ferroviario relegando quindi il trasporto su gomma ad un ambito prettamente locale o, meglio ancora, renderlo non necessario laddove il sistema ferroviario sia facilmente raggiungibile senza muoversi in auto, come accade per esempio nelle grandi città con le metropolitane.

Vedremo in seguito nel dettaglio limiti e vantaggi di questi due sottosistemi di trasporto, quello che è importante capire ora è che i sistemi sono in concorrenza e la politica e l'utenza determinano in continuazione gli equilibri tra i due, che potrebbero anche in futuro diventare squilibri provocando il drastico ridimensionamento di uno dei due sottosistemi.

Per il momento ciò che si osserva è che a nivel-

1 Isfort Istituto superiore di formazione e ricerca per i trasporti, dati riferiti all'anno 2008.

Fig. 1.5 Rappresentazione dei tempi di percorrenza tipici in relazione al mezzo usato e alla distanza in un contesto urbano.



lo globale e comunitario il sistema ferroviario è quello preferito, tuttavia per il singolo utente risulta spesso una rinuncia rispetto al muoversi in auto; il trasporto su gomma è per questo, allo stato attuale, tutt'ora vincente a livello commerciale e di mercato.

In Italia in particolare la grande maggioranza degli spostamenti avviene in auto, stiamo parlando di circa 850 miliardi di km percorsi all'anno, circa 40 km al giorno per persona, per il trasporto ferroviario il dato è di soli 40 miliardi di km-passeggeri ogni anno, quindi circa un ventunesimo di quelli percorsi su strada¹.

Bisogna però anche dire che le infrastrutture, sia stradali che ferroviarie, hanno un costo di realizzazione e manutenzione molto alto, quindi la concorrenza tra mezzi di trasporto che usino

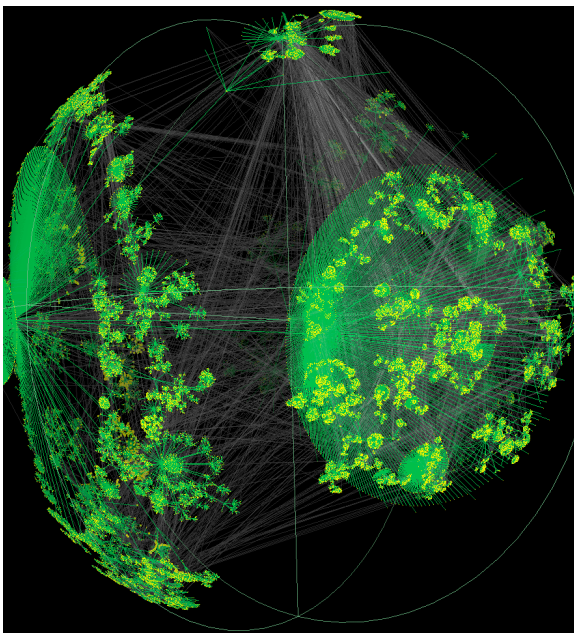
infrastrutture diverse non sarà mai libera, perché fortemente condizionata dalla spesa pubblica nella realizzazione delle infrastrutture stesse, che rappresentano per altro una parte significativa del costo totale del muoversi in auto o in treno; per esempio il pedaggio che si paga per percorrere le autostrade, che ricopre una parte rilevante nel determinare il costo di uno spostamento, copre la sola manutenzione delle stesse, infatti le autostrade vengono date in gestione alle società dopo che queste vengono costruite, ma la realizzazione di un'autostrada costa circa 10 milioni di euro per corsia per km.

La vittoria commerciale del trasporto su gomma non è quindi "naturale" e definitiva, anzi oggi che, come non mai, si evidenziano i suoi limiti, in molti paesi il trasporto su gomma potrebbe di-

Figura 1.6 Ferrovie e strade spesso coabitano e coprono percorsi identici, sono due sistemi in concorrenza commerciale per il trasporto sia di merci che di persone.

¹ Istat, *Il trasporto in Italia, Anno 2008*

ventare il prossimo scontro, con gravi ripercussioni economiche per quei paesi, come l'Italia, che hanno puntato moltissimo su di esso, senza essere per altro in grado di costruire un'alternativa credibile.



1.4 Evoluzioni

Internet ci insegna che unendo una moltitudine di elementi, ciascuno dei quali segue regole relativamente semplici di interazione con gli altri, si può creare un grande sistema capace di svolgere compiti come se fosse stato progettato nella sua interezza, e questo in un certo senso è il principio grazie al quale funziona anche la macchina dei trasporti.

Una differenza tra internet e il sistema dei trasporti è che Internet è stato percepito sin da subito come un sistema globale, tant'è vero che la parola stessa "Internet", si riferisce all'intero sistema senza distinzione di cavi, hub, server e di tutto ciò che serve per farlo funzionare; ai suoi utenti non importa nulla del mezzo attraverso cui viaggiano i loro pacchetti di informazioni.

Non è certo frequente sentire qualcuno dire: "non so se la mia mail seguirà il fascio di fibre ottiche di viale Europa oppure il server lo indirizzerà per la linea telefonica tradizionale che passa da p.ta Venezia"... l'importante è che la mail arrivi a destinazione.

Il concetto è molto semplice, l'utente determina la destinazione del messaggio, il sistema deve essere in grado di farlo arrivare a destinazione senza ulteriori interventi da parte

Fig. 1.7 Istantanea dell'attività di internet.

dell'utente.

È curioso come anche riguardo alla metropolitana sia molto più presente questa visione sistemica, infatti il nome “metropolitana” viene usato per indicare sia i binari, che la galleria, che il treno, quindi tutto il necessario a spostare persone in questo modo.

Chissà quindi se un giorno, quando quest'immensa macchina potrebbe avere anche la capacità di “pensare” come internet, non ci si possa spostare senza doversi preoccupare del come, ma soprattutto chissà se riusciremo a utilizzare il tempo dei viaggi davvero per noi, e non per aiutare le macchine che abbiamo creato.

Nel sistema dei trasporti attuale invece la situazione è paradossalmente enormemente più complessa, infatti è l'utente che compie il viaggio, mentre il sistema gli fornisce i mezzi per compierlo... o almeno questo è il punto di vista



da cui solitamente si guarda la questione.

Guardandola da un'altro punto di vista possiamo dire che l'utente conosce la sua destinazione e il sistema dice all'utente di volta in volta cosa fare, a seconda della sua destinazione con un sistema informativo a volte molto rudimentale, a volte più avanzato.

Un esempio di sistema informativo molto rudimentale sono le indicazioni stradali, l'utente conosce la sua destinazione e guarda le indicazioni, in base ad esse imbrocca una delle vie di un incrocio.

Chi ha deciso la direzione da prendere? L'utente? Per rispondere proviamo a immaginare che qualche burlone si sia preso la briga di sabotare il sistema invertendo le indicazioni; a meno che l'utente non conosca già la strada avendola già percorsa o non disponga di un navigatore satellitare (sistema informativo avanzato), sbaglierà strada, ciò avviene in particolar modo nei livelli di rete più alti, dove esigenze di ottimizzazione del sistema possono richiedere all'utente di compiere percorsi e azioni molto diverse da quelle che un qualsiasi utente compirebbe in assenza di indicazioni particolari.

Quindi la decisione del percorso la compie il sistema, l'utente in questa situazione diventa una sorta di variabile contenente la sua destinazione.

Ma la faccenda si complica ulteriormente se

Fig 1.18 L'interfaccia di un navigatore satellitare, un sistema in grado di calcolare il percorso ottimale per raggiungere la destinazione in base alla posizione del veicolo.

consideriamo viaggi su più livelli di rete e magari che prevedono l'utilizzo di più mezzi di trasporto. Al momento viaggi complessi non possono essere confezionati dal sistema, ma richiedono un forte intervento attivo dell'utente che partendo da Barberino del Mugello non cercherà le indicazioni per New York, ma dovrà sapere verso quale aeroporto dirigersi e vicino a quale città questo si trovi.

Non è che in questo caso l'utente abbia più controllo sul viaggio, anzi l'orario del viaggio è per esempio determinato dall'orario di partenza dell'aereo che deve prendere, così come il percorso sarà tutt'altro che rettilineo proprio a causa della morfologia del sistema e in particolare dal posizionamento degli estremi delle rotte aeree che possono interessare il nostro ipotetico utente.

Semplicemente in questo caso, come nella maggior parte dei casi, il sistema funziona male, chiedendo all'utente di seguire le sue regole, ma non sapendo assumere il ruolo di convertire quelle regole in istruzioni specifiche di viaggio (gira a sinistra, recati al binario numero due ecc...).

Se aggiungiamo a questo problema la ancora insufficiente integrazione tra i sottosistemi che compongono il sistema dei trasporti abbiamo il quadro sintetico delle limitazioni della realtà attuale, quindi anche una prospettiva di ciò che potrebbe essere un futuro migliore, ovvero una realtà in cui l'utente non si occupa di guidare,

guardare cartelli, cercare orari, binari check in ecc..., ma solo di determinare la sua destinazione, mentre sarà il sistema a determinare il suo viaggio affidandone le diverse tratte ai suoi sottosistemi in modo da ottimizzare costi, tempi di percorrenza, distribuzione del traffico sui canali e nel tempo, e magari di modificare infrastrutture logiche fisse (per esempio gli orari dei treni) in base alle esigenze degli utenti che stanno per utilizzarli.

2 Il sistema stradale



Il più diffuso, il più ingombrante, capillare, usato, antico, critico, discusso sistema di trasporto non può che ricevere la nostra attenzione in questa sede.

Scopriremo da dove derivano i suoi principali limiti e cercheremo di capire se questi limiti sono superabili.

2.1 Logistica di una strada

2.2 L'auto

2.3 Strade e petrolio

2.4 Petrolio e inquinamento

2.5 Sistema stradale e utenti

2.6 Conclusioni

Oggi l'idea di una casa non raggiunta da una strada percorribile con un'automobile rappresenta qualcosa di esotico o per lo meno molto inconsueto, questo fattore è addirittura arrivato a rappresentare in qualche modo il fattore discriminante tra i luoghi "civilizzati" e non.

Non ho mai sentito di qualcuno che ha una fermata della metropolitana sotto alla cantina, mentre quasi la totalità delle abitazioni è ben allacciata al sistema stradale attraverso un passo carraio, anzi addirittura di solito il sistema stradale entra all'interno delle abitazioni private sino a fondersi con esse nei garage.

Realizzare una strada costa poco perché la maggior parte dei costi gravano sul mezzo e non



sull'infrastruttura, quindi il sistema stradale è l'unico che riesce ad essere capillare e servire la maggior parte di uffici, abitazioni, aziende e punti di interesse.

L'importanza della capillarità di una rete di trasporti è ovviamente fondamentale, nella grande maggioranza dei casi il sistema stradale è l'unico ad essere facilmente raggiungibile, qualsiasi altra modalità di viaggio può quindi essere, all'interno di un viaggio tipo, predominante, ma non unica, perché deve essere usata in combinazione con il viaggio su strada.

Cambiare mezzo durante il viaggio è sempre un costo in termini di tempo, comodità e spesso anche economici, quindi il sistema stradale tende a essere il più appetibile, in molti casi, per tutta la durata del viaggio.

Forse proprio perché così appetibile però il sistema soffre molto l'affollamento della crescente domanda di mobilità.

Gli ingorghi e i rallentamenti provocati dal traffico sono il problema più sentito dall'utenza, cominceremo quindi ad analizzare i meccanismi e i fenomeni che caratterizzano gli aspetti logistici del sistema stradale e che ne determinano un'efficienza in termini di persone/ora trasportate in relazione all'importanza dell'infrastruttura così limitata.

Fig. 2.1 Traffico congestionato in un contesto urbano.



2.1 Logistica di una strada

Cominciamo la trattazione parlando di uno dei punti più critici del sistema stradale, ovvero la logistica, dove con logistica intendiamo la capacità del sistema di muovere, disporre, stoccare veicoli in modo tale da ottimizzare la propria efficienza.

Mentre viaggiamo in auto difficilmente ci accorgiamo delle dinamiche che coinvolgono il flusso di veicoli in una strada, quello di cui ci accorgiamo è che a volte il sistema non è in grado di farci viaggiare alla velocità desiderata, perché è sovraccarico.

Quando osserviamo una strada molto trafficata questa ci sembra estremamente saturata di veicoli, eppure se provassimo a rimuovere tutti i veicoli, lasciando solo le persone ospitate al loro interno, la stessa strada ci sembrerebbe praticamente

Fig. 2.2 Simulazione del traffico veicolare sulla rete stradale nel nord Italia

deserta.

Il sistema stradale ha quindi un'efficienza molto bassa, se con efficienza intendiamo la sua capacità di muovere persone, che è poi il fine ultimo dell'intero sistema, persone e non veicoli.

Il problema principale del sistema stradale è la parcellizzazione estrema dei veicoli, si arriva ad avere quasi un veicolo in movimento per ogni persona trasportata², specialmente negli orari della giornata in cui il sistema è più saturo.

Ma perché il numero di veicoli è un fattore di inefficienza del sistema? E cosa intendiamo con veicolo?

I veicoli sono elementi che si muovono a velocità e in direzioni sensibilmente diverse l'uno dall'altro.

A causa delle differenze di velocità e direzione di spostamento tali elementi non possono toccarsi, in quanto ad un contatto corrisponde quasi sempre una accelerazione tale da danneggiare seriamente sia i veicoli stessi, che i passeggeri in essi ospitati. Non potendosi toccare i veicoli devono mantenersi ad una certa distanza, detta di sicurezza, in modo tale da poter reagire ad un improvviso cambio di traiettoria o velocità di altri veicoli in movimento.

Ecco quindi che **ogni veicolo occupa due spazi, uno reale rappresentato dal veicolo stesso e uno virtuale, rappresentato dallo spazio**

² Fattore di occupazione delle auto è variabile tra 1 e 2 persone per veicolo, fonte "External Effects of Transports" (INFRAS/IWW 1995)

³ Vedi approfondimento sulla portata di una strada, cap.3.2

intorno ad esso all'interno del quale non possono passare altri veicoli.

Lo spazio virtualmente occupato da ogni veicolo aumenta più che proporzionalmente all'aumentare della velocità a cui si muovono i veicoli stessi, ciò implica che una strada raggiunge la sua portata massima ad una certa velocità media di deflusso, al di sopra di essa, ma anche al di sotto, la portata massima diminuisce³.

Ora è facile immaginare cosa succede se a causa del forte traffico la velocità media di deflusso scende sotto a quella che massimizza la portata oraria della strada, semplicemente il traffico si congestionava e rimane bloccato anche una volta superato il momento più critico, coinvolgendo le vie limitrofe e creando un effetto a catena.

Approfondiremo meglio in seguito la questio-



Fig. 2.3 Pullman bloccati nel traffico veicolare, i mezzi privati ostacolano i mezzi pubblici rendendone l'uso sconveniente in termini di tempi di percorrenza.

ne, per il momento è importante capire che è il numero dei veicoli, e non tanto la loro dimensione, il fattore critico del sistema stradale.

Potremmo anche continuare a sperperare 4 posti-auto su 5, come avviene solitamente oggi, se i veicoli in movimento avessero 20, 30 posti, come succede per esempio negli autobus.

Purtroppo laddove il concetto di accorpare i veicoli si traduce nell'invito a prendere un autobus è ormai chiaro che i passeggeri continuano, se possibile, a usare l'automobile, anche perché chi risparmia spazio come gli autobus, aiutando il sistema e liberando spazio per gli altri, non è per lo più ricompensato dal sistema in termini di tempi di percorrenza, anzi in realtà ne è penalizzato.

C'è anche da dire che l'autobus è un modo piuttosto grezzo e inefficace di aggregazione dei

veicoli perché poco flessibile, tante volte viaggia quasi completamente vuoto e quindi arriva ad essere poco meglio delle automobili dal punto vista logistico, o addirittura peggio se consideriamo che le caratteristiche di questi mezzi non gli consentono di muoversi velocemente, in particolare in fase di accelerazione e che sono costretti a fermarsi ripetutamente durante il percorso per consentire agli utenti di scendere e salire dal mezzo.

Le distanze di sicurezza non sono comunque fisse e immutabili, ma al contrario dipendono da tre fattori su cui si può intervenire:

- Riflessi umani.
- Scarsa comunicazione tra i veicoli (frece e stopper spesso inaffidabili)
- Mancata standardizzazione di velocità, de-

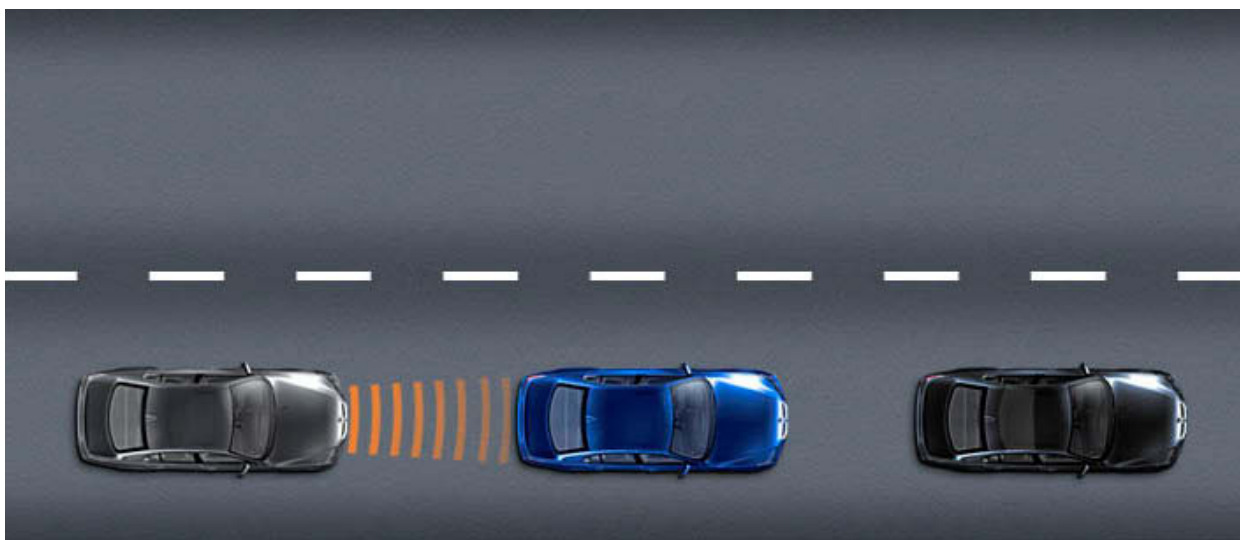


Fig. 2.4 Illustrazione di un sistema di misurazione radar per il controllo della distanza di sicurezza del veicolo che precede.

celerazioni e procedure di guida su cui grava costantemente l'imprevedibilità e l'imprecisione umane

In questo senso si potrebbe migliorare parecchio la situazione, magari aumentando anche la sicurezza di tutti, se si introducessero sistemi automatici di frenata che riducano i tempi di risposta umani che, per quanto riguarda la guida, si considerano di norma intorno al secondo, un'enormità per un sistema elettronico.

Tempi di risposta più brevi, distanze di sicurezza minori (a parità di sicurezza del conducente e di velocità di deflusso), quindi flussi di traffico maggiori sulla stessa strada.

Merita una spiegazione anche il punto tre, chi volesse approfondire quantitativamente il discorso dei rapporti che intercorrono tra velocità, distanze tra i veicoli e flussi di traffico massimi scoprirà come sia presente, nella determinazione della distanza di sicurezza da tenere, una componente quadratica.

Questa componente deriva principalmente da fattori di imprevedibilità del comportamento degli altri veicoli.

Tali veicoli potrebbero, per esempio, frenare più di quanto il nostro stesso veicolo sia in grado di fare, per esempio perché monta gomme più adatte al terreno su cui si sta muovendo; in questo caso una distanza di sicurezza stabilita

tenendo conto solamente del tempo di reazione del conducente moltiplicata per la velocità del veicolo non sarebbe sufficiente.

Protocolli di comportamento che, in caso di frenata, coinvolgano anche i veicoli che seguono in modo automatico (quindi molto veloce), potrebbero diminuire sensibilmente la componente quadratica e quindi le distanze di sicurezza mantenibili ad alte velocità.

2.1.1 Approfondimento sulla portata di una strada

Abbiamo visto che diminuire il numero dei veicoli, anche se mantenendo lo spazio dedicato ad ogni passeggero, può migliorare notevolmente l'efficienza del sistema, **in queste righe cercheremo di sfruttare un semplice modello di calcolo per stimare il flusso di persone massimo possibile in una strada in situazioni anche diverse da quella attuale.**

In una condizione di traffico intenso (che è poi quella che ci interessa maggiormente perché problematica), i veicoli tendono a tenersi il più vicino possibile al veicolo che li precede senza tuttavia rischiare di tamponarlo in caso questi de-

cida di frenare improvvisamente, tenendo quindi da questi una distanza minima detta “distanza di sicurezza”.

Nella realtà un automobilista valuta la distanza da tenere “ad occhio”, nella grande maggioranza dei casi non ha strumenti a bordo in grado di valutare quantitativamente la distanza del veicolo che lo precede e la velocità dei due veicoli.

La mente umana però, grazie all'apprendimento e all'esperienza, riesce a far cambiare la percezione della distanza in funzione della velocità, infatti ad alte velocità le cose sembrano più vicine perché il campo di visuale su cui è concentrata l'attenzione è più ristretto.

Il codice della strada ci indica di tenere una distanza dal veicolo che precede tale da consentire al guidatore che segue di evitare in ogni caso lo scontro.

Questa affermazione è, come accade spesso nel codice della strada, un po' generica e da interpretare, ciò che è chiaro è che l'intento sia quello di adoperare la massima prudenza.

Potremmo dunque interpretare la distanza da tenere dal veicolo che precede pari allo spazio di arresto del veicolo che segue, così facendo copriremmo anche casistiche relativamente rare come la perdita di carico del veicolo che precede o la comparsa di un ostacolo che il veicolo che precede evita ma che il veicolo che segue, per qualche

motivo, non è in grado di evitare.

Tale distanza dipende principalmente da 2 fattori:

- Il tempo di reazione del guidatore (circa 1 secondo).
- La capacità di decelerazione dell'auto (intorno ai $9,5 \text{ m/s}^2$)

Il tempo di reazione del guidatore determina lo spazio percorso dal veicolo prima di iniziare la frenata, che possiamo calcolare semplicemente moltiplicandolo per la velocità.

$$S = v \cdot t$$

A cui dobbiamo però sommare la lunghezza dei veicoli che, ovviamente, rimane costante al variare della velocità.

$$S = v \cdot t + l$$

A questo punto abbiamo la distanza da tenere tra due veicoli nel caso il veicolo che precede freni improvvisamente con la stessa decelerazione del veicolo che segue.

Tuttavia abbiamo visto che ci viene richiesto di arrestare completamente il veicolo nello spazio lasciato tra i due, quindi come se il veicolo che precede si arrestasse improvvisamente, con una decelerazione infinita, o come se comparisse un

muro subito dietro al veicolo che precede.

Bisogna considerare che nella realtà raramente gli automobilisti considerano questa eventualità, di norma un caso simile comporterebbe un tamponamento.

In ogni caso considerando il codice della strada dobbiamo sommare quanto visto lo spazio di frenata

$$s = \frac{1}{2}v \cdot \frac{v}{a}$$

ottenuto ipotizzando una decelerazione costante durante la frenata.

Ora sostituendo i valori tipici di 1s e di m/s²

e la lunghezza dell'auto che fissiamo a 4m otteniamo:

$$s = 0,052v^2 + v + 4$$

Dove lo spazio è in metri e la velocità in m/s.

Tuttavia ci aspettiamo che nella realtà la costante che moltiplica sia minore, in quanto il comportamento degli automobilisti non rispetta questa regola. Ciò sarà confermato dai dati sperimentali rilevati sui flussi.

Ora che conosciamo la relazione che intercorre tra la distanza tra i veicoli e la loro velocità possiamo facilmente determinare anche la relazione tra velocità dei veicoli e numero massimo di veicoli in grado di percorrere una strada.

Se vogliamo trarre conclusioni sensate sull'effi-

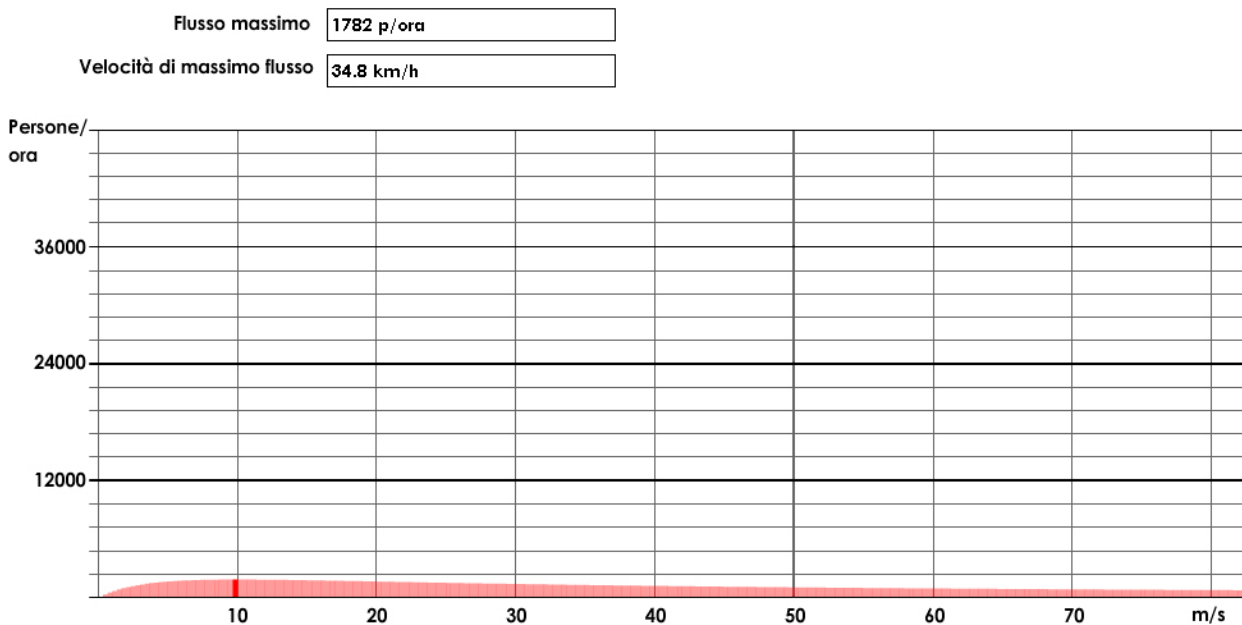


Fig. 2.5 Rappresentazione della funzione tra velocità e flusso veicolare possibile per ogni corsia, valori stabiliti ipotizzando il pieno rispetto del codice della strada.

cienza del sistema dobbiamo però mirare a quantificare il numero di persone trasportate, e non il numero di veicoli, in accordo con l'impostazione di questa analisi.

Ecco quindi che per passare dal numero di veicoli al numero di persone dobbiamo fare affidamento su fattore di occupazione medio dei veicoli, che statisticamente è compreso tra 1 e 2 a seconda dell'orario e della tratta in questione.

Un semplice programma sviluppato appositamente ci permette di velocizzare i conti e verificare la correttezza del modello elaborato.

Riportiamo in fig. 2.5 un primo risultato, cerchiamo di capirne il significato.

In ascissa troviamo il flusso massimo teorico in persone/ora, che possiamo considerare come un buon indice di efficienza della strada (una corsia per senso di marcia).

Nelle ordinate troviamo invece la velocità dei veicoli in m/s.

Di norma tali valori sono invertiti, tuttavia nel nostro caso un approccio meno sperimentale e più orientato verso la possibilità di prevedere il comportamento del sistema in realtà fortemente diverse da quella attuale, ci ha reso più comodo e chiaro invertire i due valori, ottenendo tra l'altro una funzione, cosa che invece non succede nell'impostazione tradizionale del grafico, dove ad un valore di flusso corrispondono più velocità.

Analizziamo ora la curva risultante dal modello sviluppato:

Per prima cosa osserviamo che a velocità zero, il flusso di veicoli è anch'esso pari a zero, il che è senz'altro un dato ragionevole.

Il flusso poi comincia a salire all'aumentare della velocità, ma ovviamente non sale in modo lineare, anzi ad un certo punto smette di salire toccando il proprio massimo e comincia a scendere.

Questa significa che esiste una velocità ideale che permette di ottimizzare il flusso di una strada, tale velocità secondo il più accreditato testo di analisi sperimentale dei flussi stradali è di circa 48km/h³.

Tale fenomeno dipende dal fatto che la distanza di sicurezza oltre ai 50km/h aumenta più velocemente della velocità stessa, i veicoli cominciano a essere talmente distanziati che, seppure molto veloci, non riescono a passare temporalmente vicini uno all'altro.

Ora notiamo che i risultati del nostro modello ci forniscono una velocità ottimale minore, ciò dipende dalle regole imposte dal codice della strada più rigide di quelle realmente seguite dagli automobilisti nella guida reale.

D'altronde questo dato ci può essere molto utile in quanto lo possiamo usare per rendere più realistico il fattore quadratico usato nel modello, che è l'unico, insieme alla lunghezza dei veicoli,

3 Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2000

a influire sulla velocità di massimizzazione del flusso massimo possibile teorico.

Infatti lo stesso programma con un fattore quadratico di 0,28, anziché 0,52, porta a risultati del tutto aderente ai dati sperimentali di cui disponiamo, eccoli riportati in fig. 2.6.

Ecco che usando questo valore non solo la velocità di massimo flusso è quella riportata dall'HCM, ma anche il flusso massimo (in questa elaborazione il fattore di occupazione è stato posto ad 1, quindi persone/ora e veicoli/ora coincidono) sono estremamente vicini a quelli riscontrati sperimentalmente (l'HCM riporta proprio 2000 veicoli/ora per corsia)

Possiamo quindi ritenere questo valore affidabile come aderenza alla realtà, anche se in futuro

sarà certamente necessario aumentare il livello di sicurezza e questo fattore è sicuramente uno dei parametri su cui è possibile agire.

Laddove siano necessari flussi maggiori la tattica attualmente diffusa è quella della creazione di più corsie stradali, soluzione che permette per altro anche la distribuzione dei mezzi in base alla velocità di crociera.

Ovviamente non è possibile aumentare all'infinito il numero di corsie, oltre a problemi di costi (aggiungere una corsia ad un'autostrada costa circa 15 milioni di euro a km)⁴ e manutenzione, la gestione individuale di ogni veicolo in strade a più corsie diventa più complessa e quindi più pericolosa o meno efficiente.

Sarebbe quindi interessante provare a cambiare

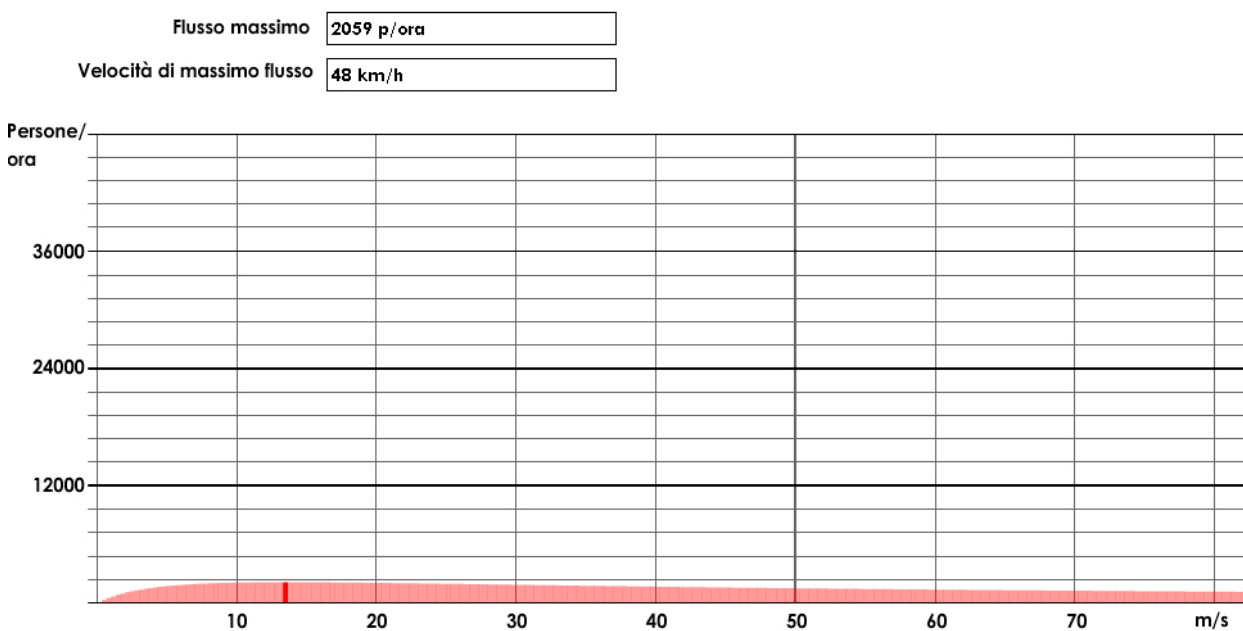


Fig. 2.6 Rappresentazione della funzione tra velocità e flusso veicolare possibile per ogni corsia, valori aderenti al reale comportamento tipico degli automobilisti.

i valori usati in precedenza per capire che margini di miglioramento ci sono, in modo da trovare alternative di “upgrade” del sistema diverse dalla moltiplicazione di corsie.

Proviamo per esempio (fig.2.7) ad abbassare drasticamente i tempi di reazione dell’automobilista, l’introduzione di sistemi di frenata automatici, già alle porte, lo permetterebbe sicuramente eliminando anche una buona parte di errori umani oggi responsabili della maggior parte degli incidenti⁵.

Abbassando i tempi di reazione da 1sec a 0,1sec, con conseguente riduzione delle distanze di sicurezza, otterremmo un flusso massimo più che doppio.

Considerando un fattore di occupazione di 2 si potrebbe raggiungere un flusso massimo di 8500 persone/ora, 4250 veicoli/ora, contro i 2200 che sono ora in gradi di transitare su una corsia.

Il che vuol dire poter realizzare autostrade di 2 corsie anziché 4 semplicemente migliorando l’efficienza dei veicoli, risparmiando circa 20 milioni di euro per km di autostrada realizzato.

Ma ancora più interessanti sono i risultati dei calcoli realizzati ipotizzando un numero molto maggiore di persone per veicolo ciò porta ad avere un numero altrettanto maggiore di persone trasportate per ogni distanza di sicurezza virtualmente occupata.

Ipotizzando, per esempio, veicoli lunghi 15m

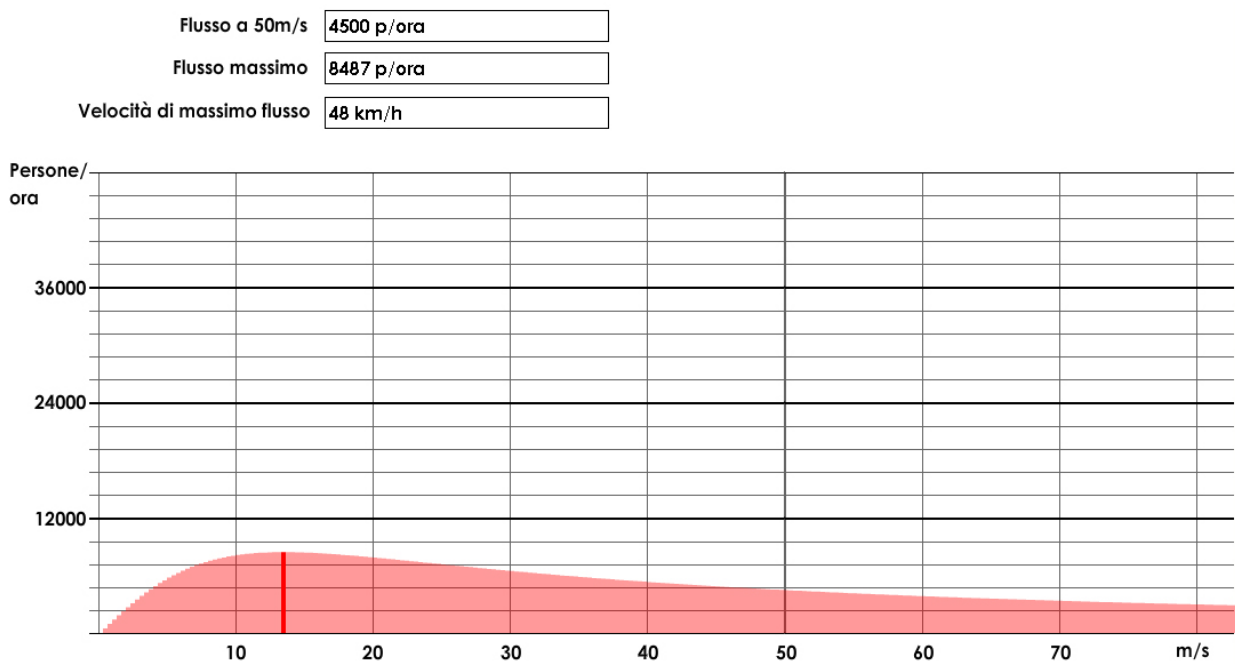


Fig. 2.7 Rappresentazione della funzione tra velocità e flusso veicolare possibile per ogni corsia, valori ottenuti ipotizzando la riduzione dei tempi di reazione mediante l’introduzione di sistemi di frenata automatici.

⁵ Steven Ashlei, Verso l’auto a rischio zero, LE SCIENZE, marzo 2009

che trasportino 20 persone l'uno (e tempi di reazione normali) si potrebbe ottenere un flusso di 30 000 persone/ora, quasi dieci volte di più di quello attualmente raggiunto. (fig. 2.8)

Inoltre la velocità di flusso massimo si sposta dai 48 agli 86 km/h, il che vuol dire che anche nei momenti di utilizzo del sistema vicino alla capienza massima i tempi di percorrenza sarebbero dimezzati rispetto a quelli attuali, riducendo fortemente il danno arrecato ai viaggiatori dal traffico e dal conseguente abbassamento del livello di servizio.

La chiave per risolvere tutti i problemi di traffico potrebbe quindi essere quella di accorpare i mezzi in movimento nei momenti di traffico.

Se tali mezzi fossero guidati automaticamente i tempi di reazione sarebbero irrilevanti, anche grazie alle tecnologie di comunicazione tra veicoli e con le infrastrutture che sono attualmente in fase di sviluppo, quindi sarebbe possibile e auspicabile mantenere distanze di sicurezza uguali o maggiori a quelle previste dal codice della strada, adeguandole ovviamente ai tempi di risposta enormemente minori.

Un tale sistema sarebbe decisamente più sicuro di quello attuale (consentendo l'arresto totale del mezzo entro la distanza che separa i mezzi stessi) ed anche enormemente più efficiente (circa 40000 persone/ora di flusso massimo su una sola corsia).

Flusso a 50m/s	26470.5882352941 p/ora
Flusso massimo	30787 p/ora
Velocità di massimo flusso	86.4 km/h

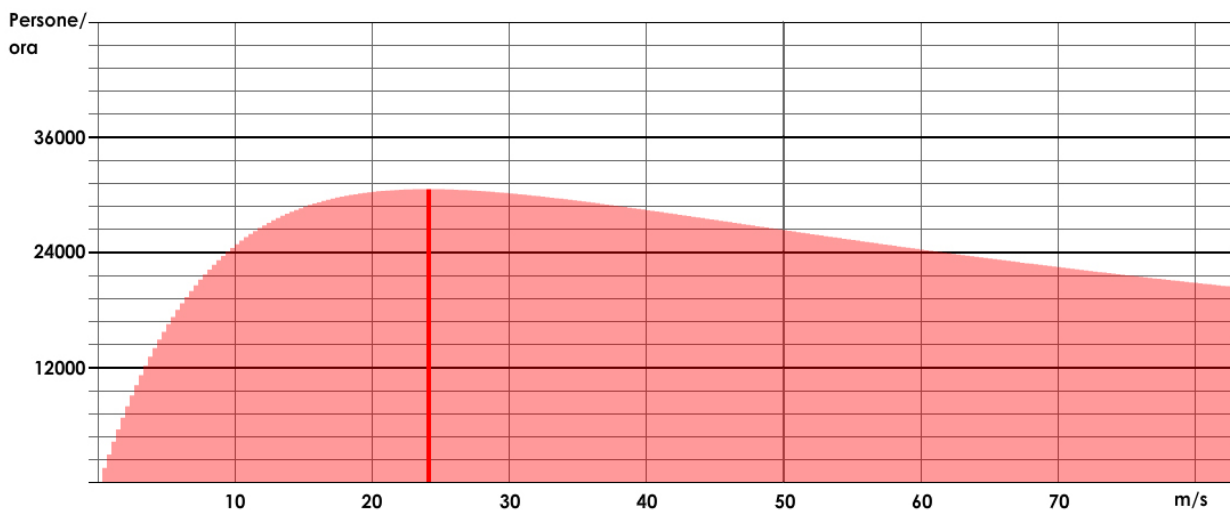


Fig. 2.8 Rappresentazione della funzione tra velocità e flusso veicolare possibile per ogni corsia, valori ottenuti ipotizzando l'uso di moduli aggregabili in treni di 10 moduli.

Abbiamo dimostrato che il sistema stradale è inefficiente dal punto di vista logistico e che viaggiando in molti sullo stesso mezzo diventerebbe efficiente, ma sappiamo tutti che allo stato attuale delle cose la forza commerciale del sistema stradale è proprio quella di disporre di un mezzo privato e di uno spazio personale durante il viaggio, quindi parrebbe non esserci via di uscita.

Scopriremo invece più avanti, all'interno del capitolo che ipotizza cambiamenti ed evoluzioni in futuro nel sistema dei trasporti che invece una via di uscita c'è, che è già stata sperimentata una tecnologia che consente l'aggregazione di veicoli durante la marcia ottenendo quindi facilmente situazioni come quella da noi simulata.

Aggregare veicoli durante la marcia corrisponde, dal punto di vista del calcolo della capienza massima, ad avere un veicolo solo ospitante un maggior numero di persone, proprio come abbiamo ipotizzato nell'ultima simulazione effettuata; quella simulazione ci fa capire che con gruppi di anche solo una decina di veicoli accorpati potremmo ottenere flussi massimi teorici dieci volte superiori a quelli attuali.

Realizzare sistemi di questo tipo vorrebbe quindi dire non aver più alcun problema di traffico sulle arterie principali della rete stradale, ottenendo flussi sino a 10 volte maggiori di quelli attuali senza incrementare ulteriormente le infrastrutture stradali.

2.2 L'auto

L'auto è il componente base del sistema stradale e contribuisce fortemente a determinarne l'efficacia. Essendo stata sottoposta a decenni di evoluzione e all'attenzione di alcune delle menti più brillanti del design mondiale ci si aspetterebbe un oggetto insuperabile in termini di elasticità e usabilità.

Eppure, se dal punto di vista prestazionale delle singole caratteristiche e componenti c'è stata un'innovazione importante e continua, l'archetipo dell'auto è rimasto sostanzialmente immutato. Dal momento che il sistema stradale è vicino al collasso riteniamo che questo archetipo vada profondamente rivisto, ma poiché, come accade in questi casi, siamo talmente abituati ai difetti di un'auto che spesso nemmeno li notiamo, abbiamo in questa sede ritenuto opportuno fare un confronto provocatorio tra il livello di funzionalità di un'auto e quello di un altro oggetto di uso comune, nel caso specifico una forchetta.

Se le forchette fossero come le automobili avrebbero 5 manici e 20 denti, divisi a gruppi di 4, in modo tale da poter essere usate contemporaneamente da 5 persone, eventualità che però accade piuttosto di rado.

Sarebbero talmente difficili e pericolose da usa-



re che occorrerebbe un addestramento speciale per usarle, sarebbe vietato mangiare troppo velocemente perché troppo pericoloso, in ogni caso bisognerebbe infilzare il cibo facendo la massima attenzione.

In una normale cena in famiglia, sul tavolo potremmo trovare 3 forchette, ciascuna a 5 manici, per un totale di 15 manici, in presenza di 4 persone.

Nel cassetto le forchette andrebbero riposte ad una certa distanza le une dalle altre, senza poterle impilare, con tutta probabilità quella del padre entrerebbe a stento nel cassetto della cucina, mentre quella più piccola delle tre dovrebbe per forza rimanere sul tavolo giorno e notte.

Esisterebbero forchette a 2 manici e centinaia di

denti studiate per mangiare molto velocemente, tuttavia mangiare molto velocemente sarebbe vietato perché molto pericoloso.

Ora è chiaro che una forchetta simile non la vorrebbe proprio nessuno, mangiare in questo modo sarebbe considerato assurdo, quasi impossibile.

E allora non prendiamoci in giro, quando ci vendono un'auto, invece di farci abbindolare dalle forme filanti e alla moda e incantarci con le soluzioni tecnologiche derivate direttamente dalla tecnologia aerospaziale saturniana, dovremmo essere sinceri con noi stessi e dirci chiaramente che l'auto è un prodotto ancora primitivo e scarsamente funzionale, ben lontano dal raggiungere

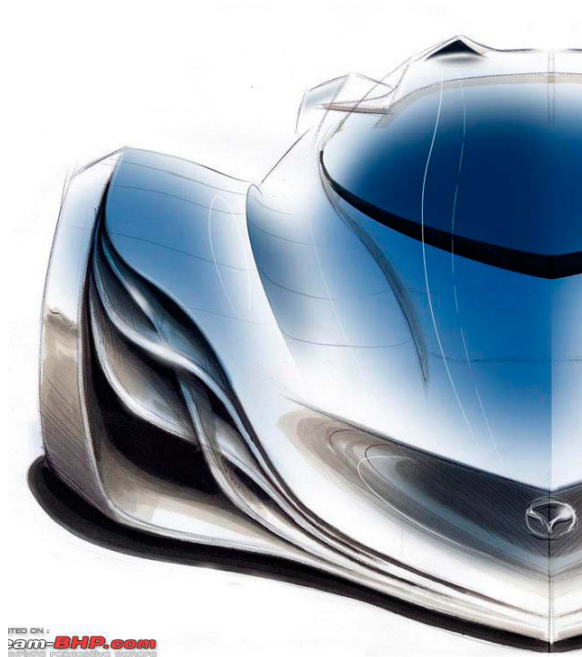


Fig. 2.9 Rappresentazione provocatoria di una forchetta "efficiente" come un'auto.

2.10 Concept Mazda per lo styling di un'auto supersportiva.

la perfezione di una forchetta o di un paio di forbici, ma che rimane tuttavia al momento il meno peggio se vogliamo viaggiare con un mezzo privato.

La totale inadeguatezza del veicolo su cui si basa il sistema stradale ne compromette inevitabilmente l'efficienza, una famiglia di 5 persone può facilmente possedere tre auto per un totale di 15 posti auto disponibili 24 ore su 24, questo per compiere all'incirca 5 ore-persona di viaggio al giorno, se 15 per 24 fa 360, diviso 5 fa 72, quindi **possiamo affermare che un'auto è in media usata per un settantaduesimo del suo potenziale per quanto riguarda l'ingombro e un valore che si avvicina ad un quinto per quanto riguarda i consumi e di conseguenza anche le emissioni inquinanti.**

Tutte queste auto inutilizzate occupano spazio che viene sottratto allo spazio usato per creare vie di transito. Il problema dell'ingombro, c'è da dire, non è intrinseco dell'oggetto auto, ma deriva dal servizio accessorio, ovvero dal NON servizio accessorio.

Nei servizi di car-sharing infatti le auto vengono sfruttate per una percentuale molto superiore della vita utile, adesso il fenomeno è molto limitato, ma ha un potenziale enorme, proviamo a pensare a una città come Milano con un settantaduesimo delle auto parcheggiate, anzi meglio ancora, il settantaduesimo che rimane è quello in

circolazione, quelle parcheggiate sarebbero pochissime, diciamo un centesimo o anche meno.

Insomma si sacrifica la proprietà esclusiva e la scelta del mezzo, ma mantenendo la disponibilità di uno spazio individuale durante il viaggio con un potenziale risparmio notevole per la collettività.

Certo rimane il fatto che un'auto tipo dispone di cinque posti, mentre la maggior parte delle auto viene usata da persone che viaggiano da sole, questo significa trasportare inutilmente per il mondo quintali di materiale e metri cubi di spazio.



Fig. 2.11 Concept di citycar sviluppata appostamente per servizi di car-sharing

2.3 Strade e petrolio

Non è possibile prevedere come saranno le automobili nel prossimo futuro, quello che possiamo prevedere con ragionevole sicurezza è che saranno diverse da come sono ora, ma soprattutto che non trarranno più energia dalla combustione di derivati del petrolio.

Infatti è ormai noto a tutti che la materia prima che bruciamo nei motori delle nostre auto si sta consumando ad una velocità incredibilmente superiore a quella con cui si rigenera. Ma quel che è peggio è che pare che ne esista piuttosto

poco, molto poco se nel mondo si continuerà ad usarne sempre di più come sta avvenendo ora, anche le nuove scoperte di giacimenti pare siano assolutamente insufficienti a coprire a lungo un domanda di petrolio anche solo costante ai livelli attuali.

Il presidente degli USA Barak Obama ha recentemente dichiarato di voler ridurre i consumi delle auto usate dagli americani, il che dovrebbe avvenire tra l'altro, per quanto riguarda Chrysler, grazie a tecnologie Fiat; è senz'altro una bella rivincita del modo europeo, e italiano, di fare auto e forse di fare più in senso esteso progettazione e design, ma anche supponendo che effettivamente Obama riesca a convincere gli Americani

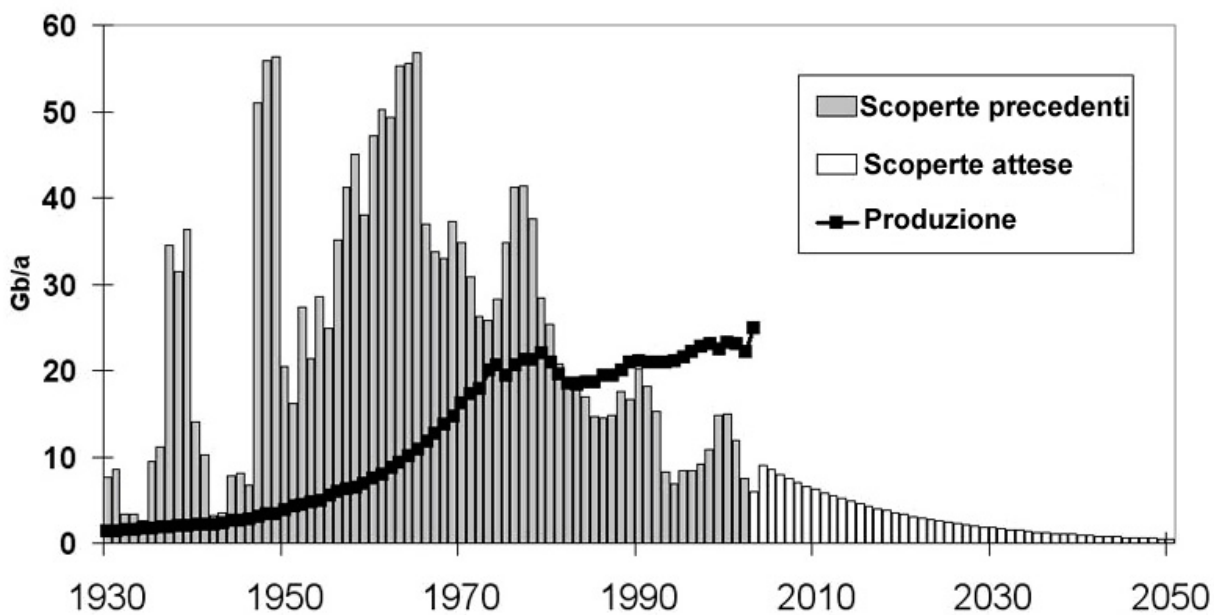


Fig. 2.12 Frequenza della scoperta di nuovi giacimenti petroliferi, in calo da tempo, confrontata con la produzione mondiale, in crescita.



a rinunciare ai loro pick-up e furgoni 4000cc a benzina, tale incredibile successo, insieme a tanti altri interventi simili in altri settori o paesi, potrebbe solo ritardare di qualche anno la fine del petrolio, almeno di quello facilmente estraibile, dopo di che si dovrà, ne più ne meno, passare ad un altro tipo di propulsione.

L'ipotesi di riuscire ad arrivare ad avere un consumo mondiale di derivati del petrolio pari alla produzione naturale di petrolio stesso è davvero remota, almeno sino a quando la maggior parte dell'energia usata nel mondo verrà prodotta bruciando petrolio.

Quindi nell'analizzare la situazione attuale e nell'individuare punti di possibile miglioramento, ma anche poi nel proporre soluzioni progettuali realmente innovative e lungimiranti, non si può non considerare un imminente stravolgimento dell'attuale stato delle cose.

Al momento il 96,6% dei trasporti dipende dalla combustione di petrolio, del quale assorbe il 62,8% della produzione, per un totale di una cinquantina di milioni di tonnellate all'anno⁶.

Giustamente le case automobilistiche stanno cercando di ridurre i consumi delle loro auto per cercare di migliorare la situazione, ma, soprattutto-

⁶ Nation Master Energy Statistics "<http://www.nationmaster.com>"

Fig. 2.13 Miniera di bitume a cielo aperto in Canada, ricavare petrolio in questo modo, oltre a causare la deforestazione di aree immense, provoca emissioni di CO₂ 4 volte superiori a quelle di petrolio estratto.

to, per conquistare mercato grazie all'aumento del prezzo del petrolio.

Le soluzioni già in commercio prevedono, oltre ad uno studio più attento del ciclo di combustione del motore, il recupero di energia in frenata e lo spegnimento del motore quando il veicolo è fermo.

A tali scopi si sono dimostrati efficaci veicoli ibridi dotati di motori elettrico e a benzina.

Il vantaggio di questo tipo di approccio è il maggior sfruttamento dell'energia prodotta dal motore a combustibile, la possibilità di attuare facilmente l'idling stop, il recupero di energia in frenata e l'uso per brevi periodi dei due motori in contemporanea, sommando in parte le potenze.

I risultati raggiunti sono buoni, ma non stravolgenti, il motore a scoppio rimane decisamente inefficiente.

Nello schema⁷ (fig. 2.14) possiamo vedere indicativamente dove finisce l'energia del combustibile consumato, ovviamente si tratta di valori approssimati che corrispondono in buona approssimazione a quelli di un'auto "normale".

Solo il 15% dell'energia consumata arriva alle ruote delle auto e viene dissipato attraverso le frenate, l'attrito delle ruote e l'attrito con l'aria, d'altronde è noto che il motore a scoppio abbia, per sua natura, un'efficienza piuttosto bassa.

Interessante notare che attraverso il recupero



dell'energia in frenata si può recuperare, teoricamente, il 6% dell'energia, mentre semplicemente spegnendo il motore quando non serve se ne può recuperare, sempre teoricamente, il 18%, che è la quota di energia solitamente persa per tenere il motore acceso in folle.

Se l'energia dissipata sino alle ruote dipende

Fig. 2.14 Schema rappresentativo delle dissipazioni dell'energia consumata da un'auto con motore a scoppio.

⁷ Ben Knight Più chilometri con un litro in *Le Scienze* Giugno 2010

dal funzionamento di motore e, più in generale, veicolo, le tre voci finali dipendono anche e soprattutto dalla strutturazione dell'intero sistema.

Agire su tutte e tre queste voci non cambierebbe i dati di questo schema, ma cambierebbe notevolmente la distanza percorsa dal veicolo con quel 15% di energia che arriva alle ruote, diminuendo quindi i consumi.

2.3.1 Attrito dell'aria

Essendo tutti immersi nell'atmosfera, costituita da una miscela di gas chiamati comunemente "aria", quando un qualsiasi oggetto si muove genera dei movimenti d'aria, spesso di carattere turbolento, che dissipano energia.

Questo tipo di attrito, definito viscoso,

aumenta all'aumentare della velocità, al contrario di quanto succede quando due oggetti sfregano uno contro l'altro.

La resistenza aerodinamica di un corpo è grossomodo approssimabile a:

$$D = C_d \frac{1}{2} \rho V^2 S$$

dove C_d è il coefficiente di penetrazione, che dipende dalla forma dell'oggetto, ρ è la densità del materiale in cui si muove l'oggetto, V è la sua velocità e S è la superficie resistente dell'oggetto.

Di questa formula ci interessa principalmente il fatto che la resistenza aerodinamica di un corpo dipende dal quadrato della velocità, e non semplicemente dalla velocità stessa, e che dipende dalla sua superficie resistente e non dal suo volume.

Ci dice quindi che aumentare la velocità di un corpo che non si muove nel vuoto costa sempre



Fig. 2.15 Studio in galleria del vento del comportamento aerodinamico di un'auto.

più energia in rapporto alla distanza percorsa, diventando sempre meno conveniente dal punto di vista energetico.

Ci dice anche che più un oggetto è grosso minore è il suo rapporto tra resistenza aerodinamica e massa, quindi più “conveniente” è il bilancio energetico.

Infatti aumentando le dimensioni di un corpo la massa aumenta al cubo, mentre la resistenza aerodinamica, che dipende dalla superficie resistente, aumenta solo al quadrato, e visto che per equilibrare la forza di attrito serve potenza, meno forza di attrito comporta meno potenza impiegata e quindi meno energia usata durante il tragitto.

In definitiva pochi grandi mezzi in movimento dissipano molta meno energia che tanti piccoli.

Se andiamo ora a pensare ad una strada è facile capire che i mezzi in movimento sono tanti e piccoli e le distanze tra i mezzi, necessarie per la

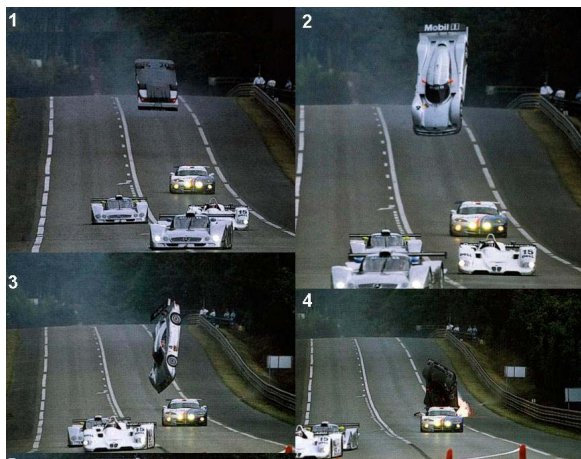


sicurezza dei viaggiatori, impediscono di sfruttare l'effetto scia del veicolo che precede (che potrebbe ridurre considerevolmente la resistenza aerodinamica di una normale auto), in pratica l'aria ha giusto il tempo di fermarsi per poi essere “rimascolata” bruscamente dal veicolo che segue, così facendo la dissipazione di energia è molto alta.

Se consideriamo che il fattore di occupazione delle auto varia solitamente tra 1 e 2 (persone per mezzo), possiamo concludere che la parcelizzazione dei mezzi per il trasporto di persone è quasi al massimo teorico possibile, visto che trasportare una persona sola con due mezzi risulta molto difficile, quindi il sistema è, aerodinamicamente parlando, estremamente inefficiente.

In uno studio⁸ i ricercatori della University of Southern California hanno misurato le forze che agiscono su due o più veicoli che viaggiano a distanza molto ravvicinata, prima simulandone il comportamento mediante l'uso di software appositi, poi usando fisicamente due auto connesse tra loro da un elemento in grado di misurare le forze che subisce.

Come era prevedibile il veicolo che segue gode di una resistenza aerodinamica minore, quello



⁸ Drag Forces Experienced by Two, Full-Scale Vehicles at Close Spacing, Patrick Hong, Bogdan Marcu, Fred Browand, Aaron Tucker, University of Southern California

Fig. 2.16 e 2.17 La scia generata dai veicoli può essere usata per ridurre l'attrito dell'aria, la tecnica è utilizzata nelle competizioni, ma alcuni scienziati ne hanno studiato l'efficacia su veicoli normali.

che non era così facile prevedere è che anche il veicolo che precede gode di tale vantaggio, anzi ad una certa distanza, corrispondente a poco più di un metro, la riduzione della resistenza aerodinamica dei due veicoli è uguale, quindi erogando la stessa potenza il giunto tra i due veicoli non subisce sollecitazioni.

Gli studiosi ritengono che con formazioni di 6 veicoli si possa arrivare a dimezzare la resistenza aerodinamica totale dei veicoli, risparmiando quindi il 50% dei consumi derivanti da quella componente, il che è importante in particolar modo quando si viaggia ad alte velocità.

2.3.2 Isteresi delle gomme e trasmissione

È la principale causa dell'attrito delle ruote sull'asfalto, mentre la ruota gira sull'asfalto la gomma e l'aria all'interno di essa subiscono compressioni e decompressioni continue, che generano calore dissipando energia.

Sono attualmente già in commercio gomme che, mantenendo prestazioni accettabili in termini di tenuta, consentono di limitare l'attrito di rotolamento delle gomme del 20%, consentendo in teoria un risparmio di carburante intorno al 4% nelle lunghe percorrenze.

Rispetto all'attrito di una ruota in acciaio su un binario c'è ancora una certa differenza, non solo, ma le caratteristiche intrinseche del sistema stradale, che impongono frenate e accelerazioni notevoli, anche per motivi di sicurezza, impedi-



Fig 2.18 Pirelli cinturato P7 è un pneumatico studiato per diminuire la resistenza al rotolamento riducendo i consumi.



scono con tutta probabilità di anche soltanto avvicinarsi a tali valori, almeno se non avverranno scoperte rivoluzionarie nel campo.

Volendo puntare a diminuire l'attrito delle gomme, per diminuire i consumi, bisognerebbe in ultima analisi modificare il sistema di regole e impianti stradali atti a impedire uno scontro tra veicoli, in modo tale da permettere tempi di frenata maggiori.

In ambito ferroviario per esempio, dove gli spazi di arresto sono lunghissimi, ogni treno è guidato da una rete che riceve informazioni sulla posizione di ogni altro treno, in modo tale che il conducente di un treno non abbia bisogno di vedere che il treno davanti ha rallentato per sapere

che deve rallentare.

Nel sistema stradale invece, che si basa sulla vista e sui tempi di reazione umani, sono necessari spazi di arresto molto ristretti, quindi sono necessarie le gomme che hanno un coefficiente

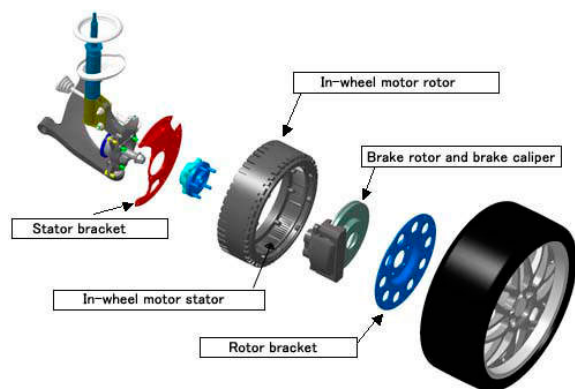


Fig 2.19 (in alto) Venturi Volage è una vettura sportiva alimentata da quattro motori elettrici integrati nelle ruote.

Fig 2.20 (in basso) Esploso di una ruota con motore elettrico integrato.



di attrito con l'asfalto molto alto, quindi molto attrito, quindi consumi energetici elevati.

Ma l'isteresi delle gomme non è l'unica fonte di attrito al di fuori del motore, le auto oggi in circolazione sono dotate di una trasmissione che trasmette il moto a due o a tutte e quattro le ruote dell'auto.

Nel caso di trazione integrale con trasmissione meccanica le dispersioni di energia sono molto alte, ma anche le due ruote motrici non ne sono immuni.

Di recente sono stati sviluppate ruote motorizzate elettriche in grado di eliminare completamente questo problema, le prime concept-car che impiegano questa tecnologia sono già state presentate alle mostre di settore.

2.3.3 Frenate

Durante una frenata un'auto trasforma la propria energia cinetica in calore, calore che viene dissipato poi dall'impianto frenante principalmente attraverso la ventilazione dei dischi dei freni; l'energia prodotta bruciando petrolio viene così dispersa e non può più essere recuperata dal veicolo.

Gli attuali sistemi di frenata sono in realtà decisamente rozzi dal punto di vista energetico, anche se certamente funzionali nel senso che con poco peso compiono il lavoro essenziale, ovvero fermare il mezzo.

Una volta fermato il mezzo il motore avrà il compito di rimetterlo in movimento, trasformando l'energia del carburante in energia cinetica, pronta per essere nuovamente dissipata.

Se invece di frenare l'auto imboccasse una strada in salita, l'energia cinetica dell'auto, al posto di convertirsi e disperdersi in calore, si trasformerebbe in energia potenziale, che potrebbe poi a sua volta essere trasformata in energia cinetica attraverso una discesa.

Sarebbe difficile riempire ogni città di continue salite e discese, tuttavia sono di recente diffusione impianti frenanti in grado di riconvertire una

Fig. 2.21 Un freno tradizionale.



parte dell'energia cinetica dell'auto.

Addirittura nella formula1 è stato da poco introdotto, o meglio concesso dal regolamento, un sistema chiamato Kers, in grado di mettere in rotazione un volano attraverso un rapporto a variazione continua.

In questo caso l'energia cinetica rimane energia cinetica anche dopo la frenata, ma può essere riutilizzata per avere più spinta durante l'accelerazione dopo la frenata.

La Parker Hannifin Corp. ha sviluppato un sistema idraulico pensato per i mezzi pesanti che devono compiere continue frenate, come autobus o camion per lo smaltimento dei rifiuti, in grado, secondo loro, di recuperare l'83% dell'energia durante la frenata accumulandola attraverso la pressurizzazione dell'olio, che viene riutilizzato poi per la propulsione del veicolo.

Su auto ibride, invece, il recupero dell'energia avviene attraverso un generatore che ricarica la batteria dell'auto dedicata al motore elettrico.

Sul concept Volvo Autorecharge Concept addirittura la trazione avviene attraverso 4 motori posti direttamente sul mozzo, uno per ruota, tali motori sono stati sviluppati anche per consentire

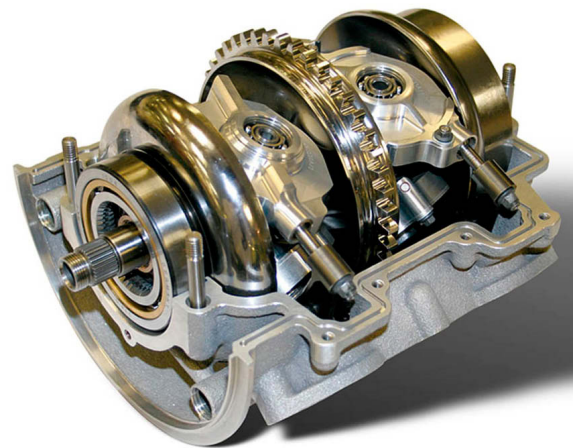
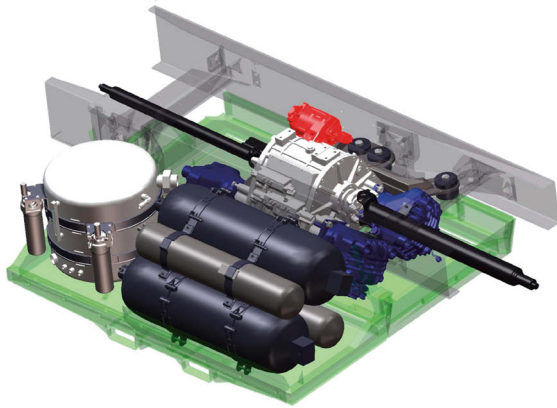


Fig. 2.22 (in alto) Rappresentazione artistica del recupero di energia in fase di frenata.

Fig. 2.23 (In basso) Un Kers usato in Formula1.



la frenata con una quantità minima di frizionamento, recuperando quindi la quasi totalità dell'energia cinetica del mezzo.

Su questo fronte si stanno muovendo in molti e con risultati promettenti.

Probabilmente tale mobilitazione deriva dall'appeal di marketing che si è dimostrato avere il concetto di recupero dell'energia; tale sistema per altro è stato introdotto partendo da auto di alta fascia di prezzo e gode quindi di un'immagine immune dall'aspetto "avaro" della cosa, il ché è senza dubbio un bene ed un fatto da considerare nella futura introduzione sul mercato di altre tecnologie che abbiano il fine di ridurre i consumi.

L'apporto dato al risparmio di carburante, o comunque di energia, è moderato, ma può aiutare molto in alcune condizioni tipicamente critiche, come nel così detto "ciclo urbano" che indica un'andatura, per l'appunto, tipica del muoversi in auto in città, ovvero caratterizzata da accelerazio-

ni e decelerazioni continue.

In ogni caso, come abbiamo visto dallo schema, le fonti di spreco energetico sono diverse e tutte importanti, quindi per ottenere sistemi di propulsione davvero efficienti bisogna lavorare su tutti i fronti, compreso questo che è tutt'altro che trascurabile, considerando per altro che su architetture di propulsione ibride, elettriche, a celle a combustibile o a pannelli solari installare sistemi di recupero dell'energia in frenata è conveniente già oggi perché questi sistemi facilmente si integrano con gli altri sistemi già presenti, così come accade per i mezzi per il movimento terra e il sistema di recupero dell'energia in frenata sviluppato da Parker Annifin.

Fig. 2.24 RunWise™ Advanced Series Hybrid Drive system



2.3.4 Motore

Il punto più debole di un'auto in termini di sprechi energetici rimane comunque il motore, purtroppo pare che sia anche il punto su cui è più difficile intervenire.

Il motore a scoppio dissipa, solo in calore, il 60% dell'energia che brucia.

Certo i motori attualmente diffusi sono migliorabili, ma dopo uno sviluppo così lungo non possiamo aspettarci grossi salti di qualità, tanto più che un sistema che brucia benzina per generare energia cinetica continuerà per forza di cose a disperdere grandi quantità di calore.

Nella tabella che segue troviamo un riassunto delle tecnologie disponibili e sul miglioramento di efficienza che potrebbero comportare.

Se la tecnologia ibrida, che è al momento

la proposta commercializzata più avanzata e complessa presente sul mercato, ha risultati tutto sommato modesti (parliamo di un 20/30% circa di risparmio di carburante in un'auto), è evidente che non può che essere un primo, piccolo passo verso tecnologie di maggiore rottura, come per esempio auto completamente elettriche o a celle combustibile, che consentano di non disperdere così tanta energia già nel motore.

C'è anche da dire che l'energia elettrica è ancora oggi prodotta per lo più attraverso la combustione di combustibili fossili (in Ita-

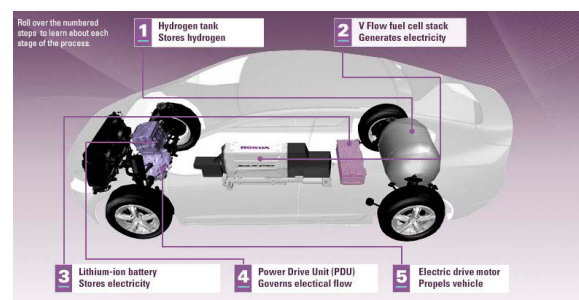


Fig 2.25 Motore ibrido elettrico-benzina

Fig 2.26 Schema di funzionamento della propulsione a celle a combustibile a idrogeno della Cfx Clarity di Honda.

Tecnologia	Aumento efficienza	Costo per il consumatore
Iniezione diretta	1% - 2%	94 - 404 euro
Combustione per compressione	10% - 12%	202 - 5027 euro
Turbocompressione	5% - 7,5%	92 euro
Fasatura variabile delle valvole	0,5% - 3%	103 - 248 euro
Fasatura continua delle valvole	1,5% - 4%	195 - 390 euro
Disattivazione del cilindro	4,5% - 6%	156 - 176 euro
Valvole senza camme	2,5%	258 - 518 euro
Sistema start & stop	7,5%	433 - 461 euro

lia il 78,6%), quindi un orientamento della propulsione delle auto verso l'elettrico, nel momento in cui l'energia di cui fanno uso tali auto dovesse continuare a essere prodotta con il petrolio, sarebbe di fatto poco produttiva, si avvarrebbe di fatti esclusivamente della maggiore efficienza di una produzione costante e su larga scala, a cui andrebbero però sottratte le perdite di trasporto dell'energia elettrica (7,12% in Italia).

Stessa cosa di fatto vale per la propulsione a idrogeno, che funge di fatto da solo immagazzinatore di energia, visto che non si trova idrogeno in natura e deve essere prodotto impiegando grandi quantità di energia elettrica.

Il vero vantaggio dell'idrogeno è la possibilità di

usarlo per alimentare sistemi di celle a combustibile che sono, nonostante l'ancora acerbo stato di sviluppo, molto più efficienti di un normale motore a scoppio.

Per contro il peso delle bombole per contenere l'idrogeno e le dispersioni di energia per lo stoccaggio, il trasporto e la compressione potrebbero ridurre notevolmente i vantaggi acquisiti.

Pare invece che a breve saranno disponibili celle a combustibile alimentate a metano, la cosa sarebbe molto interessante visto che si riuscirebbero a sfruttare l'elevata efficienza dei sistemi a celle a combustibile usando una risorsa decisamente più abbondante del petrolio, ricavabile da prodotti e sottoprodotti agricoli.

Fig. 2.27 Tecnologie disponibili per ottimizzare il funzionamento di un motore a scoppio e potenziale apporto nella riduzione dei consumi, fonte "Le Scienze".



2.4 Petrolio e inquinamento

Bruciare petrolio vuol dire anche emettere gas e calore nell'atmosfera. Non è certo che tali emissioni stiano determinando un cambiamento nel clima sul nostro pianeta, tuttavia è certo che tali emissioni siano nocive per la salute dell'uomo.

In ogni caso i paesi industrializzati stanno, con non poca fatica, ponendosi l'obiettivo di diminuire concertualmente le emissioni di CO₂ nell'atmosfera.

Il sistema stradale, come abbiamo visto, fa largo uso di petrolio, che costituisce quasi la sua unica fonte di energia, non solo ma il sistema stradale usa moltissima energia, molta più di quanta ne servirebbe, molto più di quanta ne serva ad altri sistemi di trasporto meglio strutturati da questi punti di vista.

Ma non è solo questo il punto, c'è anche da considerare altri fattori, per esempio il fatto che le sostanze inquinanti sono emesse dai veicoli in maggiore quantità proprio dove ci sono maggiori concentrazioni di veicoli, quindi di persone.

Di fatto il danno diretto alla salute è così massimizzato.

Fig. 2.28 Immissione di gas in atmosfera.

2.4.1 Sostanze inquinanti emesse.

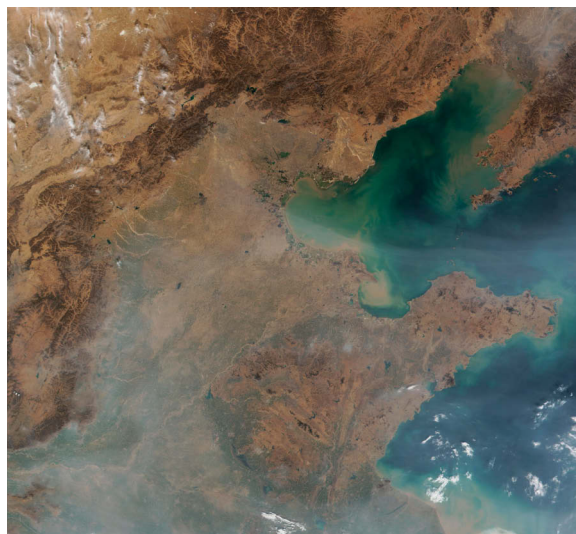
I derivati del petrolio più usati nei trasporti su gomma sono la benzina, il diesel e il gpl.

La loro combustione genera grandi quantità di sostanze nocive per l'ambiente e la salute dell'uomo; ogni carburante presenta emissioni tipiche con diverse percentuali di sostanze emesse, che dipendono anche, sia per quanto riguarda la quantità assoluta che per quanto riguarda le percentuali, da come è progettato, e quindi costruito, il motore e dal suo stato di manutenzione.

Le sostanze dalla combustione di questi tre combustibili sono:

- monossido di carbonio
- idrocarburi incombusti
- ossidi di azoto
- particolato
- anidride carbonica

Nei prossimi sottocapitoli vedremo nel dettaglio quali danni causano queste sostanze e in che misura vengono emessi dai più comuni sistemi di propulsione.



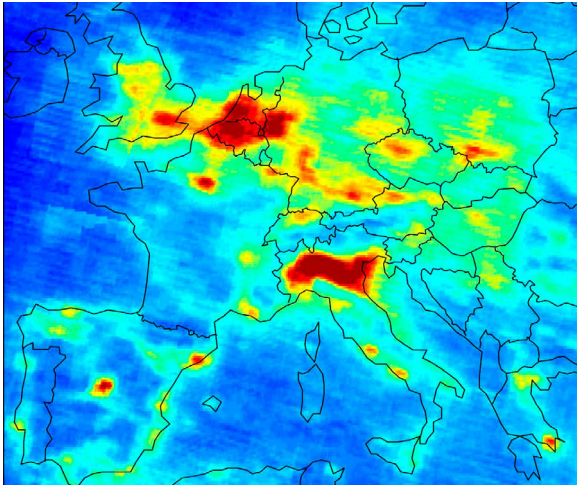
2.4.2 Monossido di carbonio

Per le sue caratteristiche l'ossido di carbonio rappresenta un inquinante molto pericoloso, anche direttamente per l'uomo.

A livello medico una volta respirato, il CO si lega all'emoglobina con una affinità che è 220 volte superiore a quella dell'ossigeno e formando un composto inattivo fisiologicamente che viene chiamato carbossiemoglobina. Questa sostanza, al contrario dell'emoglobina, non è in grado di garantire l'ossigenazione ai tessuti, in particolare al cervello ed al cuore. La morte sopravviene pertanto per asfissia. L'effetto del CO risulta maggiore in altitudine, per la ridotta percentuale di ossigeno nell'aria. In caso di intossicazione bisogna immediatamente portare all'aria aperta

Fig. 2.29 Smog visibile dal satellite sulle coste cinesi.





il soggetto colpito, perché la respirazione di aria arricchita di ossigeno aiuta l'eliminazione del CO dalla carbossiemoglobina.

A causa del traffico automobilistico la popolazione urbana è spesso soggetta a lunghe esposizioni a basse concentrazioni. La lenta intossicazione da ossido di carbonio prende il nome di ossicarbonismo e si manifesta con sintomi nervosi e respiratori.

Sono considerate fisiologiche concentrazioni di carbossiemoglobina minori dell'1% dell'emoglobina circolante nel sangue. Quando nell'aria la concentrazione di CO è di 12-31 ppm si arriva al 2-5% di carbossiemoglobina e si manifestano i primi segni con aumento delle pulsazioni cardiache, aumento della frequenza respiratoria e disturbi psicomotori (nei guidatori di auto si allungano in modo pericoloso i tempi di reazione).

2.4.3 Idrocarburi incombusti

Gli idrocarburi incombusti sono composti chimici derivanti da una combustione incompleta di molecole contenenti carbonio e idrogeno. Quando si parla di emissioni allo scarico, vengono definiti HC, sigla che in realtà identifica più genericamente i vari tipi di idrocarburi. A questo proposito, va detto che le centraline di rilevamento dell'inquinamento atmosferico non misurano il metano.

Quest'ultimo è un gas serra ma non ha effetti diretti sulla salute umana; tra gli HC è anche il più diffuso perché prodotto in grandi quantità da processi naturali, in particolare dalla fermenta-

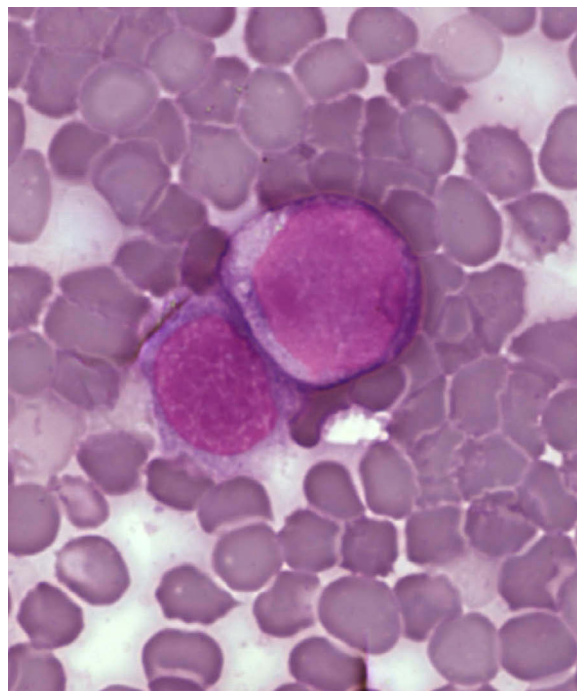


Fig 2.30 (in alto) Concentrazione di CO in atmosfera

Fig 2.31 (in basso) Il benzene, è cancerogeno e può provocare l'insorgere della leucemia.

zione di sostanze organiche.

Gli idrocarburi incombusti possono essere in forma gassosa, liquida o solida. Alcuni si trasformano in presenza di luce solare in altre sostanze nocive, come gli ossidanti fotochimici (perossidi, nitroaromatici ecc) che danneggiano la salute umana, la vita vegetale e alcuni materiali. Gli idrocarburi incombusti dalla tossicità più elevata sono oggetto di misurazioni specifiche. Tra questi molti appartengono alla famiglia degli "aromatici" come il benzene.

Il benzene viene assorbito nel sangue tramite la respirazione e, come confermano studi dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, ha proprietà cancerogene, favorendo l'insorgere della leucemia. Altri tipi di aromatici, i policiclici o IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) hanno a loro volta proprietà cancerogene. Tra questi il più tossico, dannoso anche a concentrazioni modeste, risulta il benzopirene, molto diffuso e presente anche nel fumo delle sigarette.

2.4.4 Ossidi di azoto

Pur essendo presenti in atmosfera diverse specie di ossidi di azoto, per quanto riguarda l'inquinamento dell'aria si fa quasi esclusivamente riferimento al termine NO_x che sta ad indicare la somma pesata del monossido di azoto (NO) e del biossido di azoto (NO_2).

Per quanto riguarda gli effetti sulla salute dell'uomo, gli ossidi di azoto risultano potenzialmente pericolosi per la salute. In particolare il monossido di azoto (NO), analogamente al monossido di carbonio, agisce sull'emoglobina, fissandosi ad essa con formazione di metamoglobina e nitrosometamoglobina.

Questo processo interferisce con la normale ossigenazione dei tessuti da parte del sangue ma,

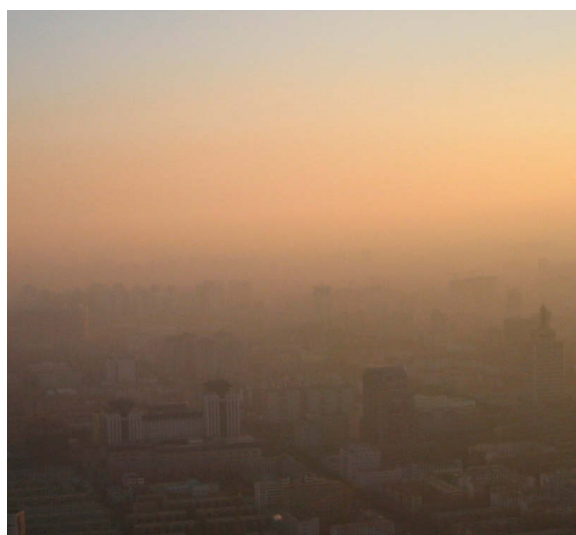


Fig. 2.32 Smog fotochimico.



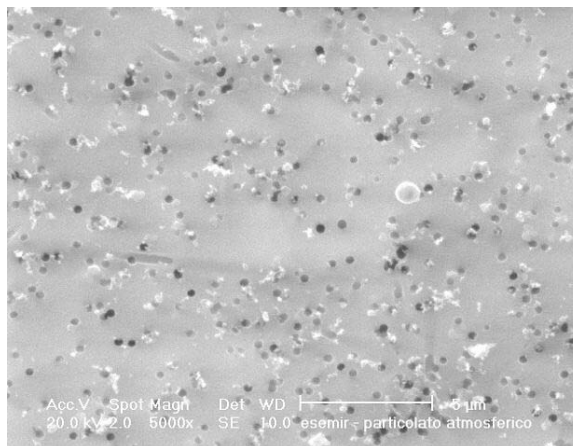
nonostante ciò, non sono mai stati riscontrati casi di decessi per avvelenamento da NO.

Il biossido di azoto è più pericoloso per la salute umana, con una tossicità fino a quattro volte maggiore di quella del monossido di azoto.

Forte ossidante ed irritante, il biossido di azoto esercita il suo effetto tossico principalmente sugli occhi, sulle mucose e sui polmoni. In particolare tale gas è responsabile di specifiche patologie a carico dell'apparato respiratorio (bronchiti, allergie, irritazioni, edemi polmonari che possono portare anche al decesso). I soggetti più esposti all'azione tossica sono quelli più sensibili, come i bambini e gli asmatici.

Il ben noto colore giallognolo delle foschie che ricoprono le città ad elevato traffico è dovuto per l'appunto al biossido di azoto.

Gli ossidi di azoto si possono ritenere fra gli inquinanti atmosferici più critici, non solo perché il biossido di azoto in particolare presenta effetti negativi sulla salute, ma anche perché, in condizioni di forte irraggiamento solare, provocano delle reazioni fotochimiche secondarie che creano altre sostanze inquinanti ("smog fotochimico"): in particolare è un precursore dell'ozono troposferico e della componente secondaria delle polveri sottili.



2.4.5 Particolato

Particolato, particolato sospeso, pulviscolo atmosferico, polveri sottili, polveri totali sospese (PTS), sono termini che identificano comunemente l'insieme delle sostanze sospese in aria (fibre, particelle carboniose, metalli, silice, inquinanti liquidi o solidi).

È l'inquinante che oggi è considerato di maggiore impatto nelle aree urbane, ed è composto da tutte quelle particelle solide e liquide disperse nell'atmosfera, con un diametro che va da pochi nanometri fino ai 500 micron e oltre (cioè da miliardesimi di metro a mezzo millimetro).

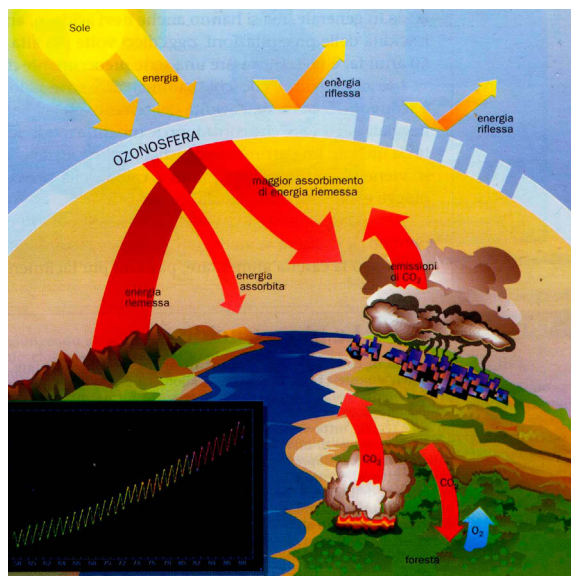
Il particolato ha effetti diversi sulla salute umana ed animale a seconda dell'origine (naturale, antropica ecc.) e delle dimensioni delle polveri. In taluni casi (si pensi all'aerosol marino), l'effetto può addirittura essere benefico.

Fig. 2.33 Particolato visto al microscopio.

Tra i disturbi attribuiti al particolato fine e ultrafine, vi sono patologie acute e croniche a carico dell'apparato respiratorio (asma, bronchiti, enfisema, allergia, tumori) e cardio-circolatorio (aggravamento dei sintomi cardiaci nei soggetti predisposti).

Il meccanismo dettagliato con cui il particolato interferisce con gli organismi non è ancora chiarito completamente: è noto che al diminuire delle dimensioni la possibilità di interazione biologica aumenta, in quanto le più piccole particelle possono raggiungere laringe, trachea, polmoni e alveoli, e qui rilasciare parte delle sostanze inquinanti che trasporta (ad esempio idrocarburi policiclici aromatici, SO_x e NO_x).

Le cosiddette nanopolveri arriverebbero addirittura a penetrare nelle cellule, rilasciando direttamente le sostanze trasportate, con evidente maggior pericolo. Secondo alcuni esse sarebbero pertanto responsabili di patologie specifiche (studiate nell'ambito della nanotossicologia), ma finora gli studi (oggi ancora ad uno stadio iniziale, e legati non solo allo studio delle polveri disperse in aerosol ma in generale alle nanotecnologie) non hanno portato ad alcuna prova epidemiologica definitiva.



2.4.6 Anidride carbonica

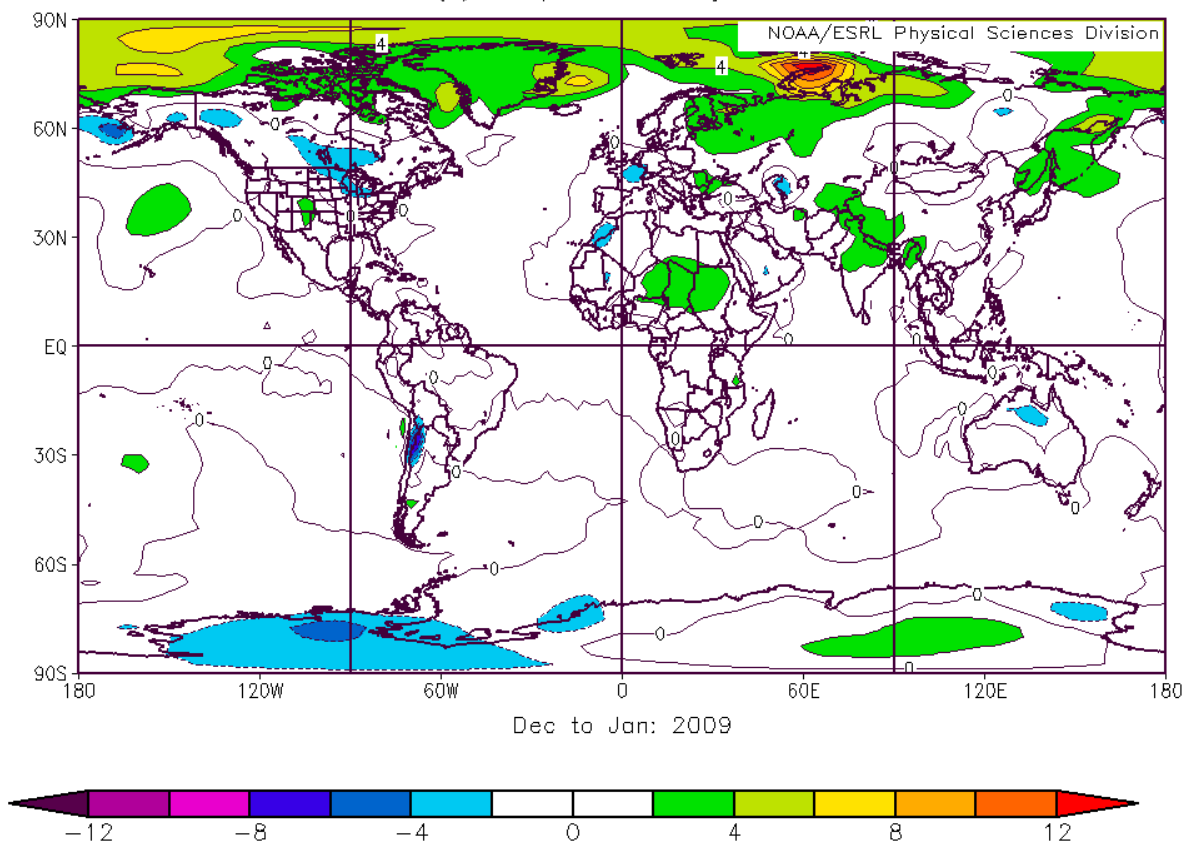
Il biossido di carbonio, o anidride carbonica, è un gas incolore e inodore, non è tossico in sé, ma non è respirabile e quindi può provocare la morte per asfissia.

Respirare un'atmosfera particolarmente ricca di CO₂ produce un sapore acidulo in bocca ed un senso di irritazione nel naso e nella gola; ciò è dovuto al suo reagire con l'acqua per formare acido carbonico.

La densità del biossido di carbonio a temperatura e pressione ambiente è circa una volta e mezzo quella dell'aria, tende quindi a stratificare sul fondo degli ambienti chiusi e non ventilati.

Fig. 2.34 Schema della dinamica dell'effetto serra

NCEP/NCAR Reanalysis
Surface air (C) Composite Anomaly 1968–1996 climo



Il biossido di carbonio nell'aria è presente in quantità dello 0,04% circa, mentre nell'aria esalata dopo un respiro è circa il 4,5%. Un'atmosfera che contiene oltre il 5% di biossido di carbonio è tossica per gli esseri umani e per gli animali, dato che va a saturare l'emoglobina del sangue impedendole di legarsi all'ossigeno e bloccando quindi l'ossigenazione dei tessuti.

La cosa più importante in questa sede è però

che l'anidride carbonica è ritenuta uno dei principali gas-serra, ovvero si ritiene che la sua presenza in atmosfera alteri il comportamento della radiazione luminosa che la terra riceve dal sole aumentando la quantità di energia assorbita a scapito di quella riflessa, ciò comporta logicamente un aumento della temperatura generale sul nostro pianeta.

Qui però il discorso inizia a complicarsi ed è opportuno considerare che siamo di fronte ad un

Fig. 2.35 Andamento delle temperature nel mondo.

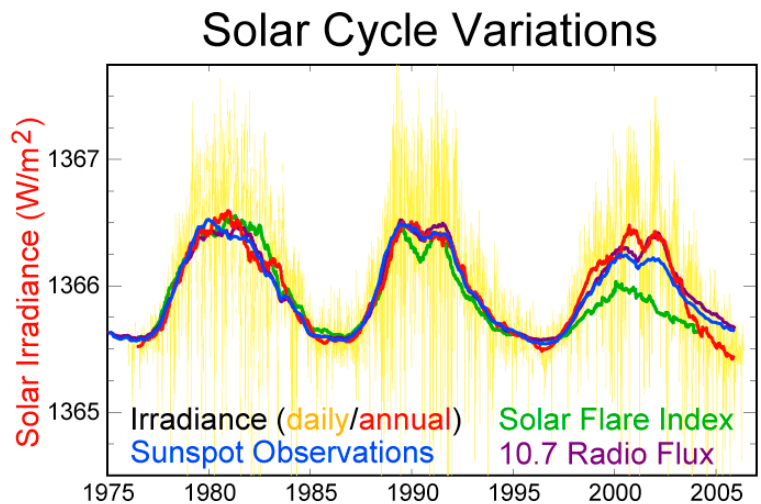
problema sì molto importante, ovvero la stabilità termica del pianeta, ma anche che nulla di ciò che diremo potrà essere provato sino a quando non sarà troppo tardi.

Svante Arrhenius (1859-1927) era lo scienziato svedese che fu il primo a sostenere nel 1896 che la combustione di combustibile fossile potrebbe provocare un aumento del riscaldamento globale. Egli propose una relazione fra la concentrazione di anidride carbonica e la temperatura atmosferica. Stabilì che la temperatura superficiale media della terra è circa 15 gradi, a causa della capacità di assorbimento delle radiazioni infrarosse del vapore acqueo e dell'anidride carbonica, detto effetto serra naturale. Arrhenius suggerì che un raddoppio della concentrazione di CO₂ porterebbe ad un aumento termico di 5 gradi C.

Lui e Thomas Chamberlin stimarono che le attività umane potrebbero scaldare la terra aggiungendo anidride carbonica all'atmosfera. Tale ricerca fu un sottoprodotto della ricerca sull'effetto dell'anidride carbonica sulla grande era glaciale. Ciò non fu realmente verificato fino al 1987.

Dopo le scoperte di Arrhenius e Chamberlin il soggetto fu dimenticato per lungo tempo.

Nel 1988 fu riconosciuto che dal 1980 il clima



era più caldo di quanto fosse mai stato precedentemente. Per la prima volta fu citata la teoria dell'effetto serra e fu fondato un pannello intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPCC) dal programma ambientale delle Nazioni Unite e dall'organizzazione meteorologica mondiale. Tale organizzazione prova a predire le conseguenze dell'effetto

Negli anni '90 gli scienziati cominciarono a mettere in discussione la teoria dell'effetto serra, a causa delle rilevanti incertezze nei dati e nei modelli risultanti. Essi contestarono i fondamenti della teoria, che erano i dati delle temperature globali annuali medie.

Le registrazioni climatiche dell'IPCC sono tuttora contestate da molti altri scienziati, causando nuove ricerche e frequenti risposte agli scettici da parte dell'IPCC. Questa discussione sul

Fig. 2.36 Oscillazioni dell'irraggiamento solare nel tempo.

riscaldamento globale sta continuando ancora oggi ed i dati sono costantemente controllati ed aggiornati. Anche i modelli vengono aggiornati ed adattati alle nuove scoperte e teorie.

Finora non sono state approntate molte misure per fare qualcosa circa i cambiamenti climatici. Ciò deriva in gran parte dalle gravi incertezze che ancora circondano la teoria.

Il cambiamento climatico è anche un problema globale difficile da risolvere dai singoli paesi, quindi nel 1998 fu stipulato il protocollo di Kyoto a Kyoto, in Giappone. Esso richiede che i paesi partecipanti riducano le proprie emissioni antropogeniche di gas serra (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, e SF₆) a livelli almeno inferiori del 5% inferiore rispetto ai livelli del 1990 nel periodo di impegno che va dal 2008 al 2012. Il protocollo di Kyoto fu finalmente firmato a Bonn da 186 paesi nel 2001. Alcuni paesi, come gli Stati Uniti e l'Australia si sono però successivamente ritirati.

Allo stato attuale le emissioni di CO₂ in Italia sono leggermente aumentate e, come paese, non abbiamo rilevanti possibilità di rientrare in orario nei limiti richiesti dall'Europa, e, con tutta probabilità, in quelli imposti dal protocollo di Kyoto, ciò ci costerà probabilmente (all'Italia) sette miliardi di euro.

Gli ecoincentivi promossi dai governi negli ultimi anni sono andati a promuovere la vendita di auto anche molto inquinanti; le categorie Euro

per le emissioni dei veicoli dipendono dalla cilindrata del veicolo, quindi incentivano la ricerca per l'ottimizzazione dei consumi nei motori, ma non impediscono a molte auto di essere dotate di motori assolutamente sovradimensionati che ne provocano l'aumento dei consumi o di essere esse stesse sovradimensionate, con lo stesso risultato.

In relazione a queste cifre e alla gravità del problema pare quindi che le entità statali italiane stiano facendo ancora troppo poco per risolvere il problema. Diminuire le emissioni di CO₂ in atmosfera è chiaramente un bene, anche se l'effetto serra si rivelasse inesistente o causato da cause naturali, l'impegno non sarebbe sprecato, mentre se viceversa ignorassimo il problema e l'effetto serra si rivelasse realmente causato dall'uomo le conseguenze sarebbero potenzialmente estremamente gravi.

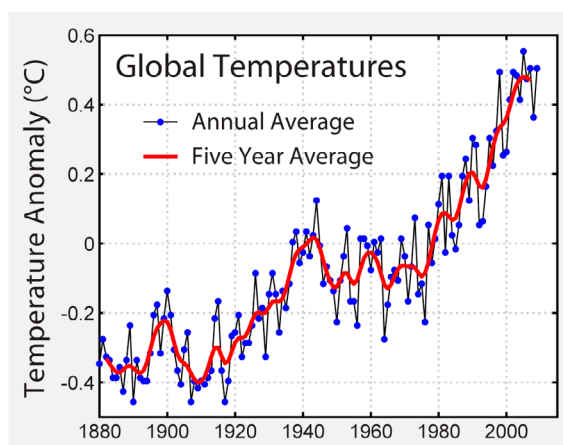


Fig. 2.37 Andamento della temperatura globale.

2.4.7 Confronto tra gpl, diesel e benzina

Abbiamo illustrato come le sostanze emesse da questi tipi di motori, e di combustibili, provochino di fatto tutte danni alla salute umana direttamente o indirettamente.

L'unica sostanza sulla cui pericolosità gli scienziati non sono del tutto concordi è l'anidride carbonica, che però è imprescindibile da qualsiasi motore a combustione, in pratica per immetterne

di meno in atmosfera con un motore a scoppio bisogna riuscire a consumare meno, quindi bruciare meno, e per farlo è necessario aumentare l'efficienza dei motori.

Facendo un riassunto dei dati sulle emissioni inquinanti possiamo affermare che diesel e benzina quasi si equivalgono, in verità molti sostengono che anche i motori diesel euro4 di ultima generazione con filtro antiparticolato rimangono più inquinanti dei motori a benzina, addirittura di molti motori a benzina piuttosto datati.

Il Gpl invece presenta emissioni decisamente ridotte, diffuso grazie al caro petrolio però, con l'aumento di efficienza dei moderni motori diesel ha perso di competitività in Italia e la sua vendita è calata del 50% negli ultimi 8 anni.

Oggi molte auto alimentate a diesel consumano meno (in termini di euro) per km rispetto al gpl e hanno in più durata del motore, capacità di carico, autonomia e distribuzione migliore dei punti per il rifornimento (basti pensare che in Italia non ci sono distributori di GPL 24h per legge e per compiere un lungo viaggio la

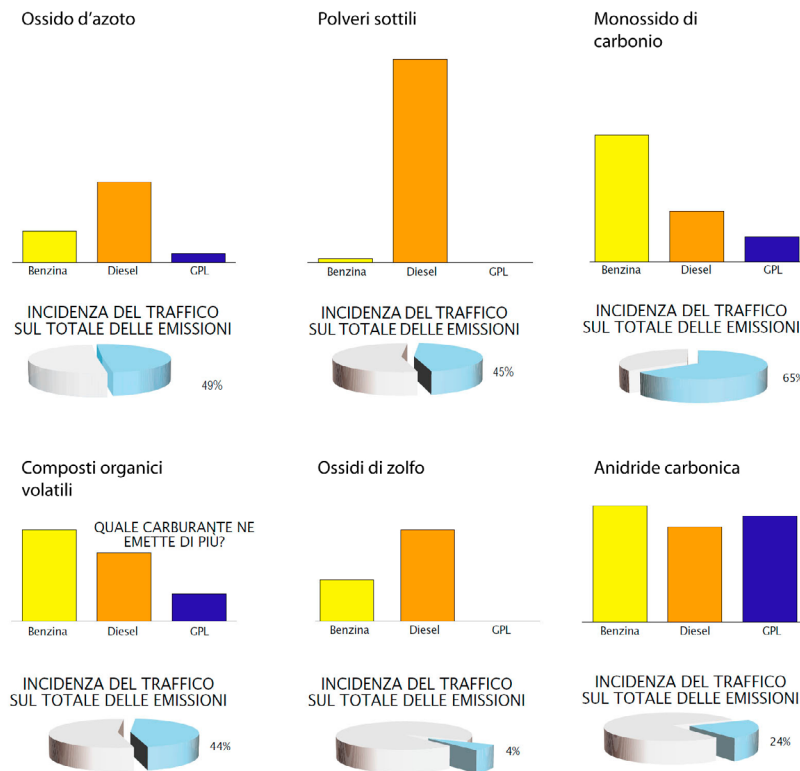


Fig. 2.38 Emissioni inquinanti di gpl, diesel e benzina e rilevanza dei trasporti sul totale delle principali sostanze nocive.



notte si è costretti a viaggiare usando la benzina, finendo a pagare più di un Diesel.)

In forte crescita è invece, grazie anche ai forti incentivi statali, il metano, che non è un derivato del petrolio ed è quindi per questo totalmente differente dagli altri tre di cui abbiamo parlato fin ora.

Il metano costa decisamente meno del gpl, presenta emissioni inquinanti ancora inferiori, anche se simili (circa il 30% di monossido di carbonio in meno rispetto al gpl), è un gas naturale estraibile direttamente dal sottosuolo o prodotto dalla fermentazione di prodotti o sottoprodotti agricoli, inoltre i rischi ambientali durante l'estrazione, il trasporto e la lavorazione sono inferiori rispetto a quelli dei derivati del petrolio. Presenta qualche problema di erogazione e distribuzione visto che, a differenza del gpl, il metano viene stoccato in

forma gassosa e non liquida, quindi le bombole che lo contengono devono essere molto grandi e/o resistenti.

Un altro problema è la possibilità di approvvigionamento, sembra un paradosso perché la maggior parte degli italiani ha un collegamento per il gas per la cucina e la caldaia, metano per l'appunto, eppure per motivi di sicurezza una legge vieta l'uso di sistemi casalinghi di rifornimento dei mezzi a metano, quindi servono i distributori che, come per il gpl, non possono essere self/service.

Terzo problema è la potenza del motore, che rispetto al Gpl è decisamente inferiore, tuttavia è da poco in commercio un'auto alimentata con un motore turbometano con prestazioni più che dignitose, proprio come è accaduto in passato con il diesel.

Fig 2.39 Il motore di una zafira 1.6 a metano sovralimentato, capace di generare la più che dignitosa potenza di 150cv.

2.4.8 Produzione di inquinamento delocalizzata

Nel paragrafo precedente abbiamo fatto l'esempio di un'auto elettrica, che è apparentemente non inquinante e viene spesso indicata come la soluzione a tutti i problemi.

Eppure un'auto elettrica consuma energia elettrica, che in Italia è prodotta per lo più bruciando combustibili fossili.

Le centrali che producono energia elettrica bruciando combustibili fossili sono un po' più efficienti del motore di un'auto, però hanno altri problemi, per esempio la dispersione di energia durante il trasporto e le trasformazioni.

Insomma in fin dei conti un'auto elettrica inquina quasi quanto un'auto tradizionale, solo che non lo fa localmente, ma lo fa, indirettamente, delocalizzando la produzione di inquinamento.

Questo per le città è un grosso vantaggio, anche se è un vantaggio che va a scapito di altri.

Rimane però un vantaggio anche globalmente, infatti a livello globale sarebbe meglio che la maggior parte della popolazione vivesse in luoghi poco inquinati, invece allo stato attuale delle cose sono proprio i luoghi ad alta densità abitativa ad essere i più inquinati, in particolar modo dal sistema stradale, delocalizzare la produzione

di inquinamento aiuta quindi a far pesare gli effetti dell'inquinamento stesso su un più numero limitato di persone.

In realtà la quantificazione degli effetti dannosi delle emissioni inquinanti provocate dal traffico sulla popolazione non è così semplice, in quanto spesso la percezione del disagio non è proporzionale alla reale presenza di inquinamento.

La situazione è molto complessa, quello che è certo è che la massiccia produzione di emissioni inquinanti in città, caratteristica dell'uso di auto alimentate con derivati del petrolio, rende tali emissioni ancora più dannose se paragonate a quelle, delocalizzate o prodotte in luoghi remoti, degli altri mezzi di trasporto maggiormente usati come treni, navi o aerei.



Fig. 2.40 La ciminiera di unacentrale elettrica.

2.5 Sistema stradale e utenti

Nelle pagine precedenti abbiamo evidenziato molti punti critici del sistema, alcuni dei quali vengono spesso portati a dimostrazione del fatto che un tale sistema andrebbe completamente abbandonato.

Eppure il successo commerciale del sistema stradale, rispetto ad altri come quello ferroviario, è evidente. Il viaggio in auto resta la prima scelta per una larga scala di distanze da percorrere, nonostante i costi molto maggiori del viaggio (specialmente se consideriamo il costo dell'auto ammortizzato per il numero di km di vita utile).

Ci siamo domandati cosa piace agli utenti del sistema stradale e in particolare dell'auto, visto che gli altri mezzi di trasporto su strada non godono dello stesso successo.

Quell'auto così poco funzionale, energivora, ingombrante, rigida ha qualcosa di speciale, un rapporto più stretto con l'utenza che la rende preferibile nonostante tutto.

In molti casi il motivo è chiaramente il minor tempo di percorrenza, che riveste un ruolo molto importante nella scelta di un modo di viaggiare, tuttavia è chiaro che non sia l'unico.

Proviamo ad individuare i vantaggi che l'utente percepisce in un viaggio in auto rispetto da un viaggio, per esempio, in treno:

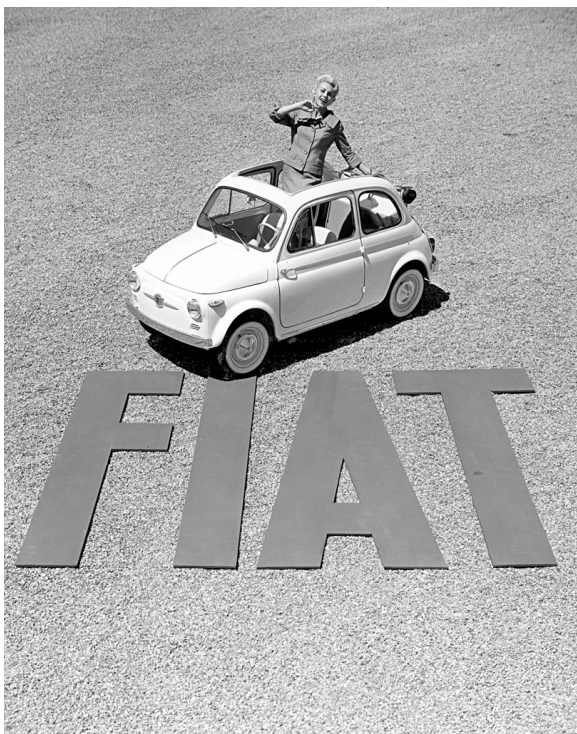
- disposizione di uno spazio personale su cui intervenire a piacimento (musica, ventilazione, temperatura)
- caratterizzazione della propria individualità attraverso la scelta del veicolo.
- scelta delle persone con cui condividere un viaggio e uno spazio.
- un solo carico/scarico del bagaglio.
- una sola salita/discesa dal mezzo (scarse problematiche relative a temperatura ed eventuali precipitazioni, nonché possibilità di trasportare facilmente molto più bagaglio).
- maggiore facilità previsionale sull'orario di arrivo.
- maggiore scelta dell'orario di partenza.

Gli svantaggi invece

- propria responsabilità del comportamento del mezzo.
- spesso c'è la necessità di lavorare per effettuare il viaggio (guidare).
- spesso si viaggia da soli.

Sebbene ci siano sia vantaggi che svantaggi considerevoli, sembra chiaro che il bilancio, per quanto riguarda il modo di vivere il viaggio, è positivo, almeno se paragonato ad un viaggio in treno.

Le cose cambierebbero, invece, lo vedremo più avanti, con un viaggio in nave, che però raramente rappresenta l'alternativa ad un viaggio in auto, anzi di solito il viaggio in nave rappresenta la parte di un viaggio compiuto principalmente in auto.



2.5.1 Spazio personale

La definizione di uno spazio personale da condividere con il proprio gruppo ha un significato prossemico molto forte.

Il modo in cui le persone tendono a posizionarsi una rispetto all'altra non è infatti casuale, ma è dettato da leggi precise che hanno radici antiche.

In particolare l'uomo tende a stare vicino alle persone che lo potrebbero proteggere, e a tenere una certa distanza da quelle che lo potrebbero attaccare, o meglio questo è quello che succedeva in passato quando si è formata la parte più istintuale e antica del cervello umano.

A determinare la distanza tra una persona e l'altra è il grado di conoscenza e fiducia che ognuno ha dell'altro, e tenere distanze ravvicinate in genere rafforza la conoscenza, e quindi la fiducia, tra le due persone coinvolte.

Se però la vicinanza è forzata, e non voluta, le due persone che sono vicine, se già non si conoscono, non possono sapere se tale vicinanza è frutto di fiducia o di costrizione e in ogni caso non conoscendosi tenderebbero inizialmente a stare più lontani, inoltre la situazione, percepita intimamente come pericolosa, può generare un'atteggiamento di "allerta" che certo non fa bene al

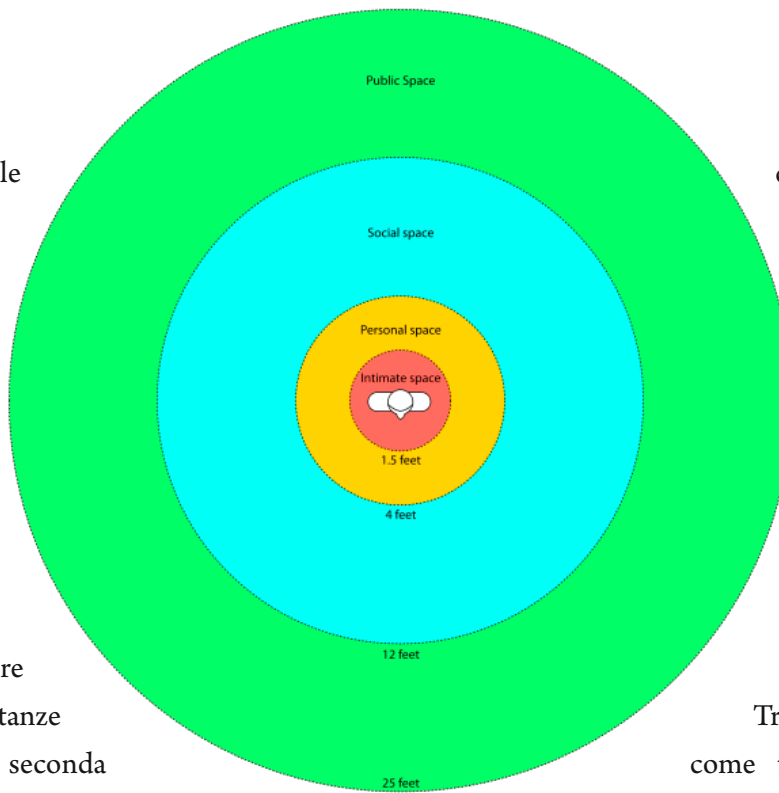
Fig 2.41 Una pubblicità Fiat.

benessere sociale
dei due viaggiatori-

Gli spazi che l'uomo si costruisce per vivere di norma sono realizzati per permettere alle persone di tenere tra loro le distanze giuste, anche a seconda dell'uso per cui è progettato l'edificio.

Il tavolo di una sala da riunioni è per esempio molto più grande del tavolo su cui solitamente pranza una famiglia, così come gli spazi di una camera da letto, in cui solitamente entrano persone che fanno parte della famiglia, sono molto diversi da quelli del soggiorno, che è invece un luogo dove si ricevono ospiti che possono anche non essere amici intimi.

L'auto non è certo un'ambiente "vivibile", è indubbio che chiunque si sente più a suo agio a casa propria, eppure in qualche modo è l'unico mezzo a delimitare un'ambiente attraverso un guscio "protettivo" che costituisce, attraverso le portiere, ma anche attraverso la mobilità indipendente del veicolo, di delimitare coloro che stanno fuori



dall'auto da coloro che stanno dentro, e il proprietario dell'auto ha la possibilità di ammettere all'interno della propria auto solo coloro con cui si sente di condividere il suo spazio "intimo".

Tra l'altro è curioso come tale separazione tra privato e pubblico, tra intimo ed estraneo, aumenti, in un certo senso "migliori" all'aumentare della velocità, ovvero all'aumentare della difficoltà di passare da un veicolo all'altro.

In autostrada per esempio le velocità relative dei veicoli sono molto alte, tant'è che vediamo il volto degli altri automobilisti solo per un breve momento mentre li stiamo sorpassando o mentre ci stanno sorpassando loro, ciò fa sì che i due automobilisti si percepiscano, in termini prossemici, più distanti della loro distanza geometrica, perché separati da una barriera materiale ed una concettuale (difficoltà di raggiungimento).

Se invece un'auto è ferma al semaforo e qualcuno va ad affacciarsi al suo finestrino la situazione prossemica cambia notevolmente, perché rima-

Fig 2.42 Diagramma di Edward T. Hall con i raggi espressi in piedi.

ne davvero solo un vetro a separare due persone, che diventa improvvisamente troppo poco e fa sentire l'automobilista a disagio se chi si affaccia al finestrino non è una persona nota.

2.5.2 Caratterizzazione della propria individualità

In un mondo popolato da un numero sempre maggiore di persone, e che offre la possibilità a ognuno di avere un sempre maggior numero di contatti con persone diverse, la propria individualità, o meglio la comunicazione di quella che si vuole mostrare essere la propria individualità, assume sempre più importanza.

Il mezzo di trasporto è quindi diventato anche un elemento importante per comunicare se stessi

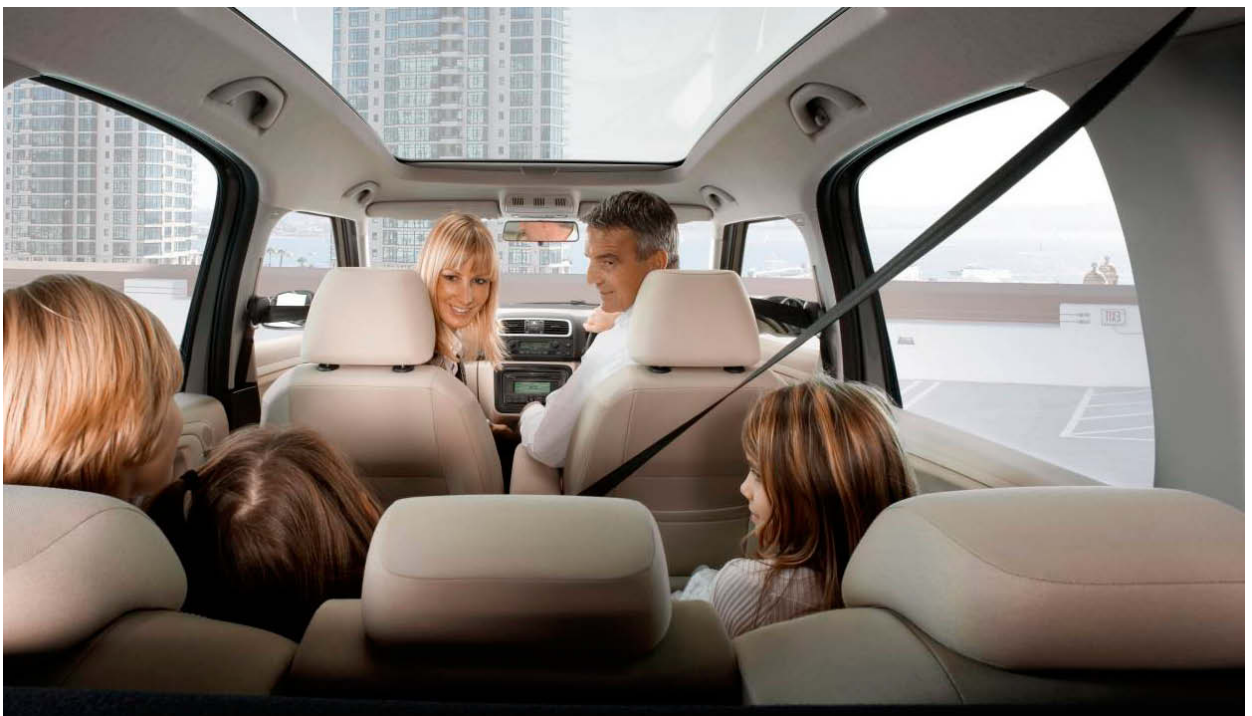


Fig 2.43 Immagine pubblicitaria che evidenzia il senso di protezione e raggruppamento all'interno di un'auto.

agli altri, così come succede anche per i vestiti, e il fatto di possedere il mezzo, o in qualche modo che sia evidente un legame tra utente e mezzo, cosa che non accade con i mezzi pubblici, è un elemento fondamentale per permettere ad un oggetto di diventare un accessorio comunicativo per la persona che lo usa. È per esempio un assurdo che esistano auto in grado di viaggiare a 300 km/h, che consumano tre volte più di un'auto normale e che possono ospitare solo due persone.

Tali auto non possono essere usate e non sono mai usate se non per un quarto del loro potenziale, anche perché la legge lo vieta, tuttavia il fatto stesso di possedere quella macchina è abbastanza

importante da far sì che qualcuno sia disposto a pagarla dieci volte quello che pagherebbe un'auto normale.

Nel mercato dell'auto è in atto una sempre maggiore differenziazione delle linee delle auto, che consente all'automobilista di scegliere un'auto che lo caratterizzi nel modo che desidera (retrò, sportivo, giovane, di classe, "duro"...). Se l'aspetto comunicativo e di status-symbol delle prime auto era solamente ricco-povero e la Ford modello t poteva permettersi di essere prodotta solo nera, con il passare del tempo si sono introdotte nuove variabili di posizionamento come sportivo-elegante, giovane-maturo, serio-ironico, high tech-fashion ecc..



Fig. 2.44 Sono sempre più diffuse edizioni speciali, allestimenti particolari, ma anche modifiche successive alla produzione fatte realizzare dall'utente.

Oggi si realizzano edizioni speciali curate da stilisti famosi nel campo della moda o da marchi famosi nel mondo delle corse come elaboratori di auto di serie e tra alcuni i giovani si è diffusa la tendenza di cambiare parti della propria auto, di solito con fine quasi esclusivamente estetico, per caratterizzare univocamente la propria vettura, a questo proposito si possono citare più film di successo e un certo numero di videogiochi.



2.5.3 Intera tratta a bordo di un solo mezzo

Un'altra cosa che viene estremamente apprezzata di un viaggio in auto è che non ci sia bisogno di cambiare mezzo durante il viaggio. Ciò permette di portare con sé qualcosa di più di uno zaino, sia che ci si sposti per lavoro sia che nel tempo libero.

Molti sport per esempio dipendono sostanzialmente dall'auto, per esempio il windsurf, lo sci, il deltaplano, il parapendio, il ciclismo a volte, il sub, il canottaggio e molti altri.

Ma anche semplicemente una casalinga che quando fa la spesa acquista il necessario per cinque persone per una settimana, o per gli appassionati di bricolage, o per chi per lavoro deve avere sempre con sé oggetti ingombranti, come per esempio i rappresentanti che viaggiano spesso con interi campionari con sé.

Le esigenze di queste persone non vengono ovviamente ignorate dagli uomini di marketing delle case automobilistiche che, oltre ad elaborare specifici allestimenti, hanno prodotto una lunga serie di immagini, pubblicità e depliant a riguardo.

Insomma è difficile che i mezzi pubblici possano soddisfare esigenze simili, viaggiare in aereo con carichi ingombranti, per esempio, è rinoma-

Fig. 2.45 L'auto come presentazione di sé cerca di distinguersi dalla produzione di massa per comunicare.



tamente un incubo per chi vi è costretto.

Oggi non avere la patente dell'auto è quasi impensabile, perché non esistono mezzi pubblici in grado di soddisfare molte esigenze di viaggio e trasporto se non con estrema difficoltà e tempi molto lunghi.

Per diffondere l'uso di mezzi pubblici bisognerebbe in qualche modo considerare questi tipi di esigenze, altrimenti, se verranno ignorate o è semplicemente impossibile realizzare una soluzione, la maggior parte delle persone continuerà ad avere un'auto, che già di per sé è un problema per via dello spazio occupato, ed avendo un'auto, logicamente, tenderà ad usarla.

2.5.4 Propria responsabilità del mezzo

Guidare dà l'impressione, per altro nella maggior parte dei casi poco reale, di avere in qualche modo potere decisionale, di poter quindi controllare, essere sicuri, della riuscita del proprio viaggio.

Abbiamo già visto come in verità tutto ciò è vero solo in piccola parte, infatti chi guida deve seguire le regole del sistema e il suo potere decisionale si limita di fatto spesso al minimo indispensabile, quindi alla decisione del punto di arrivo.

Di fatto un intoppo nel sistema, come una coda, impedisce facilmente al guidatore di compiere il tragitto previsto nei tempi previsti, mentre le regole del sistema gli impediscono di recuperare il tempo perso aumentando la velocità nella parte restante del viaggio.

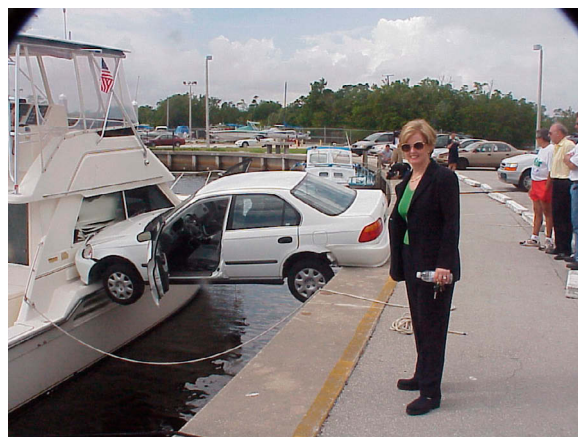


Fig. 2.46 Immagine pubblicitaria che evidenzia la possibilità di uso di un'auto per trasportare ovunque attrezzatura sportiva.

Fig. 2.47 Un bizzarro incidente.

Invece ciò che è sicuro è che il guidatore ha la possibilità di sbagliare, di violare intenzionalmente o meno una o più regole, di compiere infrazioni o causare incidenti e danni al proprio mezzo, ai passeggeri che viaggiano con lui e a ciò che lo circonda.

Per altro le regole da seguire all'interno del sistema stradale e i suoi sistemi di sicurezza sono, evidentemente, molto poco sicuri se si pensa a quanti incidenti avvengono ogni giorno in Italia.

La responsabilità che una persona deve accollarsi per poter guidare è notevole, infatti la legge gli impone di essere nello stato psicofisico ottimale, quindi non aver bevuto troppi alcolici, non essere stanco, non aver assunto sostanze stupefacenti ecc... Un errore di guida può comportare danni molto gravi e addirittura la morte di altre persone, oltre che la propria.

Tale richiesta di responsabilità ed efficienza psicofisica possono essere un fastidio per alcuni, ma diventano un ostacolo insormontabile per altri, per esempio per molti anziani, che rinunciando a guidare limitano la propria autonomia, peggiorando la qualità della propria vita e gravando in modo maggiore sul resto della società, tipicamente su parenti e amici.

Per altro queste limitazioni non sono sufficienti a garantire la sicurezza in strada, in parte perché spesso non vengono rispettate, in parte perché

non sono comunque sufficienti, anche se necessarie.

Viaggiare in auto è il modo di spostarsi più pericoloso tra quelli più diffusi ed è quello che comporta costi maggiori per la società a causa degli incidenti, incidenti che sono, nella grande maggioranza dei casi, causati o concausati da errori di guida.

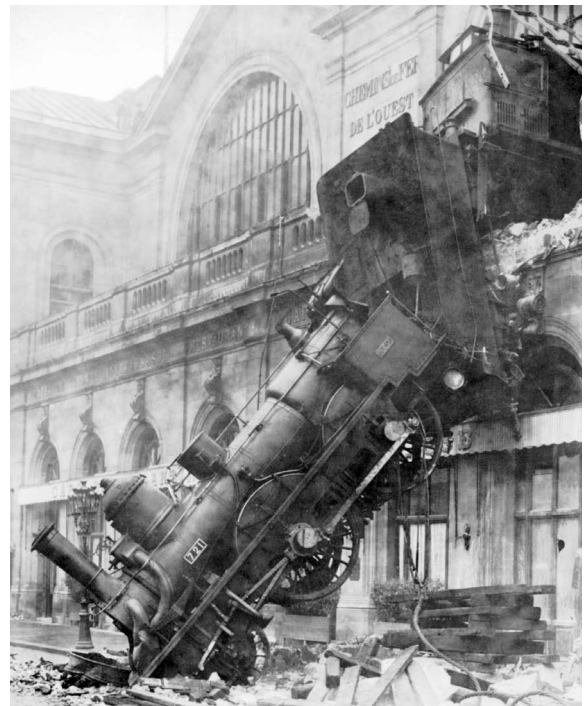


Fig 2.48 Nell'ottobre 1895 un treno della SNCF, proveniente da Granville entrò nella stazione di Parigi Montparnasse senza frenare.

2.6 Conclusioni

Il sistema stradale ha grandi pregi e grandi difetti, si può dire che entrambi dipendano dal mezzo di trasporto di gran lunga più usato per muoversi all'interno del sistema, ovvero l'auto.

Inquinamento, traffico, spazi angusti, la quasi immobilità per ore, ma anche un proprio abitato protetto da condividere con chi si vuole e che accompagna, che rimane un punto di riferimento anche quando non si sta viaggiando, ma si è lontani da casa, un eventuale rifugio di emergenza e un luogo in cui, all'occorrenza, si può mangiare o persino dormire.

Commercialmente, specialmente in alcuni paesi tra cui il nostro, il sistema stradale e l'auto hanno vinto e hanno portato alla realizzazione di enormi infrastrutture, all'abbassamento dei prezzi delle auto grazie all'economia di scala, e alla diffusione di un numero elevatissimo di auto e ovviamente all'aumento del prezzo della benzina, prima, e del gasolio poi.

È ora chiaro che le problematiche di carattere ambientale, logistico e di sicurezza non sono più ignorabili nell'ambito di un sistema cresciuto a livelli un tempo impensabili e inserito in un contesto di criticità dalla situazione ambientale del pianeta.

Se quindi il sistema stradale è l'unico a fornire la risposta ad alcune esigenze dell'utenza e non può quindi essere abbandonato senza conseguenze sulla qualità della vita, in futuro occorrerà cambiarlo sensibilmente rendendolo più sostenibile, oppure cambiare altri sistemi perché le soddisfino.

3 Il sistema ferroviario



La ferrovia è stata protagonista della rivoluzione industriale e la sua introduzione ha stravolto la percezione delle distanze e le possibilità di viaggiare sulla terraferma, oggi il sistema ferroviario è ancora importante ma è stato sostituito in gran parte dal trasporto su gomma, specialmente in paesi come l'Italia.

Ora l'attenzione per consumi e sostenibilità ha giustamente riaperto l'interesse per un sistema per certi versi estremamente avanzato.

3.1 Il treno

3.2 Logistica e controllo

3.3 Capillarità della rete

3.4 Anche i treni bruciano petrolio

3.5 Vivere un treno

3.6 Conclusioni

La ferrovia nacque in Inghilterra intorno al 1830, grazie all'uso di locomotive a vapore costituiva l'unico mezzo di trasporto terrestre a propulsione meccanica.

Trovò quindi applicazioni straordinarie sia per quanto riguarda il trasporto merci che quello passeggeri rimanendo per lungo tempo il modo di spostarsi largamente più diffuso per tutti i viaggi di una certa lunghezza.

L'automobile si diffuse, per modo di dire, intorno al 1900, ma i costi elevatissimi ne facevano un mezzo di trasporto assolutamente non in grado di competere commercialmente con la ferrovia.

Con gli anni sessanta e la diffusione dell'auto "per tutti" in Italia cominciò un percorso di tra-

sferimento, sia da parte dell'utenza che da parte dell'industria, anche a causa di una volontà politica fortemente improntata allo sviluppo del trasporto su gomma.

In Italia venne, per esempio, realizzata la prima autostrada moderna nel mondo (in competizione con la AVUS tedesca), la Milano laghi, già nel 1924.

Non c'è quindi da stupirsi che la rete ferroviaria sia finita un po' in disparte, in un periodo di grandi innovazioni tecnologiche e rapida crescita economica era anche logico pensare e sentire come nuovo e automaticamente migliore ciò che veniva introdotto, specialmente quando cominciò a consentire di muoversi liberamente e rapi-



Fig. 3.1 Due treni FS in stazione.



damente ad una larga fetta di popolazione.

Per decenni l'auto è rimasta l'elemento base del sogno italiano e ciò ha sicuramente favorito aziende come la Fiat.

Nel 2010 le auto volanti non ci sono ancora, o almeno non sono diffuse come molti pensavano negli anni '90, e il sistema stradale ha raggiunto un livello di saturazione insostenibile.

A peggiorare le cose arrivano allarmi sulle emissioni inquinanti delle auto, problemi di carenza di risorse per la produzione energetica ecc... insomma l'auto è tornata ad essere improvvisamente vecchia, e, sorpresa, la ferrovia è di nuovo il futuro.

I treni a levitazione magnetica in Giappone viaggiano a 400 km/h, più di auto super sportive da un milione di euro e l'Europa progetta una rete internazionale organica di trasporto ferroviario non così veloce, ma comunque veloce.

Oggi la rete ferroviaria è quindi contesa tra passato e futuro, tra antico e moderno e ogni piccolo dettaglio può far pendere l'ago della bilancia da una parte o dall'altra.

Se quindi binari e ruote rimangono arrugginiti e dall'aspetto certamente non high-tech, l'aria condizionata, un tavolino e una presa per la corrente a disposizione per alimentare il proprio computer portatile sono l'immagine di un sistema che si

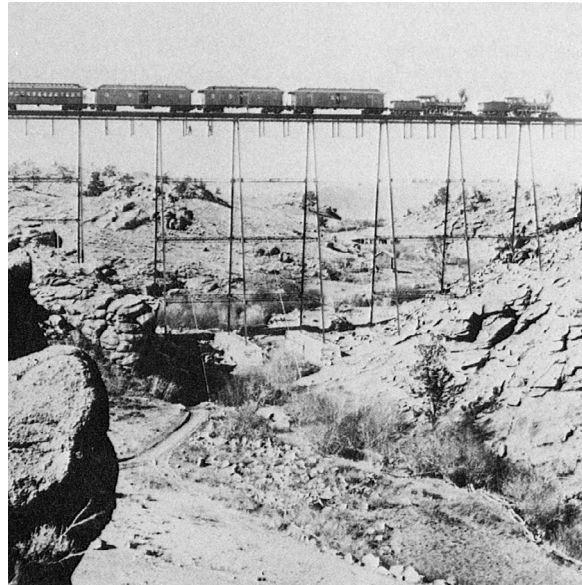
Fig. 3.2 La prima ferrovia in Italia, realizzata nel 1839, collegava a Napoli a Nocera Inferiore.

rinnova, anche se questi non possono che essere i primi passi se si pensa che un'auto di fascia media può avere sistemi audiovisivi e di navigazione molto avanzati, in ogni caso bisogna dire che questi elementi non rappresentano l'innovazione sostanziale, che nei treni in fin dei conti è data dall'aumento della velocità, ma un'innovazione accessoria, comunque rilevante nel determinare la qualità percepita di un viaggio.

I veri vantaggi commerciali della rete ferroviaria rimangono in realtà, come sempre, la possibilità di muoversi a basso costo senza disporre di un proprio mezzo privato e, più recentemente, l'incapacità in molti casi del sistema "concorrente", quello stradale, di soddisfare tutta la richiesta di spostamento con le infrastrutture di cui dispone al momento.

Perché il sistema ferroviario ritrovi la concorrenzialità nei confronti di quello stradale dovrà trovare qualcosa di meglio e cambiare in modo più radicale, altrimenti rimarrà un'opzione obbligata in certe tratte per sfuggire a regolari ingorghi e una valida alternativa solo per tratte molto lunghe al posto dell'aereo grazie all'alta velocità.

In questo capitolo cercheremo di analizzare gli aspetti chiave che determinano le possibilità del sistema ferroviario evidenziando punti di forza, di debolezza e possibili future evoluzioni.



3.1 Il treno

A differenza del sistema stradale il sistema ferroviario è caratterizzato dall'utilizzo di un solo mezzo, il treno.

Ciò accade perché l'infrastruttura usata nel sistema ferroviario, ovvero le rotaie, non è flessibile come una strada, ma impone uno standard costruttivo che rende praticamente obbligatorie l'altezza, la larghezza e una lunghezza massima, ma anche perché usare mezzi di dimensioni più piccole, magari privati, sarebbe costosissimo in quanto si metterebbe a disposizione un'infrastruttura capace di spostare centinaia di persone per volta ad un solo mezzo.

Fig. 3.3 Ponte ferroviario in America in una foto d'epoca.

La ferrovia si basa sulle rotaie e su ruote metalliche che riducono fortemente l'attrito in quanto presentano deformazioni molto limitate, ciò comporta però anche tempi di frenata estremamente lunghi, tali per cui non è di fatto possibile guidare a vista né tenere distanze tra un mezzo e l'altro paragonabili a quelle che si tengono tra due auto su una strada.

Per questo occorre sfruttare al meglio ogni veicolo per sfruttare l'infrastruttura presente, un treno molto piccolo impegna di fatto chilometri di ferrovia per trasportare poche persone, mentre un treno molto lungo impegna sostanzialmente lo stesso spazio ma trasporta molte più persone.

Treni di piccole dimensioni vengono usati solo per coprire tratte molto poco frequentate e, in

ogni caso, sono composti da due o tre vagoni, con una capienza totale di persone superiore a quella di un qualsiasi mezzo che viaggi su strada.

A proposito di vagoni, anche il fatto che un treno sia composto da vagoni non è un optional, ma è dovuto al fatto che un mezzo unico così lungo non potrebbe praticamente curvare senza abbattere ciò che si trova all'interno della curva.

Quindi la morfologia dei treni è dettata dalla conformazione delle ferrovie e viceversa; è un sistema, quello composto da treno e ferrovia, e non ci sono di fatto possibilità di viaggiare su una ferrovia con mezzi molto diversi dai treni che conosciamo oggi.

Cominciamo allora a vedere le caratteristiche di questo mezzi.



Fig 3.4 Un Etr 610 Cisalpino

3.1.1 Architettura

I treni passeggeri sono composti da un numero variabile di vagoni e da uno, due o più locomotori, a seconda della necessità di potenza create dal carico di vagoni da trasportare e della potenza dei locomotori impiegati.

I vagoni passeggeri moderni consentono il transito sicuro da un vagone all'altro, il che rende piuttosto complessa l'unione tra vagoni, che, anche nei casi dove è prevista, è in realtà troppo lenta per essere realizzata "al volo" ed è effettuata



solitamente su treni non in servizio, mentre in alcuni casi non è proprio possibile.

Poter transitare da un vagone all'altro è importante, consente per esempio di salire su un vagone in stazione anche se troppo pieno, spostandosi poi lungo il treno per trovare un posto libero, diminuendo quindi il tempo in cui il treno è costretto a rimanere fermo in stazione.

Consente anche di adibire alcune aree del treno alla ristorazione permettendo ai passeggeri di fruire del servizio in orari diversi durante un viaggio molto lungo, nonché di poter avere comunicazioni dirette con un unico staff di perso-

Fig 3.5 Particolare del sistema di aggancio all'estremo di un vagone.

Fig 3.6 Punto di innesto in un treno a composizione fissa.

nale di bordo e capotreno.

Tuttavia il fatto di poter unire e dividere i vagoni con una certa difficoltà è anche una limitazione in termini di efficienza del treno, che rimane di fatto un mezzo di trasporto rigido, e non modulare come invece era nato; all'interno di una stessa tratta ci possono essere zone molto frequentate e zone frequentate pochissimo, visto che le tratte vengono percorse da un singolo treno onde evitare che i passeggeri debbano scendere e prenderne un altro. Tutto ciò si traduce nell'inutilizzo quasi totale di molti treni in larghe parti del viaggio, specialmente in tratte che partono da zone periferiche e terminano in città, dove i treni sono tipicamente stracolmi verso la città e semi deserti alla partenza.



3.1.2 Locomotive

Le locomotive sono i mezzi adibiti alla trazione e alla guida di un treno, dove con guida si intende sostanzialmente la modulazione della velocità in relazione alle caratteristiche del percorso e alla segnaletica fissa e semaforica.

Breve parentesi sul nome che potrebbe sembrare desueto, con locomotiva si intende secondo Tullio de Mauro “veicolo ferroviario usato per trainare un convoglio, azionato da un motore elettrico, a vapore, a turbina, diesel e sim.; anche in funz. agg.: macchina l.”, mentre il locomotore è “locomotiva dotata di motore elettrico alimentato da una sorgente esterna di energia mediante una linea di contatto aerea”.

Quindi i locomotori sono un sottoinsieme del più ampio insieme delle locomotive, e poiché non tutti i treni sono dotati di locomotori questo capitolo è dedicato proprio alle locomotive, e con ciò chiudiamo la parentesi.

Le prime locomotive erano quelle a vapore, almeno se escludiamo le primissime forme di trazione su rotaie adoperate tramite semplici carri trainati da animali.

Fig 3.7 Costruita nel 1938, la Maillard raggiunse i 203 km/h di velocità.

Le locomotive a vapore raggiungevano velocità di tutto rispetto, addirittura nel 1936 venne raggiunto il record di 200 km/h da una locomotiva a vapore tedesca senza vagoni tra Berlino e Amburgo.

I problemi principali di questo tipo di propulsione sono la scarsa efficienza energetica, la necessità di rifornirsi regolarmente di acqua e carbone, lo scarso comfort operativo per i macchinisti e, in parte, per i passeggeri.

In Italia, a causa della mancanza di sostanziosi giacimenti di carbone, si è diffuso precocemente l'uso di sistemi elettrici già alla fine dell'800, sistemi che andarono poi a sostituire gradualmente le

locomotive a vapore anche nel resto del mondo.

Sono state sperimentate negli anni '30 anche alcune locomotive a turbina con motori simili a quelli aeronautici, che però non hanno avuto grande impiego.

Oggi i tipi di locomotive più in uso sono:

- elettriche
- diesel
- ibride diesel-elettrico

Le locomotive diesel sono usate soprattutto dove è necessario coprire grandi distanze su linee molto poco trafficate.

In questi casi il costo di installazione delle linee



Fig 3.8 Una locomotiva Americana ibrida Diesel - Elettrica.

aeree necessarie ad alimentare elettricamente le motrici non è giustificato e si opta per soluzioni alimentate a gasolio che riducono decisamente i costi dell'infrastruttura, anche se aumentano quelli di esercizio.

I motori diesel, come tutti i motori a scoppio presentano qualche elemento di complessità nella trasmissione della potenza a terra dovuti al regime minimo di rotazione tipico dei motori a scoppio, così in certi casi si usano locomotive ibride che alimentano motori elettrici con motori diesel, un po' come avviene oggi per le moderne auto ibride.

Altre caratteristiche tecniche che meritano di essere menzionate riguardo a locomotori elettrici sono la potenza distribuita e i sistemi di pendolarismo attivi, questi due sistemi hanno consentito di aumentare la velocità dei treni moderni anche in tratte non appositamente progettate.

La potenza distribuita significa che la motrice produce sì l'energia cinetica, ma non la scarica interamente a terra perché così facendo si troverebbe a dover spostare l'intero treno sfruttando solo l'attrito delle sue poche ruote, quindi la potenza viene distribuita agli altri vagoni mediante assi motrici giuntati ad ogni vagone.

Il sistema di pendolarismo attivo invece consente di modificare l'assetto dell'intero treno facendolo inclinare sul fianco in modo tale da ridurre il momento agente sullo stesso in fase di



curva e aumentando la velocità di percorrenza delle curve.

Le locomotive, e quindi gli interi treni, sono controllate da uno o più macchinisti che regolano la velocità in base al tracciato, alla segnaletica e alle informazioni che gli giungono dalle stazioni di controllo. Non sono invece ovviamente in grado di controllare la direzione di movimento del treno che è determinata dai binari e dagli scambi, che sono solitamente motorizzati e controllati a distanza, e che determinano quale direzione prenderà il treno in caso di bivi.

Gli scambi sono l'unica possibilità di manovra di un treno, per questo nelle stazioni, e in tutti i casi in cui sia necessario avere possibilità di manovrare i treni, ne sono presenti moltissimi.

Fig 3.9 Pannello di controllo di unamotrice.



3.1.3 Le carrozze

La carrozza ferroviaria è un vagone, non motorizzato, specificatamente progettato per il trasporto di passeggeri, fornito di servizi e facente parte della composizione dei treni.

Fin dall'inizio della storia ferroviaria si è avvertita la necessità di avere vetture adatte al trasporto passeggeri con capacità di carico maggiore rispetto a quelle trainate da cavalli in uso fino a quei tempi. Le prime vennero messe in circolazione in Gran Bretagna nel 1838 sulla linea ferroviaria Londra-Birmingham.

Nei primi treni storici non era rara la presenza, affiancata alle vetture passeggeri, dei vagoni adatti al trasporto cavalli o di carrozze



complete, poiché i viaggiatori erano spesso obbligati al loro uso per terminare gli itinerari di viaggio, un po' come accade oggi con i traghetti.

Le prime carrozze italiane furono costruite nel 1850, si trattava di corti veicoli interamente in

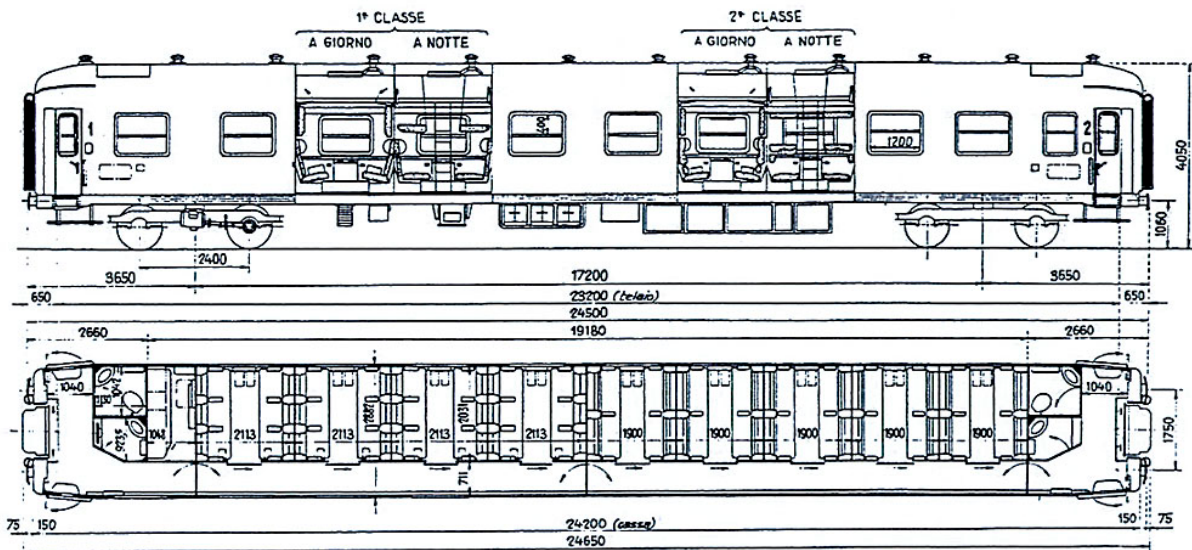


Fig 3.10 (in alto) Una carrozza UIC - Z1

Fig 3.11 (in basso) Prospetto e pianta di una carrozza UIC-Y.



legno, telaio e cassa inclusi, rinforzati con bande e travi d'acciaio, illuminate da candele e senza la possibilità di passare da una carrozza all'altra senza scendere dal treno.

Oggi le carrozze sono costruite in lamiera metallica e lunghezza di 20/25 m, i collegamenti tra una carrozza e l'altra, sia che siano fissi sia che prevedano la giunzione e la disgiunzione degli stessi, possono essere attraversati per passare da una carrozza all'altra, di solito sono previsti anche soffietti o altre parti di collegamento per proteggere i passeggeri dagli agenti atmosferici durante il transito.

Il telaio poggia solitamente su due assi, ciascuno dei quali composto da un carrello a due assi

imperniato per poter ruotare in modo da minimizzare attriti e sollecitazioni con le rotaie, specialmente durante le curve, e minimizzare i rischi di deragliamento.

Sui vagoni moderni sono installati sistemi di illuminazione, trattamento dell'aria, connessioni per alimentazione a 220v e almeno un servizio igienico per ogni carrozza.

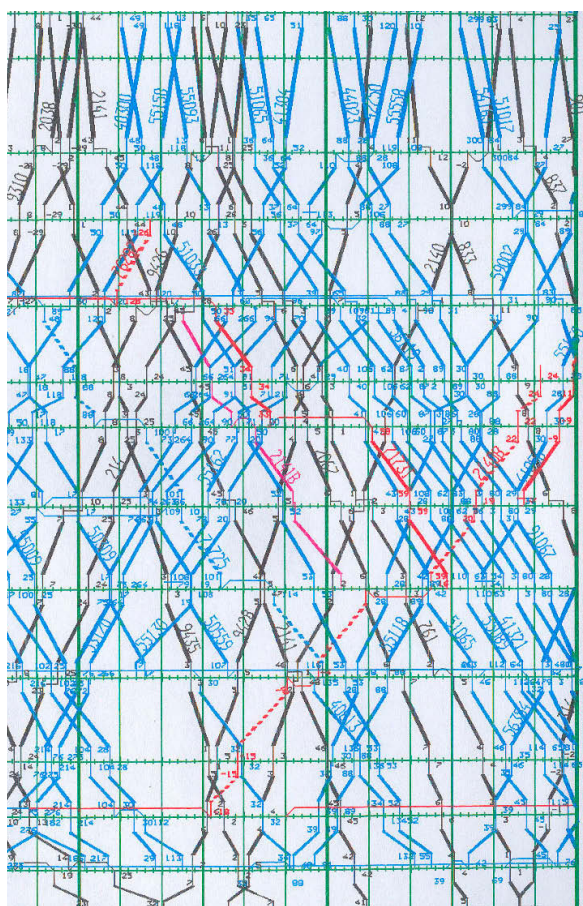
Allo stato attuale in ogni caso molte carrozze ferroviarie tuttora in uso sono tutt'altro che moderne, specialmente nelle ferrovie locali, e su questo tipo di carrozze la situazione di comfort durante il viaggio lasciano a desiderare, specialmente in condizioni di affollamento dalla vettura.

Alcune carrozze, dette semipilota, sono dotate

Fig 3.12 Carrozza Ciz 39117 tipo 1928

di una cabina di guida che permette il controllo a distanza della motrice, consentendo l'inversione di un treno spinto da una sola motrice senza effettuare manovre aggiuntive.

Oggi sono disponibili anche carrozze in grado di fornire servizi particolari come carrozze ristorante, panoramiche, notte, bagagliaio ecc...



3.2 Logistica e controllo di un sistema complesso

Il sistema automobilistico si basa sulla formazione dei viaggiatori che vengono “addestrati” a seguire regole di comportamento, anche rispetto alle infrastrutture e rispetto agli altri veicoli.

La gestione logistica dei mezzi è dunque decentralizzata, d'altronde quando è stata creata l'automobile non era nemmeno pensabile che qualcuno potesse controllare dove questa fosse, a che velocità viaggiasse e che strada stesse percorrendo.

Il sistema ferroviario invece, sin dalla sua nascita, ha ricercato una gestione centralizzata e progettata dal traffico sulla rete, ciò sicuramente dipende in parte dal minor numero di veicoli da gestire, in parte dalla natura poco elastica delle infrastrutture ferroviarie che per loro natura prevedono un traffico “quantizzato”, ovvero consentono il passaggio di un solo treno alla volta sullo stesso binario, ma soprattutto perché la direzione del treno davanti ad un bivio la deve comandare qualcuno esterno al treno, che attivi lo scambio.

Se quindi la rete stradale si è supportata su continui ampliamenti infrastrutturali per adeguarsi

Fig 3.13 Grafico di transito dei treni su una linea.

alle nuove esigenze di traffico, la rete ferroviaria ha lavorato anche sulla gestione delle informazioni per ottimizzare la sicurezza e la capacità delle linee.

3.2.1 Nascita

Le prime tratte ferroviarie, quasi sempre a binario unico, presentavano notevoli problemi in termini di gestione del traffico, anche perché, non esistendo ancora il telegrafo, il treno era non solo il mezzo più veloce per spostarsi, ma anche il più veloce per comunicare, quindi le informazioni su un treno in arrivo ad una stazione non arrivavano che col treno stesso.

Essendo gli spazi di frenata dei treni, nono-

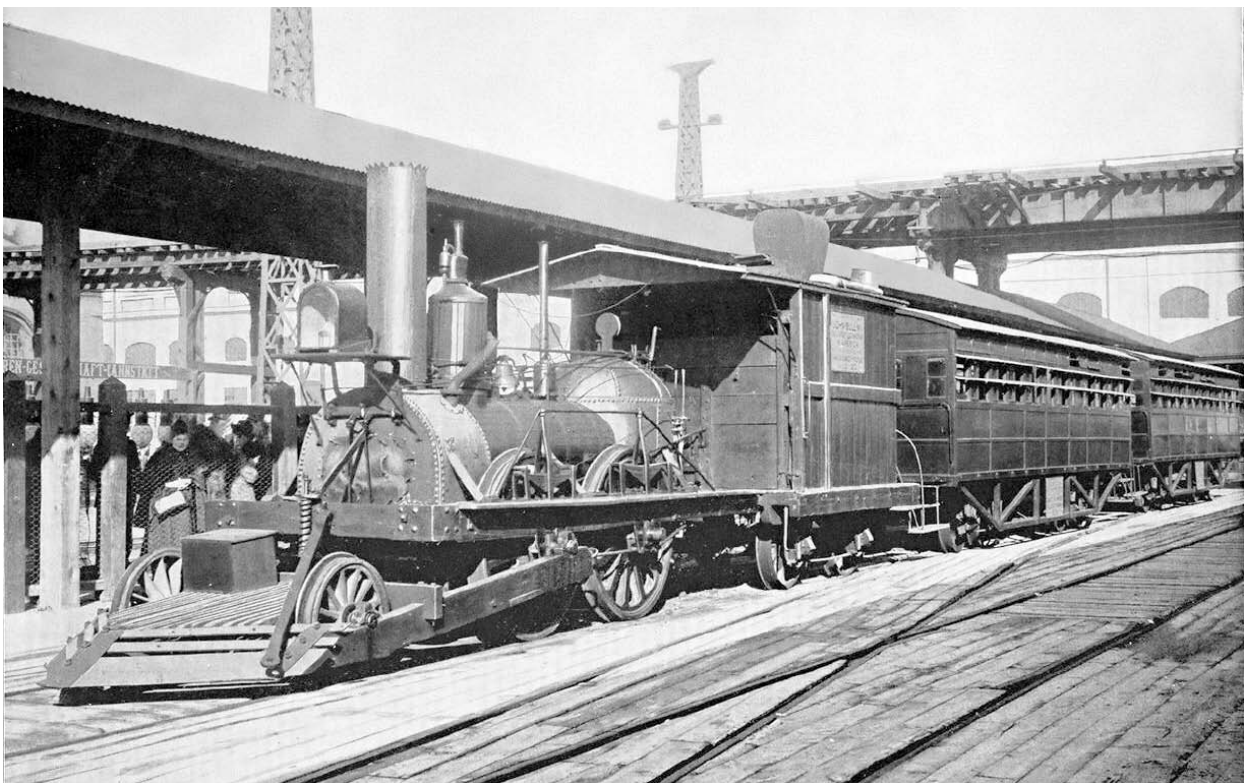


Fig. 3.14 Una stazione americana nel 1831

stante le velocità contenute, elevatissimi, non si poteva certo fare affidamento sulla vista per evitare scontri, anche perché si viaggiava in due sensi di marcia sullo stesso binario. D'altronde anche l'impostazione dell'abitacolo del macchinista delle locomotive dell'epoca fa chiaramente capire che frenate repentine non erano previste, in quanto la visibilità era limitata e il macchinista non poteva lasciare sempre lo sguardo fisso avanti, come si fanno ora i macchinisti che non devono gestire una macchina a vapore.

L'unica soluzione allora perseguibile per limitare il rischio di incidenti era quella di immettere in una tratta ferroviaria un treno alla volta, aspettando l'arrivo di un treno per poi mandarne un altro nel verso opposto, che arrivando a destinazione avrebbe assicurato alla stazione precedente che la tratta era vuota.

Purtroppo non sempre i treni si muovevano in entrambe le direzioni, e allora il capostazione, dopo aver inviato un treno su una tratta, non poteva che sperare che il treno non avesse avuto guasti e inviare il secondo.

Il sistema ferroviario si basava quindi già su un sistema informativo che consentiva di organizzare i viaggi, sistema informativo che ha poi superato la rudimentalità iniziale con l'invenzione del telegrafo che avverrà di lì a poco, addirittura **in certi casi erano presenti dei guardiani che controllavano l'eventuale presenza di ostacoli**

sui binari e la comunicavano al macchinista tramite gesti, concettualmente la tecnica non differisce di molto dal funzionamento dei moderni sistemi di sicurezza che impediscono ai treni di tamponarsi.

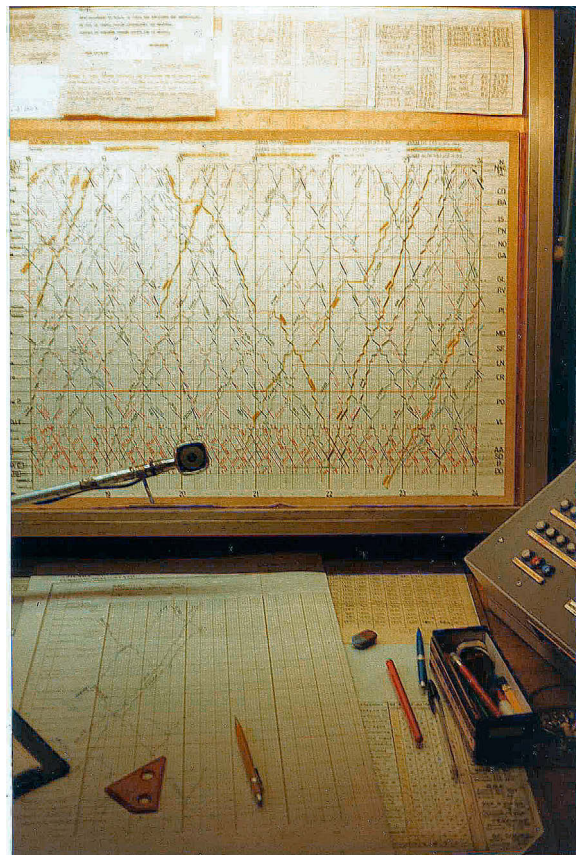
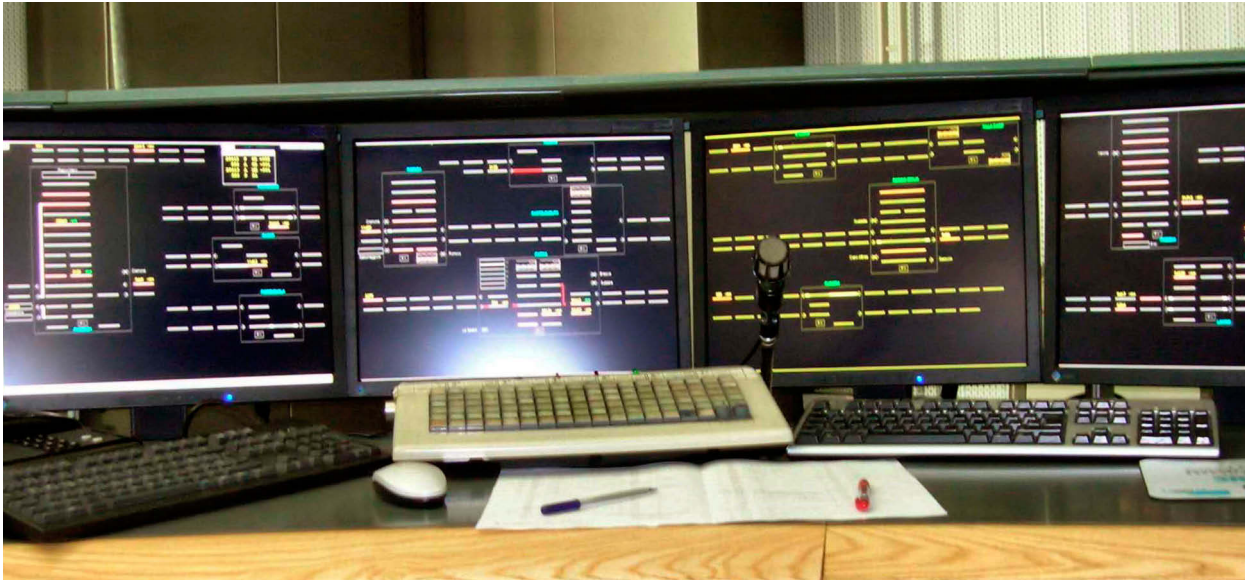


Fig. 3.15 Strumenti di gestione del traffico ferroviario prima dello sviluppo di sistemi computerizzati.



3.2.2 Oggi

Oggi la gestione dei treni in movimento è centralizzata non solo all'interno delle singole tratte, ma anche a livello globale per gestire le integrazioni tra più di una tratta.

I sistemi informatici consentono una gestione agile di un numero elevatissimo di treni e di riorganizzare velocemente e al meglio i programmi in caso di ritardi.

Ci sono sistemi di sicurezza sulle linee che consentono ai treni di viaggiare sullo stesso binario a distanze relativamente ravvicinate senza rischiare di scontrarsi.

I diversi tipi di treni vengono guidati in modo

da migliorare l'efficienza del sistema, facendo combaciare i sorpassi con le stazioni, scegliendo ogni volta a chi dare la precedenza in base al suo ritardo, ma anche alle conseguenze che si riflettono a causa di un eventuale ritardo dei due treni coinvolti.

Il fatto di guidare non a vista, ma guidati da un sistema informativo globale consente ai treni, dove dotati di infrastrutture adeguate, di raggiungere velocità elevatissime in sicurezza.

La guida e il monitoraggio di ogni treno avviene su più livelli, a livello delle stazioni, delle linee e a livello di più linee.

In ogni caso la gestione di tutti i treni in viaggio, almeno per le linee di una certa importanza, è una cosa piuttosto complessa che impiega una grande quantità di risorse in termini di personale

Fig 3.16 Sistema di gestione computerizzato di una linea ferroviaria.

e attrezzature.

Il problema è che all'aumentare del traffico all'interno della linea, o della stazione, non solo aumenta il numero dei treni, ma aumentano altrettanto velocemente il numero di treni su cui la variazione di un orario di arrivo, partenza o transito ha effetto.

La complessità della gestione aumenta, quindi, se si può quantificare numericamente, al quadrato del traffico controllato.

D'altronde anche l'importanza di una gestione consapevole e attenta di ogni mezzo è tanto più importante quanto più alto è il traffico, il che giustifica senz'altro l'impegno necessario.

Per altro i moderni software consentono una gestione integrata di un'intera rete ferroviaria, aiutando i gestori a comprendere velocemente le conseguenze delle azioni in risposta ai problemi che incontrano.

3.2.3 Problemi legati alle rotaie

Le rotaie hanno dei vantaggi importanti, per esempio consentono il facile spostamento di pesi enormi, di limitare la resistenza al rotolamento, di semplificare la guida del mezzo e consentono a mezzi così lunghi di fare delle curve senza rischi.

Altro vantaggio non da poco è la possibilità di incrociare a velocità elevate e a distanze ridotte, ciò non è possibile per esempio per le auto che, all'aumentare della velocità, tengono distanze tra loro sempre maggiori, anche lateralmente.

Il rovescio della medaglia è che un treno può spostarsi da un binario principale solo se ciò è stato previsto, tipicamente in corrispondenza di una stazione.

Se un treno si guasta non può quindi accostare, ma blocca il binario, quindi a volte anche tutta



Fig. 3.17 Binari e scambi prima di Stazione Centrale a Milano

la linea ferroviaria, per la durata della riparazione del guasto.

Anche la movimentazione dei vagoni nelle stazioni è molto lunga e laboriosa rispetto a quello che sarebbe se ci fosse un piazzale asfaltato.

Insomma l'utilizzo dei binari è portatore di una forte rigidità del sistema, il quale per funzionare bene ha bisogno di una gestione accurata e di una elevata affidabilità di tutti i suoi elementi, nonché della massima capacità previsionale possibile.

Non bisogna pensare che altri sistemi non avrebbero bisogno di questi elementi, piuttosto in questo caso si sono palesati come indispensabili sin dall'inizio, mentre in altri sistemi, come quello stradale, emergono solo ultimamente e sono comunque di più difficile soluzione visto il numero di elementi coinvolti.

3.3 Capillarità della rete

Nell'immagine che segue è rappresentata in buona approssimazione la rete ferroviaria italiana.

Le linee grigie rappresentano linee ferroviarie utilizzate, quelle in arancio sono sottoutilizzate, quelle in rosso e in verde sono in disuso.

Una prima considerazione da fare e che ci ha colpito immediatamente è che l'intera rete ferroviaria italiana si può facilmente rappresentare su una mappa stampata su un foglio A4 di questo volume.

La stessa cosa con la rete stradale sarebbe assolutamente impraticabile, gli atlanti stradali sono dei volumi interi, solitamente divisi per nord, centro e sud Italia.

La seconda cosa che non quadra è che esistono linee di colore rosso o verde, che esistono linee in disuso. Ciò può significare sostanzialmente quattro cose:

- chi ha deciso la realizzazione delle infrastrutture che oggi sono in disuso ha fatto un errore clamoroso, poiché se non conviene usarle nemmeno quando già sono pronte, tantomeno conviene realizzarne di nuove.

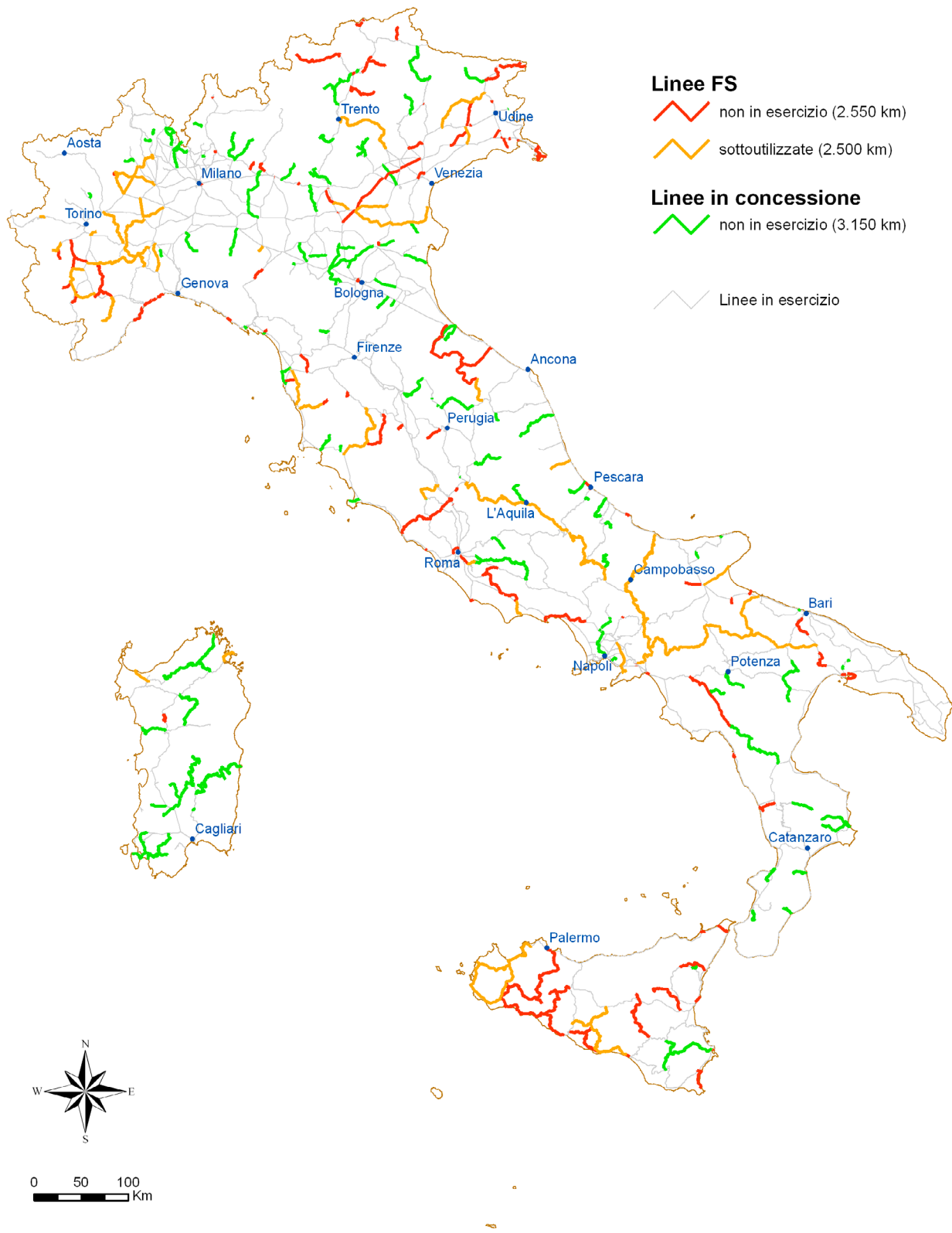


Fig 3.18 Rete ferroviaria Italiana.

- chi ha deciso la realizzazione delle linee ipotizzava una gestione diversa delle linee stesse che rendesse conveniente il loro utilizzo
- è calata la domanda

L'ipotesi più plausibile è probabilmente l'ultima, quello che è certo, perché si vede dalla mappa, è che **è in atto una riduzione della capillarizzazione della rete, il che d'altro canto è spesso un effetto di un calo di domanda**, ma che sul sistema ferroviario ha un effetto di doppio danno sulla sua appetibilità.

Infatti non solo cala il numero di persone che abitano vicino ad una stazione ferroviaria, ma cala anche il numero di luoghi in cui queste persone possono recarsi.

E il problema non è solo quello di reti usate e non usate, ma anche di indirizzamento delle risorse per nuove infrastrutture. Su 16,146 km di linea la rete ferroviaria italiana ne ha solo 5.303 a doppio binario ed elettrificata, quando la rete a doppio binario in Francia è quasi estesa come l'intera rete italiana (km.15.135 pari al 44,66% della intera rete SNCF) ed in Germania la rete a doppio binario elettrificata è di poco inferiore a quella francese (12.267 km pari al 43% di tutta la rete DB).

Questa situazione è il frutto di una politica dei trasporti compiuta dopo il II^ conflitto mondiale che, assegnando ai trasporti strada-

li ingenti risorse, ha lasciato in stato di abbandono gran parte della rete ferroviaria.

Se si aggiunge, come indicatore di "ruolo" della parte di rete a doppio binario, che circa il 99% di essa è elettrificata (mentre per le linee a binario unico l'elettrificazione si limita al 32%), si avverte, tenendo conto delle diverse potenzialità (150-200 e più treni al giorno per il doppio binario e 50-70 per il binario unico), che una così pesante discriminazione di offerta influisce sulla distribuzione del traffico tra le diverse linee, con la concentrazione su 6.000 km di linee (37,5 della rete) di circa l'84% del traffico complessivo.

Una squilibrio all'interno della rete che si ripercuote sulla domanda, ed è da ciò che deriva un problema di saturazione che non è certamente risolvibile con la costruzione di nuove tratte da affiancare alla tratte già sature delle direttrici principali in quanto accrescerebbe l'anomalia citata.

La concentrazione del traffico su una limitata parte di rete determina un modesto livello di servizio in termini di eccessiva lunghezza dei treni passeggeri, di congestione a bordo degli stessi (viaggiatori in piedi per lunghe o brevi tratte), flussi instabili come risulta dalle irregolarità e dei ritardi.

La rete ferroviaria, vista in termini in ramificazione chilometrica, è diventata incomparabilmente meno estesa della rete stradale, che

ammonta oggi in Italia a oltre 440.000 Km, con riflessi pesanti sull'efficienza e la rapidità del servizio. Anche le poste italiane rinunciano a servirsi delle Ferrovie per gli invii di corrispondenza e optano per il trasporto su strada ritenuto più rapido.

C'è insomma una tendenza generalizzata a dismettere le tratte ferroviarie meno utilizzate che di fatto danneggia l'efficienza e l'appetibilità dell'intera rete, in un periodo dove le gravi problematiche del sistema stradale potrebbero rappresentare una grande occasione di rilancio.

I forti investimenti sulle linee ad alta velocità, in assenza di un programma di capillarizzazione della rete e di riutilizzo delle tratte dismesse, potrebbe relegare l'appetibilità del sistema ferroviario ad una nicchia di viaggi di scala intermedia tra quelli tipicamente compiuti in auto e quelli tipicamente compiuti in aereo, invece che diventare un'alternativa credibile al sistema stradale.

3.4 Anche i treni bruciano petrolio

Spesso si sente parlare del trasporto pubblico, ed in particolar di quello ferroviario, come alternativa a quello automobilistico per la riduzione del consumo di petrolio e delle emissioni di gas in atmosfera.

Quello che per molti non è chiaro è che anche i treni inquinano e bruciano petrolio, anche se non hanno, di solito, motori e tubi di scappamento.

I treni sono infatti alimentati da energia elettrica che viene prodotta nelle centrali elettriche, e come abbiamo già visto in precedenza in Italia il 78,6% dell'energia elettrica è prodotto bruciando combustibili fossili, quindi andando in treno abbiamo solo un 21,4% dell'energia utilizzata che deriva da fonti "pulite", per lo più dall'idroelettrica in Italia.

A proposito di idroelettrica vale la pena di aprire una breve parentesi.

Quando parliamo di inquinamento solitamente facciamo riferimento ad un'alterazione dello stato "normale" del pianeta creato dall'uomo e potenzialmente dannoso, direttamente o indirettamente, per l'uomo stesso.

Pochi sanno che in Italia è proprio la produzione di energia idroelettrica ad aver provocato il maggior numero di morti per kwatt-ora⁹, visto che le dighe che vengono realizzate a volte sono causa di disastri di proporzioni devastanti. Pur sperando che in futuro la coscienza delle persone, la tecnologia e la conoscenza nel campo consentano di realizzare dighe che non rischino di crollare, e in valli i quali pendii non sia-

no tipicamente a rischio di frane, dobbiamo constatare che per il momento l'energia idroelettrica è una fonte di energia estremamente inquinante e dannosa, dove per inquinante ci riferiamo ai danni generati all'uomo, ma anche agli animali, ai vegetali e all'ambiente in generale.

Tornando ai treni possiamo quindi affermare che se i treni sono certamente meno inquinanti delle auto i motivi sono altri.

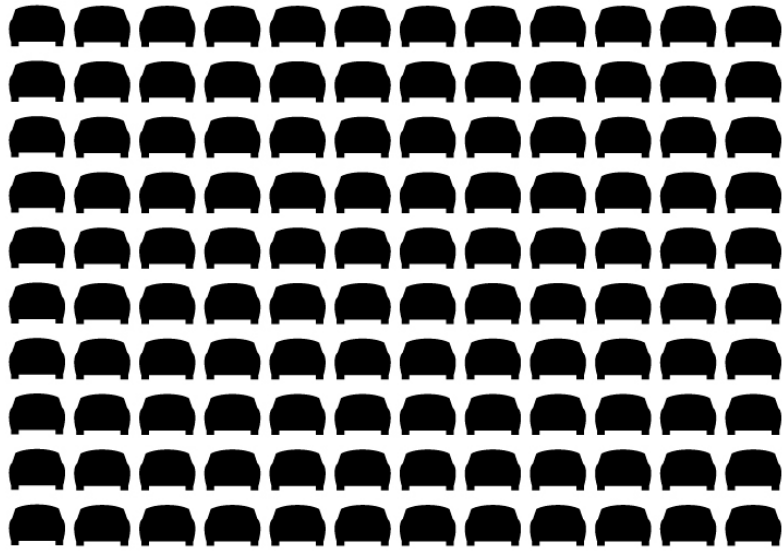


9 I costi ambientali e sociali della mobilità in Italia, Pier Luigi Lombard e Andrea Molocchi, editore Franco Angeli, 2007, Milano

Fig. 3.19 La zona dopo il disastro del Vajont, che costò la vita a quasi duemila persone.



600 Persone = 1 Treno



600 Persone = 120 Auto

3.4.1 Migliore efficienza aerodinamica dei treni

Il vagone di un treno ospita solitamente 60/70 posti a sedere di seconda classe, quindi un treno di una decina di vagoni arriva ad avere 600/700 posti.

Lo stesso numero di posti si otterrebbero con 120/140 automobili.

La resistenza aerodinamica è uguale alla superficie incidente del mezzo moltiplicata per il coefficiente di penetrazione e la velocità al quadrato.

Proviamo quindi a confrontare le superfici incidenti di un treno e di un numero di auto tale da

poter ospitare tutti i passeggeri del treno.

Pare a questo punto chiaro quanto un treno sia aerodinamicamente “snello” in relazione al numero di passeggeri trasportati, differenza che aumenta di importanza all’aumentare della velocità.

In realtà anche i fianchi del treno, pur non facendo parte della superficie incidente, generano attrito (nel calcolo fisico del fenomeno la dinamica viene inclusa nel coefficiente di penetrazione), specialmente se le giunzioni tra i vagoni non sono perfette, inoltre bisogna considerare gli apparati ospitati al di sotto delle carrozze che, non essendo in vista, sono ben lontani dal generare una superficie piana capace di far scorrere facil-

Fig. 3.20 Superficie incidente di un treno e di 120 auto, necessari per spostare 600 persone tramite i sistemi ferroviario e stradale.

mente l'aria nello spazio compreso tra il vagone e il terreno.

Continuando a fare due conti sappiamo che una motrice moderna per collegamenti intercity capace di viaggiare a 200 km/h ha una potenza di 5600 kw, pari a circa 7200 cv.

Se dividiamo la potenza per il numero di auto che un treno simile otteniamo 60 cv per auto, auto con cinque posti e potenze simili raggiungono circa 150 km/h con consumi molto elevati.

3.4.2 Minori attriti sul terreno

Le ruote di acciaio, che appoggiano sulle rotaie, anch'esse di acciaio, si deformano in modo minimo e fanno quindi una resistenza al rotolamento ridotta, che aumenta in modo relativamente modesto anche in caso di grandi carichi.

Esso è quindi un sistema ad elevato rendimento perché permette il trasporto di notevoli quantità di carico utile per unità di sforzo di trazione. Infatti, alla velocità di 50 km/h, in pianura e in rettilineo, si richiede per l'avanzamento una forza di 2,5-3,0 kg ogni 1.000 kg trainati su ferro, mentre su strada si richiede una forza di 20-30 kg. Siamo cioè nel rapporto circa di 1/10 per la resistenza al moto (resistenza al rotolamento + resistenza dell'aria).

Incrementando la velocità, il rapporto diventa ancora più favorevole alla ferrovia poiché la resistenza al rotolamento nel contatto ferro-ferro si incrementa meno di quanto non avvenga nel contatto pneumatico-asfalto; inoltre si incrementa meno anche la resistenza dell'aria.

Lo stesso rapporto si registra, mediamente, in termini di energia: per "produrre" una tonnellata/km occorrono 400 chilocalorie per un autocarro a gasolio e 60 per un mezzo diesel ferroviario.

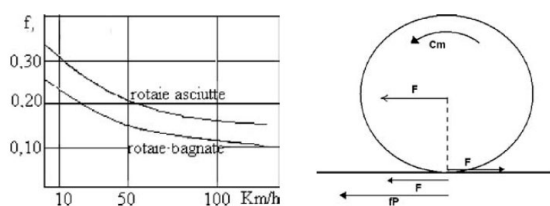


Fig. 3.22 Schema delle forze che agiscono sulla ruota di un treno e diagramma dell'attrito al variare della velocità, la possibilità di decelerare di un treno sono molto inferiori rispetto a quella di un'auto.

3.4.3 Marcia più regolare del mezzo

Il sistema informativo e gestionale della marcia dei treni consente di avere marce molto più regolari rispetto a quelle di un'auto, che deve rispondere invece prontamente alle irregolarità e agli imprevisti del traffico.

Un'auto che si avvicina ad un semaforo non può sapere quando questo diventerà verde, o se riuscirà a passare prima del rosso.

Quindi l'auto arriva a velocità sostenuta sin nei pressi del semaforo (alti consumi), poi frena per fermarsi al semaforo, per poi ripartire (alti consumi).

Se l'auto fosse in collegamento con il sistema semaforico potrebbe tenere sin dall'inizio una velocità tale da giungere al semaforo con il verde, risparmiando energia; il sistema ferroviario permette, in parte, questo.

Un treno riesce quindi a compiere un numero molto limitato di accelerazioni e frenate, inoltre può muoversi con motori non particolarmente potenti, almeno non in rapporto alle dimensioni del mezzo da spostare, in grado di accelerare meno il mezzo, che sono quindi meno pesanti e meno energivori.

3.4.4 Evoluzioni

Sulla doppia frontiera risparmio energetico più aumento della velocità ci sono progetti interessanti di cui vale la pena parlare.

La prima innovazione sostanziale, che è già una realtà, anche se i costi molto elevati di realizzazione delle linee la rendono commercialmente competitiva solo su tratte particolarmente affollate, è la levitazione magnetica.

A riguardo i paesi più attivi nella ricerca sono il Giappone e la Germania, in Giappone esistono già alcune linee ferroviarie a levitazione magnetica percorse da treni che viaggiano a 500 km/h, grazie alla totale eliminazione degli attriti eccetto quello dell'aria.

Le tecnologie usate sino ad ora sono principalmente due.



3.23 Un treno a levitazione magnetica (Maglev)



La prima è chiamata sospensione elettromagnetica e consiste nell'uso di elettromagneti tradizionali posti sotto al binario e solidali al treno, che vengono attratti verso l'alto sollevandolo.

L'equilibrio è instabile e deve essere continuamente compensato per tenere il treno sollevato dal binario di circa 1cm.

La seconda tecnologia usata è la sospensione elettrodinamica, che usa magneti raffreddati sino alla superconduzione.

Entrambe queste tecnologie non solo sono piuttosto costose, ma implicano l'uso di energia per tenere sollevato il treno, cosa che a livello

teorico non dovrebbe richiedere energia.

Ecco quindi che si sta studiando una terza tecnologia, potenzialmente molto più economica e quindi la prima vera candidata ad una maggiore diffusione, che consiste nell'uso di magneti permanenti.

Questa tecnologia si basa sull'utilizzo di elettromagneti non alimentati (passivi) e di magneti permanenti. La teoria si basa sull'utilizzo delle correnti indotte dai magneti permanenti negli elettromagneti quando questi attraversano, in movimento, le linee di campo prodotte dai magneti permanenti. Questa tecnologia necessita di corrente solamente durante il movimento del

mezzo e la quantità necessaria è direttamente proporzionale alla velocità del mezzo.

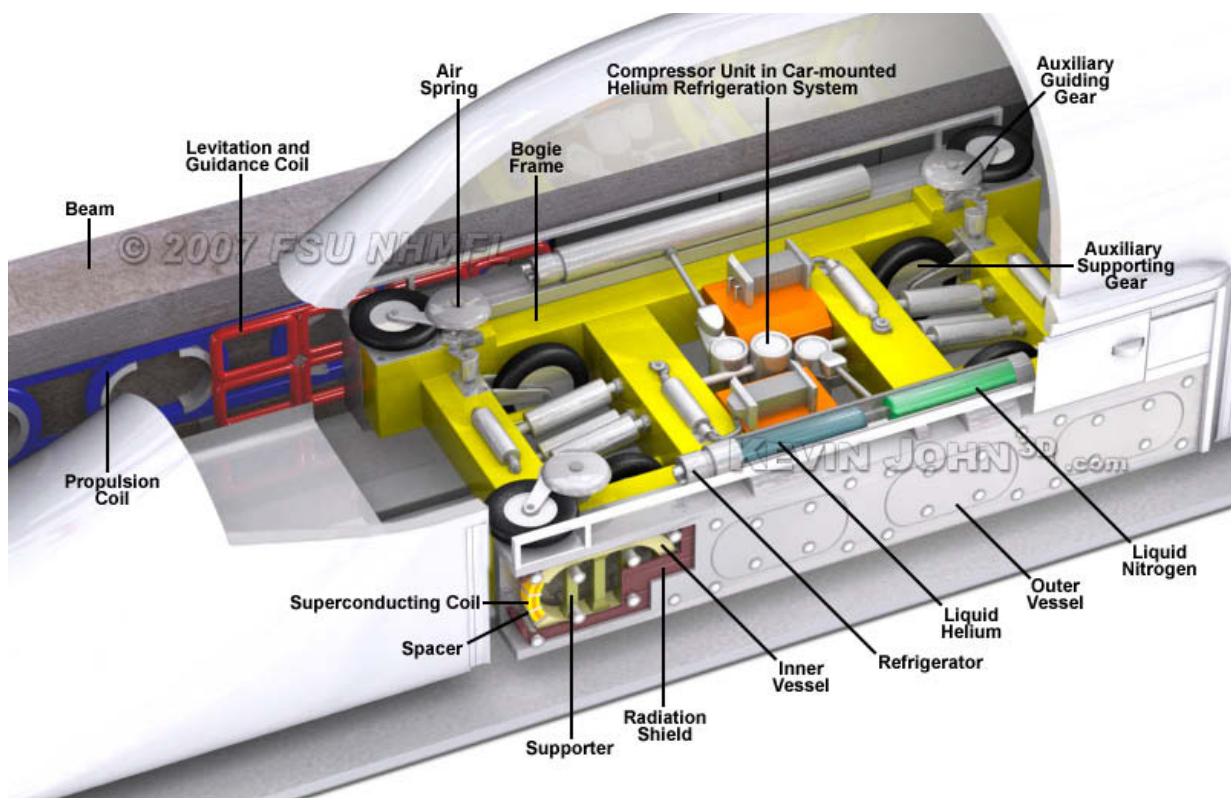
Nel prototipo i magneti permanenti erano montati sul carrello orizzontalmente per l'altezza e verticalmente per la stabilità. I magneti e il carrello non sono alimentati se non per dare velocità al carrello.

Inductrack venne sviluppato originariamente per creare un motore magnetico che immagazzini energia attraverso il movimento del carrello. Con delle leggere modifiche al progetto la linea originale che era un cerchio chiuso è stata estesa per diventare una retta.

L'Inductrack è stato sviluppato dal fisico Richard Post del Lawrence Livermore National Laboratory.

L'inductrack utilizza degli Array Halbach per stabilizzarsi. Gli Array Halbach sono un insieme di magneti permanenti che stabilizzano il movimento nelle linee di forza magnetiche senza bisogno di elettronica, questi elementi infatti incrementano il campo magnetico da un lato cancellandone la presenza dal lato opposto.

Gli Array Halbach vennero sviluppati originariamente per stabilizzare il fascio degli acceleratori di particelle. Inoltre generano un campo



3.25 Schema degli apparati necessari al funzionamento di un treno a levitazione magnetica.



magnetico solo dal lato rivolto verso la pista riducendo i potenziali effetti indesiderati subiti dai passeggeri.

Arrivando a sfiorare la fantascienza, in Svizzera è stato proposto lo Swissmetro, una linea ferroviaria sotterranea a levitazione magnetica.

Secondo questo progetto il treno corre in un tunnel in cui è creato un vuoto non spinto, in modo da migliorare gli effetti aerodinamici. La velocità massima prevista è di 500 km/h. È previsto un asse Est-Ovest da Ginevra a San Gallo e un asse Nord-Sud da Basilea a Bellin-

zona.

Malgrado le sovvenzioni della Confederazione le possibilità di vedere realizzato il progetto nel sottosuolo elvetico sono molto basse, i responsabili del progetto hanno quindi cominciato delle trattative con la Cina.

Fig. 3.26 Interno di un Etr 500

3.5 Vivere un treno

Il sistema ferroviario ha il vantaggio di non chiedere ai viaggiatori di lavorare per il sistema stesso guidando, la gestione dei mezzi di trasporto usati è infatti completamente svolta dal sistema durante tutta la marcia del treno, o meglio da personale in servizio per il funzionamento del sistema.

Sulla carta viaggiare in treno dovrebbe essere quindi un'occasione per rilassarsi sfruttando il tempo del viaggio, per socializzare,

anche per lavorare nel caso servisse.

Nella pratica tutto questo si avvera solo in parte, in molti casi viaggiare in treno è considerato addirittura un grave disagio e ci sembra lecito domandarsi perché.

I fattori che solitamente determinano lo scadere della qualità percepita di un viaggio sono due: la conformazione delle tratte che determina di fatto un “dover agire” da parte del viaggiatore ed una notevole riduzione del tempo utile al rilassarsi o al lavorare durante il viaggio e la qualità degli ambienti in cui sono posizionati i passeggeri.

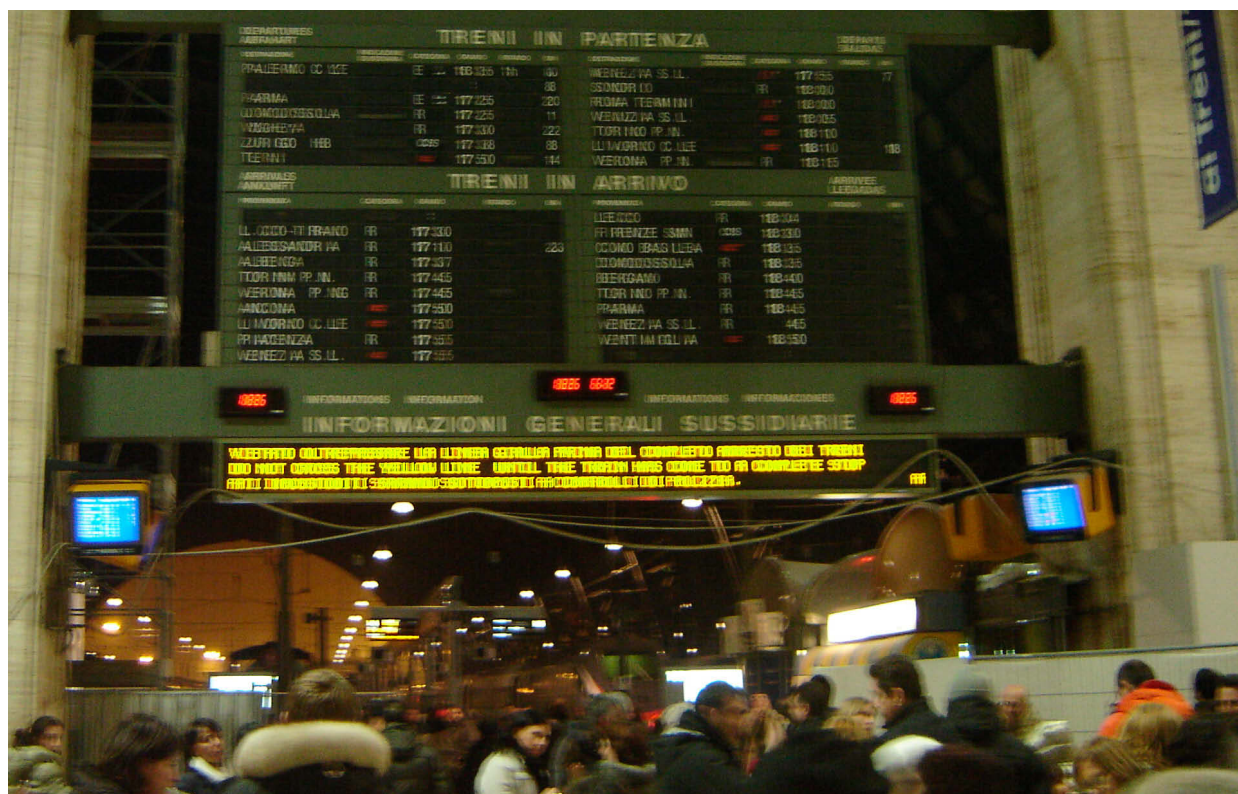


Fig. 3.27 Interno della stazione centrale a Milano.

3.5.1 Conformazione delle tratte

La scelta di un treno in una stazione può essere paragonata alla scelta di una direzione ad un incrocio, rappresenta di fatto il modo di guidare di un passeggero all'interno del sistema ferroviario.

Per chi si muove all'interno delle tratte principali la vita è semplice, ma in certi casi non lo è affatto, specialmente quando si deve traslare all'interno dei livelli del sistema per viaggiare su scale diverse.

Una recente pubblicità di Trenitalia mostrava due viaggiatori, soli sul vagone di un eurostar, di cui uno sorseggiava elegantemente un bicchiere di vino rosso, mentre l'altra era una ragazza che lanciava sguardi di intesa all'enologo.

Al di là dell'assoluto irrealismo di quell'immagine, che è quasi truffaldina se consideriamo che per avere un calice di vino in un vagone passeggeri il viaggiatore dovrebbe portarsi dietro bicchiere e bottiglia, e certamente un intenditore, come la pubblicità ci vuol far credere essere il viaggiatore maschio, non apprezzerrebbe un vino servito alla temperatura sbagliata.

Se consideriamo che trovarsi in due su un vagone è un evento rarissimo e che nel caso succeda le possibilità che l'alto passeggero sia una ragazza bellissima sono altrettanto rare.

In ogni caso anche scremando l'immagine pubblicitaria dal palese irrealismo il viaggio apparirebbe piuttosto piacevole, caro (perché viaggiare in eurostar in prima classe può essere facilmente più costoso che viaggiare in auto), ma piacevole.

Il problema è che il viaggio, il "tempo viaggiato", il viaggio in eurostar, rappresenta quasi sempre solo una piccola parte del viaggio nella sua interezza.

Il resto del viaggio lo potremmo chiamare "tempo fermo" ed è fatto di attese, binari, banchine, code, biglietti da timbrare, folla, rumore, chiamate di ritardi, monitor, oppure treni locali, a volte affollatissimi, spesso in condizioni di aerazione, temperatura e illuminazione pessime.

Il tutto condito con il disagio di doversi muovere con l'intero bagaglio al seguito, stando ben attenti che nessuno se ne impossessi o che venga reputato una minaccia terroristica.

Il risultato è che l'"usabilità" del sistema ferroviario dipende fortemente dalla tratta da percorrere, ed in particolare dal rapporto tra "tempo viaggiato" e "tempo fermo".

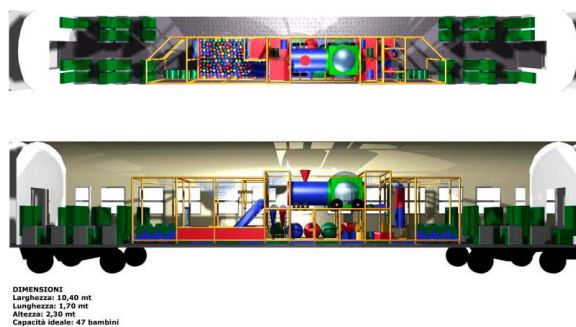
3.5.2 Qualità dell'ambiente

Al di là di temperatura, umidità e qualità dell'aria, i punti critici del vivere un viaggio in treno sono per lo più di natura prossemica e sociale.

In particolare il treno si caratterizza in chiave prossemica come un “non luogo” che, ci dice Marc Augè, sono spazi anonimi frequentati da individui soli, non in grado di creare una socialità organica.

Se ciò avviene per tutto il trasporto pubblico, nel treno la condivisione degli spazi è spesso forzosamente intima e gli spazi concessi ad ogni viaggiatore sono quasi sempre inferiori a quelli socialmente codificati.

Nell'analisi dei comportamenti dei viaggiatori si riscontrano infatti delle strategie atte a creare un proprio spazio di intimità, che viene annullato



solo in caso di necessità, per esempio appoggiando oggetti personali negli spazi adiacenti come borse, giacche o giornali¹⁰.

In un articolo del 2007 Gary Evans quantifica, con il contributo di 139 pendolari della tratta New Jersey-Manhattan, lo stress subito dai passeggeri a causa del sovraffollamento dei mezzi di trasporto usati.

Secondo il docente della Cornell University lo stress subito dai passeggeri non dipende dalla reale concentrazione di persone nell'unità di spazio, ma esclusivamente dalla quota di invasione dello spazio personale dei viaggiatori, spazio che non è geometricamente definito, ma che varia a seconda dell'orientamento della persona e dalla presenza di barriere fisiche e logiche tra i soggetti.

I treni sono quindi spazi spesso mal progettati che tendono a forzare relazioni prossemiche di irrealistica intimità in un “non luogo”, peggiorando la qualità percepita del viaggio e facendo

Fig 3.28 (In alto) Progetto di un vagone per bambini.

Fig. 3.29 (In basso) Interno di un treno giapponese, le coppie di sedili si possono ruotare per cambiare la configurazione delle sedute.

¹⁰ Erving Goffman, “L'ordine dell'Interazione”, 1971

preferire un viaggio su un mezzo privato.

Certo le barriere auspiccate da Evans potrebbero essere limitative per le situazioni di viaggio dove invece esiste, magari perché già presente all'inizio del viaggio, una reale intimità prossemica, ma questo aspetto sarebbe sicuramente risolvibile attraverso una progettazione attenta alla flessibilità semiotica degli elementi e degli spazi.

Un esempio pratico possono essere i braccioli ribaltabili tra un sedile e l'altro, che sono molto spesso usati proprio come delimitatori di spazi che come strumenti per migliorare il comfort della seduta.

3.6 Conclusioni

Il sistema ferroviario è in diretta concorrenza con quello stradale. Rispetto a questo si sta trovando ad essere di fatto commercialmente perdente nella maggior parte dei casi, risulta invece vincente quando:

- non è possibile viaggiare in auto, per esempio perché non si ha un'auto, in tal caso rispetto

ad un viaggio in autobus il viaggio in treno è più competitivo.

- il sistema stradale è saturo, quindi molti utenti si trasferiscono sull'unica alternativa.
- si devono compiere tratte molto lunghe servite da linee ad alta velocità.

Il quadro non è per la verità molto positivo per il sistema ferroviario, infatti la tendenza nell'ultimo decennio in Europa è stata quella di ridurre i km di linee servite, in particolare rinunciando alle tratte minori e puntando a saturare quelle maggiori.

Il problema è che chiudere una tratta minore non vuol dire solo rinunciare a quella parte di clientela, ma vuol dire anche limitare le possibilità di viaggio dell'utenza che ancora è servita, con un doppio danno per entrambi.

In questi anni la ferrovia è stata rivalutata perché necessita di infrastrutture più snelle, consuma meno energia e quindi inquina meno, ma è logico che sin che questi fattori non verranno a influenzare l'appetibilità per gli utenti gli equilibri commerciali tra il sistema stradale e ferroviario rimarranno gli stessi.

Di fatto chi viaggia in auto non paga la realizzazione delle infrastrutture né gli effetti del suo inquinamento, questi costi sono sostenuti dallo stato, cioè da tutti, anche da chi non usa l'auto, quindi a livello commerciale questi pro-

blemi non hanno effetto.

Per riequilibrare le cose sarebbe opportuno caricare queste spese su chi usa l'auto, aumentando il costo del viaggiare in auto che, oggi, non è così diverso dal costo del viaggiare in treno.

A questo punto la concorrenza tra i due sistemi sarà, sarebbe, ad armi pari e la scelta degli utenti sarebbe effettivamente in linea con la convenienza globale dei sistemi stessi.

Tuttavia gli investimenti pubblici nel sistema ferroviario sono stati, almeno in Italia, molto mirati all'alta velocità e poco al resto delle linee, è quindi probabile che, se la linea politica non subirà bruschi cambiamenti, la tendenza sarà di relegare l'uso della ferrovia alle lunghe percorrenze ad alte velocità, magari in alternativa all'aereo e alle periferie dei grandi agglomerati urbani, mentre per le altre tratte continuerà ad essere un ripiego usato da chi per qualche motivo non può usare l'auto, sempre che la tratta in questione venga mantenuta attiva.

4 La metropolitana



La metropolitana è un sistema di per sè molto simile a quello ferroviario, ma che grazie alle sue particolari caratteristiche è diventata quasi indispensabile nei grandi centri urbani, diventando di fatto l'unico modo per muoversi velocemente in alcune città.

4.1 Nascita e storia

4.2 Infrastrutture

4.3 Automazione e sicurezza

4.4 I veicoli

4.5 La rete

4.6 Conclusioni

La metropolitana non è di per sé sostanzialmente differente da una ferrovia, anche se nella applicazione reale si riscontrano delle differenze.

Ciò che caratterizza la metropolitana non è certo il fatto di viaggiare in galleria, anche perché in molti casi non è così, non è nemmeno il fatto di disporre di una rete isolata dalle altre e quindi immune da interferenze e limitazioni dovute al traffico su altre reti, infatti anche la rete ferroviaria in molti casi gode di questo vantaggio, così come ne godono di solito i livelli più alti del sistema stradale, che non presentano mai incroci.

Ciò che caratterizza la rete metropolitana, che la determina e ne raggruppa tutti gli esemplari in un'unica categoria è il suo uso, ovvero trasportare grandi quantità di persone rapidamente da un punto all'altro di una città.

Rapidamente non vuol dire che le metropolitane viaggino effettivamente veloci, in realtà sono piuttosto lente, il discorso è che in città le distanze non sono di solito elevatissime, se non fosse che per percorrerle i tempi sono molto lunghi a causa dei percorsi tutt'altro che rettilinei e delle esigenze del traffico, a Napoli la velocità media di un autobus è di 12 km/h, seguendo percorsi spesso resi tortuosi da esigenze di posizionamento delle fermate, sensi unici, edifici, pendenze ecc...

Il fatto che il contesto, ovvero la grande città,

fosse determinante per la definizione di metropolitana ce lo suggerisce d'altronde già il nome che deriva, per l'appunto, da metropoli.

La norma UNI 8379 definisce la metropolitana come “un sistema di trasporto in aree urbane provvisto di sede propria che non abbia interferenzialità con altri sistemi di trasporto, cioè che abbia completa separazione del tracciato dagli altri sistemi di trasporto. Poiché viene realizzato in aree urbane è per lo più sotterraneo ma può anche essere in trincea, a raso o in sopraelevata”.

Pare un po' eccessivo l'accento posto sulla indipendenza della rete dagli altri livelli di trasporto, che non può essere in realtà un criterio di discriminazione, ma una caratteristica tipica.

Infatti seguendo questa definizione potremmo chiamare metropolitane anche alcune funivie turistiche posizionate in area urbana, ma anche servizi di traghetti che oggettivamente rispettano i requisiti dettati dalla norma.

La norma UNI 8379 fornisce anche dei parametri identificativi di massima delle metropolitane:

- portata potenziale media: 18000 pax/h dir
- frequenza media per direzione: 4 minuti
- capacità di ogni convoglio: 1200 persone
- distanza media stazioni: 600-1000 m
- velocità commerciale: 25/30 km/h
- lunghezza massima del convoglio: 150 m



che sicuramente aiutano a capire di cosa stiamo parlando, ma che, non facendo parte di una definizione, non sono vincolanti.

A questa definizione si aggiunge anche quella di metropolitana leggera, di grande attualità, che si accosta sostanzialmente alla prima diversificandola per quanto riguarda la portata: “ (...) un sistema di trasporto che, sia pure con capacità oraria di trasporto minore (rispetto a una metropolitana classica), è completamente svincolato da qualsiasi altro tipo di traffico e con regime di circolazione regolato da segnali, mantenendo quindi le caratteristiche di base delle metropolitane”.

In questo capitolo parleremo di metropolitane, sia leggere che pesanti, dove con metropolitane intendiamo sistemi di trasporto ra-

vido mediante mezzi pubblici di grandi flussi di persone in aree fortemente urbanizzate.

Riteniamo di grande importanza questo tipo di trasporto perché gode di un grande successo e apprezzamento da parte dell’utenza rappresentando quindi un punto di riferimento per gli altri trasporti pubblici che non godono, di solito, dello stesso favore dell’utenza.

Fig. 4.1 Metropolitana di Città del Messico, la più estesa d’America Latina e una delle più estese del mondo

4.1 Nascita e storia

Ancora all'inizio del mille ottocento vennero costruiti alcuni tunnel ferroviari e stazioni interrato, anche se non si possono considerare metropolitane vere e proprie in quanto lo scopo principale era quello di far fronte a pendenze eccessive e le tratte sotterranee non erano molto lunghe, anche perché lunghe tratte sotterranee richiedono l'uso di soli treni alimentati elettricamente.

La prima vera linea metropolitana al mondo è stata comunque quella di Londra, chiamata

ancora oggi "Underground" o "The Tube".

Essa ha cominciato a operare il 10 gennaio 1863, attualmente ha 414 km di linee. La proposta pare essere stata avanzata dall'allora sindaco, Charles Pearson, motivato dal caos insopportabile per le vie del centro, anche a causa del mancato interscambio diretto tra le varie stazioni ferroviarie della città. Nel 1860 venne costituita così la Metropolitan Railway Company, il cui nome verrà riportato con la prima linea. Fino al 1890 le metropolitane correvano principalmente in superficie. Solo in quell'anno l'elettrificazione consentì di portarle sotto terra, con la prima linea interamente sotterranea a Londra. Sempre



Fig. 4.2 Lavori per la costruzione della metropolitana di Londra in una stampa dell'epoca.

nel Regno Unito sono ancora oggi in funzione le antiche metropolitane di Glasgow e Newcastle realizzate rispettivamente nel 1880 e nel 1896.

La prima vera linea di metro nell'Europa continentale venne costruita nel 1896 a Budapest, in Ungheria: ancora oggi la prima linea, è largamente preservata nel suo stato originale, come il suo nome, Földalatti; inoltre è stata la prima in Europa in cui la trazione elettrica fosse fornita da cavi aerei.

La prima linea della metropolitana di Parigi è stata inaugurata invece nel 1900 ed è ancora oggi nota come "Métro", abbreviazione di "Chemin de Fer Métropolitain". In tempi molto più recenti si sono aggiunte le reti di Marsiglia (1977), Lione (1978), Lilla (1983), Tolosa (1993) e Rennes (2002). Rouen e Strasburgo hanno delle reti tramviarie che corrono in sede propria, spesso sottoterra, e fungono da metrotramvie.

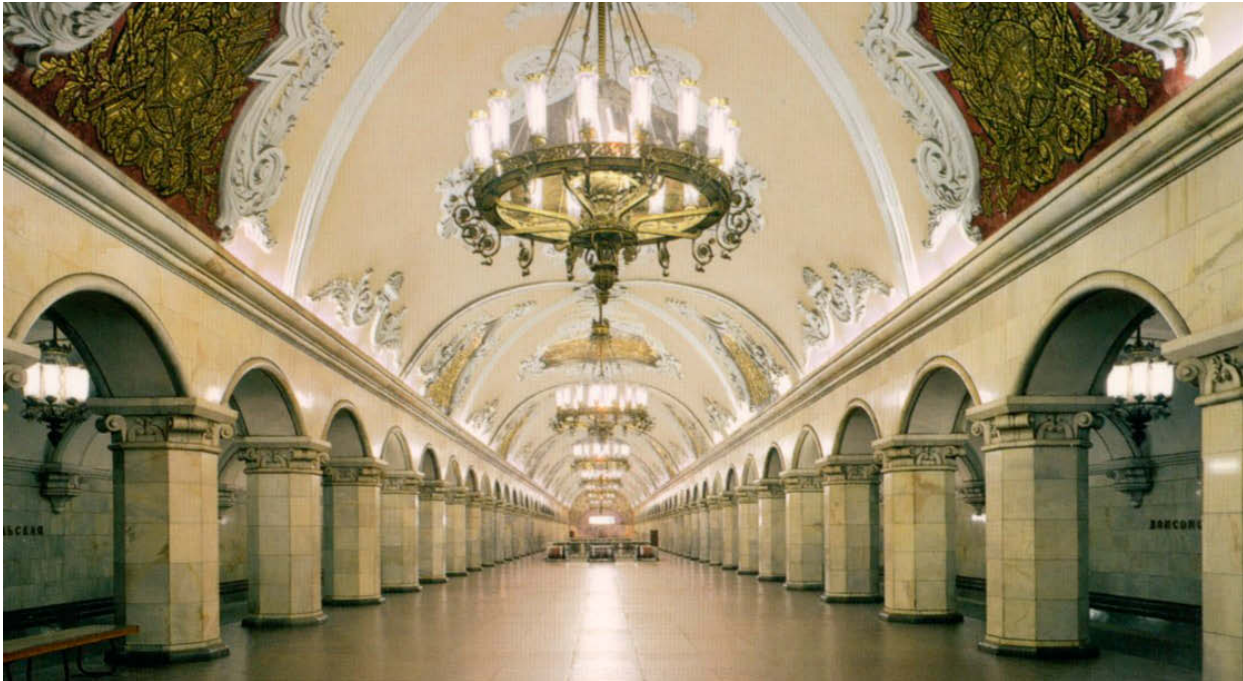
L'"U-Bahn" di Berlino ha cominciato a operare nel 1902 e ha molte linee che corrono in viadotto. Dieci anni dopo, nel 1912, è stata la volta di Amburgo, oggi dotata di una rete molto estesa, mentre solo negli anni settanta le metropoli bavaresi di Monaco (1971) e Norimberga (1972) hanno messo in funzione le loro linee. Diverse città tedesche hanno poi reti miste che comprendono sia "S-Bahn" (cioè ferrovie suburbane) che linee tramviarie potenziata ("Stadtbahn") particolarmente veloci e frequenti dotate di sede



propria riservata, spesso in galleria: è il caso di Essen (1967), Francoforte (1968), Colonia (1968), Mannheim (1969), Stoccarda (1970), Bielefeld (1971), Hannover (1975), Dortmund (1976), Bonn (1979), Düsseldorf (1981), Bochum (1989), Duisburg (1992), Gelsenkirchen (1994), Rostock (2003). Altre grandi città, come Brema, Karlsruhe, Dresda, Lipsia, Magdeburgo, Kassel, Münster hanno delle estese reti tramviarie, spesso con tratti sotterranei, che comunque non possono essere ritenute delle vere metropolitane. Casi a parte sono quelli delle ferrovie sospese, come ad esempio quella di Wuppertal, la "SchwebeBahn".

La prima metropolitana dell'ex Unione Sovietica (in russo "метро") è stata aperta nel 1935 a Mosca; sono poi seguite San Pietroburgo (1955), Kiev (1960), Tbilisi (1965), Baku

Fig. 4.3 Una stazione della metropolitana di Parigi.



(1967), Kharkov (1975), Tashkent (1977), Yerevan (1981), Minsk (1984), Nižnij Novgorod (1985), Novosibirsk (1986), Samara (1987), Ekaterinburg (1991), Dnipropetrovsk (1995) e Kazan' (2005). Volgograd e Kryvyj Rih hanno dagli anni ottanta una rete "metrotramviaria", cioè operata in sotterranea da classici tram urbani. Sono in costruzione reti simili a Donec'k, Perm', Odessa e Ufa.

Nell'Europa orientale, oltre Budapest, sono dotate di reti metropolitane, spesso costruite seguendo il modello sovietico, le città di Praga (1974), Bucarest (1979), Varsavia (1995) e Sofia (1998). A breve dovrebbe essere inaugurata

una rete leggera a Cracovia. A Belgrado la messa in funzione della prima linea è attesa per il 2008.

In Spagna le corse della metropolitana di Madrid, oggi una delle più estese ed efficienti del mondo, sono cominciate nel 1919. Barcellona ha seguito la capitale nel 1924. In tempi molto più recenti è stata la volta di Valencia (1988), Bilbao (1995), Palma di Maiorca (2007) e Siviglia (2009). È in costruzione da tempo una rete a Siviglia. Lavori in corso anche a Malaga e Alicante.

A Chicago negli Stati Uniti nel 1893 cominciò il suo servizio la prima metropolitana "sopraelevata" del mondo a trazione elettrica, che divenne altresì la prima a essere dotata, nel 1897, del MUTC (sistema di controllo multiplo del treno),

Fig. 4.4 Una stazione della metropolitana di Mosca.

che consentiva ai treni di non essere trainati da una locomotiva. Boston ha il più antico tunnel ancora in funzione degli Stati Uniti, dato che è parte della “Green Line” risale al 1897. La metropolitana di New York, nota come “Subway”, aprì il suo primo tratto nel 1904; nel 1907 fu la volta di Filadelfia. In tempi più recenti a queste città “apripista” si sono aggiunte Cleveland (1955), San Francisco (1972, con il suo “BART” - Bay Area Rapid Transit), Washington (1976), Atlanta (1979), Baltimora (1983), Miami (1984), Los Angeles (1990) e Saint Louis (1993). Molte città nordamericane (Portland, Sacramento, Salt Lake City, Denver, San José, Las Vegas, Dallas, Houston, Jacksonville, Detroit, Minneapolis, Buffalo, Pittsburgh e San Diego) hanno sistemi misti che comprendono una o più linee di metropolitana leggera spesso abbinata a reti tramviarie in sede propria. A breve linee di questo tipo dovrebbero

entrare in funzione anche a Phoenix e Seattle.

La “Subway” di Toronto, in Canada, è stata inaugurata nel 1954 ed è stata la prima al mondo con treni interamente in alluminio (dal 1963). Il “Métro” di Montreal ha cominciato le sue corse nel 1966. Sempre in Canada dal 1986 è in funzione la metropolitana di Vancouver, mentre hanno reti “leggere” le città di Calgary, Ottawa e Edmonton.

La più antica rete metropolitana dell’Asia è quella di Nagoya, in Giappone, inaugurata dalla società “Meitetsu” nel 1895 (anche se servizi urbani regolari sono cominciati solo nel 1957), seguita un anno dopo da quella di Tokyo. Altre grandi città nipponiche dotate di metropolitana sono quelle di Osaka (1933), Sapporo (1971), Yokohama (1972), Kobe (1977), Kyōto (1981), Fukuoka (1981), Sendai (1987), Hiroshima (1994), Kitakyushu (1995), Naha (2003) nel-



Fig. 4.5 La “Elevated” di Chicago.

l'isola di Okinawa.

Negli ultimi trent'anni numerose città della Corea hanno sviluppato moderne ed estese reti metropolitane. La più grande è quella della capitale sudcoreana Seul (1974); altre sono a Pyongyang (1973) - capitale della Repubblica Democratica di Corea, Busan (1985), Daegu (1997), Incheon (1999), Gwangju (2004) e Daejeon (2006).

In Cina, dopo Pechino (1969), hanno costruito delle metropolitane le città di Tianjin (1980), Shanghai (1995), Canton (1999), Shenzhen (2004), Wuhan (2004), Nanjing (2005), Chongqing (2005). Sono presenti delle linee anche a Hong Kong (1979) e a Taipei (1996), capitale di Taiwan. Sempre in Asia hanno la metropolitana Manila (1984), Singapore (1987), Kuala Lumpur (1996) e Bangkok (1999).

In Italia si può considerare come prima metropolitana l'attuale linea B della metropolitana di Roma, inaugurata il 9 febbraio 1955.

Oltre a Roma, dispongono di una metropolitana classica le città di Catania, Milano e Napoli.

Sempre a Napoli, così come a Genova e Torino (ed entro il 2012 anche a Brescia), è in servizio anche una linea di metropolitana leggera, a Perugia, invece, un originale sistema a fune detto "Minimetrol".

4.2 Infrastrutture

Elemento fondamentale per la realizzazione e il funzionamento della metropolitana sono le infrastrutture necessarie al transito dei treni, che nella maggior parte dei casi vanno molto oltre i semplici binari, ma includono opere di genio civile da realizzare in contesti problematici.

La realizzazione di queste infrastrutture comporta problematiche enormi anche a causa dei lunghi tempi necessari per la realizzazione della linea e, di conseguenza, ai gravi e prolungati disagi e aggravamenti del traffico veicolare in superficie durante i lavori.

Tuttavia una metropolitana tradizionale trasporta intorno alle 20.000 persone/h per direzione, un flusso di persone tale si ottiene, per fare un esempio, con una strada dotata di dieci corsie per senso di marcia, quindi spesso i disagi iniziali vengono ampiamente recuperati con l'utilizzo successivo grazie alla disponibilità di un mezzo di trasporto pubblico che, in alcuni contesti, è molto comodo e veloce se paragonato al muoversi in auto o, a maggior ragione, con un autobus o un tram.

4.2.1 Metropolitane in galleria

La tipica metropolitana pesante di modello europeo viaggia in galleria, specialmente nelle aree più centrali delle città.

Far viaggiare i treni in galleria non comporta per la verità grandi problemi tecnici, infatti i treni sono alimentati elettricamente quindi non emettono localmente nessun gas di scarico e il consumo di ossigeno è limitato a quello consumato dai passeggeri, facilmente ripristinabile con un certo ricambio dell'aria.

Il problema di solito è legato proprio alla realizzazione delle gallerie, che avviene oggi mediante TBM, (tunnel boring machine), macchine di grandi dimensioni la cui progettazione e sviluppo iniziano nel 1845 ad opera di Henri-Joseph Maus, che progettò la Mountain Slicer per scavare il tunnel ferroviario del Frejus, che in realtà fu scavato dieci anni più tardi mediante perforazione pneumatica.

La prima TBM usata con successo fu costruita solo nel 1950 da F.K. Mitry per scavare la Oahe Dam di Pierre, in South Dakota.

La macchina si dimostrò in gra-

do di scavare 50 m al giorno, dieci volte più veloce di ogni altro strumento di scavo dell'epoca. L'elemento rivoluzionario fu la testa rotante, che caratterizza ancora oggi tutte le TBM.

Queste macchine consentono di scavare nella roccia o nel terreno, rimuovere il materiale asportato e mettere in sicurezza il foro in continuo, senza fermarsi mai.

Vengono usate anche per scavi sottofalda o, importante per quanto riguarda la costruzione di gallerie per la metropolitana, possono essere usate speciali TBM dotate di sistemi per la compensazione della pressione sulla roccia scavata in modo da evitare qualsiasi cedimento a livelli superiori che, in ambito urbano, potrebbe significare danneggiamenti agli edifici sovrastanti.

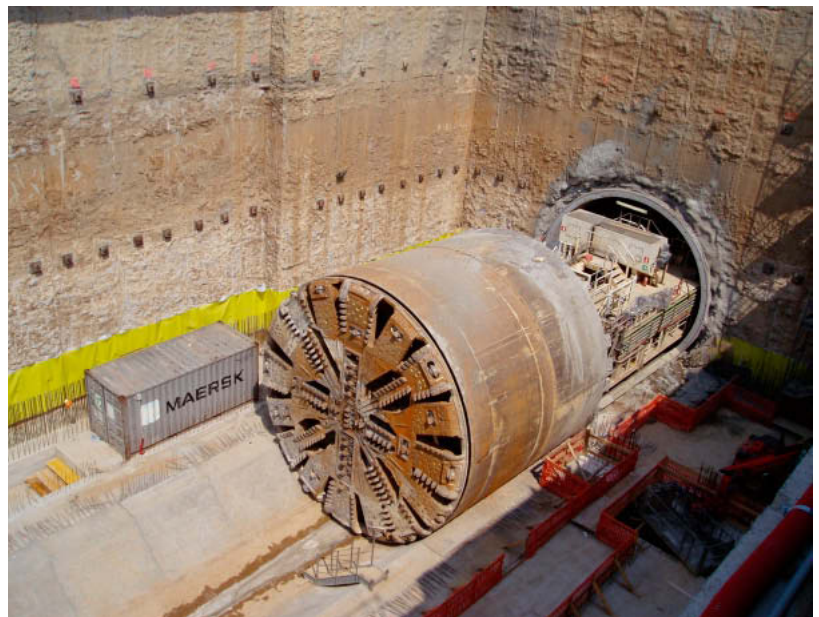


Fig. 4.6 Una TBM all'opera.



Le TBM possono curvare sul piano orizzontale e verticale per seguire precisamente il percorso di progetto “entrando” negli scavi lungo il suo tragitto per ospitare le stazioni.

Per contro queste macchine sono molto costose, intorno ai dieci milioni di euro, e molto ingombranti, le dimensioni variano a seconda della macchina, ma l’altezza e la larghezza coincidono ovviamente con il diametro del tunnel da scavare, mentre la lunghezza è spesso notevole, nell’ordine delle decine o addirittura centinaia di

metri.

Anche il trasporto delle molteplici parti che compongono la macchina e il loro assemblaggio, che avviene in loco, sono operazioni che richiedono tempi ed energie notevoli.

Per questo il transito in galleria viene di solito adottato nei centri storici e nelle aree urbane dove non c’è spazio per soluzioni alternative o queste risulterebbero troppo impattanti.

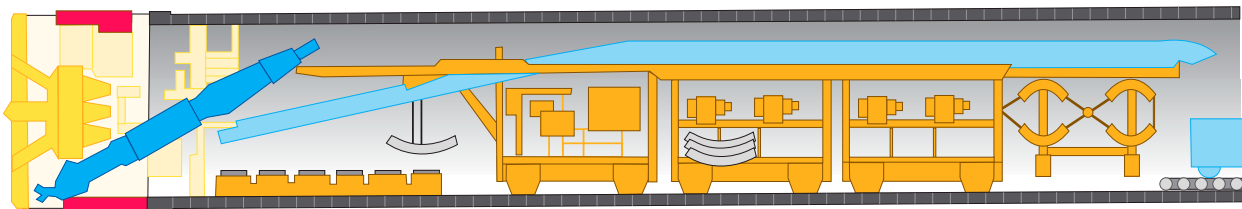


Fig. 4.7 (In alto) La testa di una grossa TBM

Fig. 4.8 (In basso) Schema della TBM usata per la realizzazione della metropolitana a Brescia.

4.2.2 Metropolitana sopraelevata

In alcuni casi, più frequentemente per quanto riguarda le metropolitane leggere, si sceglie di far transitare le linee della metropolitana sopra al livello stradale, costruendo strutture sopraelevate sostenute da pilastri.

La prima ferrovia sopraelevata fu inaugurata nel 1902 a Berlino. In totale ci sono tre città tedesche nelle quali ancora oggi si utilizzano ferrovie sopraelevate per il trasporto pubblico locale: Berlino, Amburgo e Wuppertal. Le ragioni per la più sontuosa progettazione di ferrovie sopraelevate era da ricercarsi soprattutto nella mancanza di appezzamenti di terreno appropriati per una fer-

rovia a livello del terreno. Inoltre non era ancora realistico costruire tunnel corrispondenti secondo le condizioni tettoniche durante le prime fasi di progettazione.

Ad Amburgo fino al 1947 venne impiegata la denominazione *pars pro toto* (parte uguale al totale in lingua latina) per l'intero sistema, l'azienda che gestiva la metropolitana di Amburgo si chiama ancora oggi Hamburger Hochbahn AG (Hochbahn è il termine tedesco per ferrovia sopraelevata). Circa due terzi della ferrovia sopraelevata di Amburgo corrono sopra il terreno, di cui circa la metà come "vera" ferrovia sopraelevata.

Anche a Chicago, dove la metropolitana per la maggior parte è su una struttura sopraelevata, è diventato comune il termine *elevated* o sempli-



Fig. 4.9 La vecchia ferrovia sopraelevata a New York



cemente El.

La metropolitana di New York è stata inizialmente costruita prevalentemente come ferrovia sopraelevata, nel corso dei decenni tuttavia quasi tutti i viadotti furono sostituiti da tunnel (ecco perché si ha la definizione Subway al posto della El di Chicago), portando così all'abbandono delle linee sopraelevate come la High Line.

I tratti sopraelevati con parecchie stazioni dei primi tempi della metropolitana si trovano anche a Berlino, a Vienna e a Parigi. La Schwebbahn di Wuppertal è una forma alternativa di ferrovia sopraelevata dell'inizio del XX secolo, definita meglio come ferrovia sospesa. La ferrovia sopraelevata di Liverpool al contrario è stata dismessa e smantellata ed è finora l'unico sistema di ferrovia sopraelevata completamente dismessa nel mondo.

Oggi alcune città italiane di medie e grandi dimensioni si stanno dotando di metropolitane leggere, spesso questi nuovi progetti prevedono soluzioni alternative che con percorsi misti di cui una parte su viadotti sopraelevati e ciò permette di limitare i costi di realizzazione dell'infrastruttura.

Spesso la spinta a interrare i percorsi arriva da problemi "ambientali" e di impatto visivo, ma più probabilmente da problemi di natura estetica e di presunta perdita di valore degli immobili della zona, uniti invece a seri problemi di rumorosità che possono essere sostanzialmente ridotti adottando, come è prassi in questi casi, sistemi che prevedano l'uso di ruote gommate, che rendono il passaggio della metropolitana meno rumoroso di quello di un'auto, in quanto non c'è il rumore provocato dal motore.

Fig. 4.10 Una moderna sopraelevata a Bangkok

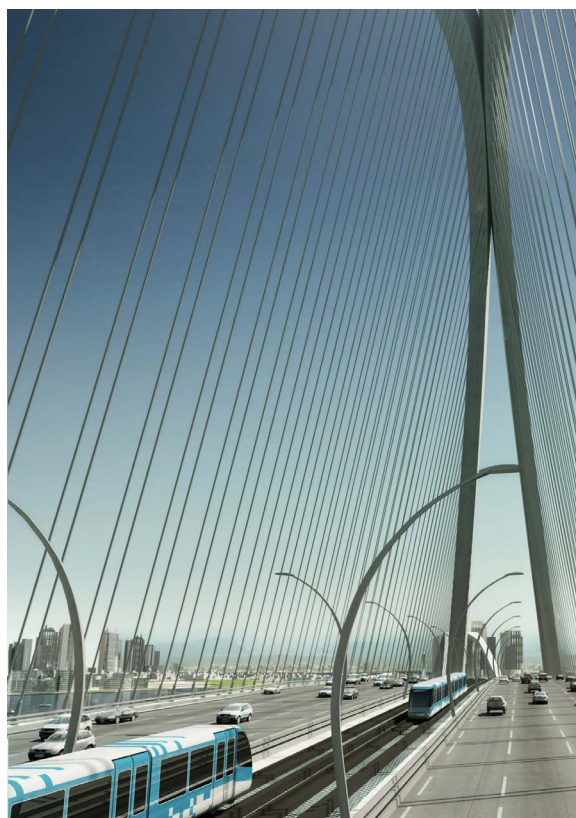
4.2.3 Metropolitane di superficie o in trincea

Quando è possibile la scelta più economica è ovviamente quella di far viaggiare i treni in superficie, spesso questa soluzione è adottata per collegare i paesi o le zone periferiche con la rete metropolitana, in modo da renderne più immediato l'utilizzo eliminando la necessità di usare l'auto sino alla città.

Poiché la rete metropolitana è e deve necessariamente essere, totalmente isolata dalle altre linee, far viaggiare la linea metropolitana in superficie può causare disagi notevoli proprio alle altre reti di trasporto, in particolare può essere necessaria la realizzazione di numerosi sovrappassi o sottopassi il che può facilmente diventare più costoso che far viaggiare la linea su viadotto o in galleria.

In alcuni casi la scelta è quella di far viaggiare la linea in trincea, così facendo si risparmia l'uso della talpa e si possono scavare trincee poco profonde, si limita l'inquinamento acustico e si rende decisamente più semplice ed economico l'attraversamento della via attraverso sovrappassi.

Questo sistema rende anche meno immediata l'integrazione tra le stazioni della rete metropolitana e altre stazioni o edifici di grande afflusso di persone.



Infatti la metropolitana in galleria, viaggiando su livelli diversi da quelli usati dalla ferrovia e dalla rete stradale, si è sempre prestata ottimamente alla costruzione di stazioni multiple e da nodi, per esempio, tra un aeroporto e due linee metropolitane.

Le linee di superficie invece non godono di questo vantaggio, ma possono facilmente essere sopraelevate o in galleria in corrispondenza di un nodo, infatti sono rarissime linee metropolitane completamente di superficie.

Fig. 4.11 Un progetto dello studio newyorchese Fxfole per un ponte a Dubai.

4.2.4 Costi

Realizzare le infrastrutture necessarie alla realizzazione di una linea di metropolitana costa, lo sforzo finanziario necessario alla realizzazione di questi progetti diventa spesso motivo di polemiche e resistenze alla loro attuazione.

Sarebbe interessante cercare di quantificare razionalmente questi costi, anche in rapporto ai flussi di persone consentiti dalla metropolitana e alle infrastrutture alternative.

I costi di una metropolitana dipendono fortemente dal contesto geografico, geologico e purtroppo anche politico in cui l'opera viene realizzata.

La nuova tratta della metropolitana di Torino tra Collegno e Torino P.N. (9,6 km) è costata 650 milioni, il costo è di circa 65 milioni per km, consente un flusso di circa 20.000 persone/h.

Quella in costruzione di Brescia ha un costo finale stimato di circa 750 milioni per un percorso di 14 km, 53 milioni a km.

Le sue vetture hanno una frequenza massima di 40 vetture/h per un flusso massimo di 12.000 persone/h (metropolitana leggera).

La costruzione dell'opera ha suscitato polemiche in quanto l'esborso economico necessario è considerato da molti eccessivo in rapporto alle



dimensioni della città.

La linea TAV attualmente in costruzioni costa, a seconda della linea, tra i 50 e gli 80 milioni di euro al km, con portate decisamente inferiori, più per mancanza di necessità che per limitazioni della struttura, e serve un contesto sicuramente meno critico di quello urbano.

Realizzare un'autostrada costa circa 10 milioni di euro per corsia per km, un'autostrada a tre corsie costa circa 60 milioni di euro per km, mentre aggiungere una corsia ad un'autostrada, così come è avvenuto per la A4 tra Bergamo e Milano, costa circa 15 milioni di euro.

Fig. 4.12 Un cantiere con il foro di ingresso della TBM.

La portata di un'autostrada è di circa 2000 persone/h per corsia, meno se si vuole avere una velocità sufficiente e non si vuole rischiare un intasamento dell'arteria con successivo drastico calo di portata della stessa.

Facciamo il punto della situazione:

- nuova tratta metropolitana di Torino, 65 milioni/km, 12000 persone/h, viene 5416 euro per ogni persona/h di flusso ottenuto
- nuova metro di Brescia, 53 milioni, 12000 persone/h, otteniamo 4416 euro per persona/h
- TAV, portata oraria intorno alle 5000 persone ora, costo 70 milioni/km, otteniamo 14000 euro per persona/h
- autostrada, 30 milioni di euro/km, portata massima 6000 persone/ora, otteniamo 5000 euro per persona/ora

Da questo confronto emerge un dato in contrasto con il luogo comune diffuso degli elevatissimi costi di realizzazione delle metropolitane, o almeno non elevati quanto quelli necessari alla

realizzazione di altre infrastrutture di ben maggiore estensione e, magari, di minore criticità.

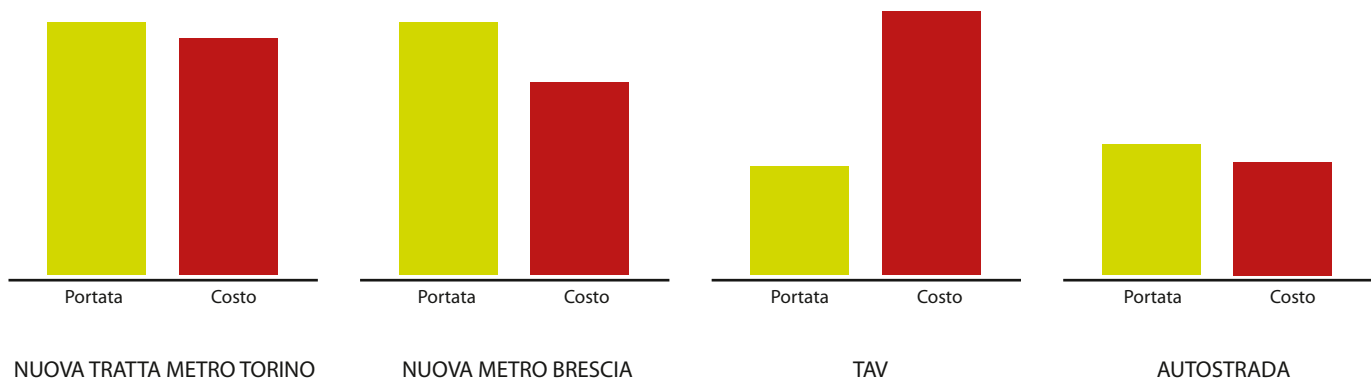
Si potrebbe obiettare che i costi maggiori sono dovuti in realtà ai rallentamenti del traffico che causano perdite di tempo, quindi in un certo senso perdita di lavoro, quindi perdita di soldi.

Può essere utile cercare di quantificare l'ordine di grandezza di questi costi esterni di realizzazione dell'opera.

A Brescia i cantieri per la metropolitana causano regolari rallentamenti in 3 importanti vie della città.

Nelle ore di punta si possono trovare incolonnamenti che possono aumentare i tempi di percorrenza nell'ordine dei cinque minuti, visto che il traffico era critico anche prima dell'installazione dei cantieri.

Ora una strada in quelle condizioni non ha una portata molto alta, visto che velocità al di sotto dei 50 km/h significano flussi che vanno rapidamente al di sotto di quello massimo, possiamo quindi ipotizzare che da ognuno di quei punti





passino circa 1000 persone/h, che nelle 4 ore di punta perdono circa 5 minuti.

Quindi ogni giorno nei tre punti di rallentamento possiamo stimare che vengano perse circa 1000 ore, ignorando festività e sabati arriviamo a una perdita di 360000 ore all'anno.

Diamo un valore medio di 30 euro per un'ora di tempo persa nel traffico durante gli spostamenti, alcuni guadagnano molto di più in un'ora di lavoro, ma la maggior parte delle persone guadagna meno, anzi alcuni non guadagnano proprio nulla perchè non lavorano.

Il risultato è una perdita annua dell'ordine di grandezza di circa 10 milioni di euro, la stima è rapida e sommaria, ma l'ordine di grandezza è senz'altro attendibile e ci permette di dire con sicurezza che i costi esterni dovuti ai disagi

creati al traffico dai cantieri sono poco rilevanti ai fini della determinazione del costo totale di realizzazione di una metropolitana, almeno per quanto riguarda il contesto analizzato e i metodi di gestione dei cantieri adottate.

Realizzare nuove linee di metropolitana è costoso, ma considerando i vantaggi che ne derivano, in particolare per quanto riguarda l'appetibilità dei mezzi di trasporto pubblico, e i costi di altre infrastrutture alternative, per altro molto diffuse, pare che la metro sia una scelta lungimirante in quei contesti dove la gestione dei flussi di traffico sta per diventare critica e compromettere la qualità della vita nella zona, considerando anche che realizzare questo tipo di infrastrutture in contesti già critici aumenta ulteriormente i disagi.

Fig. 4.12 L'interno di una galleria durante i lavori di realizzazione.

4.3 Automazione e sicurezza

L'efficienza logistica del sistema metropolitana dipende fondamentalmente da due fattori: la capienza dei veicoli e la frequenza con cui questi veicoli transitano.

Aumentare la capienza dei veicoli porta spesso all'obbligo di rispettare rigidi vincoli geometrici nella costruzione della linea e, per evitare grossi sprechi, ad un forte calo della frequenza di passaggio dei veicoli nelle ore non di punta.

Così in questi anni si sta lavorando sulla riduzione della distanza tra i veicoli, che comporta l'aumento della frequenza con cui questi transitano, tuttavia la diminuzione delle distanze tra i veicoli può portare a gravi problemi di sicurezza, che è invece importantissima considerato il contesto in cui i mezzi viaggiano.

In un primo tempo il grado di sicurezza di un mezzo di trasporto era subordinato all'attenzione del conduttore.

Col passare degli anni e in particolar modo con lo sviluppo dell'utilizzo di energia elettrica si è passati a realizzare i primi apparati elettrici che costituivano dei sistemi di segnalamento e di intervento automatico con azione di frenatura a

vantaggio della sicurezza.

Oggi alcune metropolitane, con l'intervento sempre più marcato dell'elettronica, possono essere addirittura di tipo completamente automatico.

4.3.1 Segnalamento e sezioni di blocco

Con l'aumento della velocità e della frequenza dei treni e soprattutto con il conseguente aumento di incidenti, il comando "a vista" utilizzato nei primi tempi sulle metropolitane è stato integrato con sistemi di segnalamento che oggi sono alla base della sicurezza dei treni e risultano perciò indispensabili.

Le funzioni che possono essere assegnate ad un sistema di segnalamento sono principalmente di localizzazione dei treni e di protezione e controllo della marcia.

Il primo passo è stato quello del distanziamento a spazio che è alla base del sistema, ancora oggi usato, a segnalamento fisso a sezioni di blocco.

Una linea viene considerata come l'insieme di più sezioni e l'accesso a queste viene controllato

tramite dei segnali di stop o di via libera.

Se all'interno della sezione vi è un treno, il segnale di ingresso è rosso e indica così al treno successivo di fermarsi.

Se invece all'interno della sezione non vi sono treni il segnale è verde e dà il via libera ai treni che sopraggiungono.

La presenza o meno di un treno all'interno della linea viene rilevata in genere tramite un circuito di binario che comanda automaticamente il segnale luminoso posto all'ingresso della sezione di blocco.

Viene in pratica inviata una corrente sul binario che, se è libero, giunge ad un relè che, una volta eccitato dà il segnale luminoso di via libera.

Qualora invece all'interno della sezione di blocco vi sia un treno, il segnale di corrente inviato si cortocircuita sul treno stesso diseccitando così il relè che darà quindi segnale di stop.

Questo sistema di segnalamento risulta efficace per velocità non troppo sostenute.

Quando le velocità superano, in genere, i 50 Km/h è necessario adottare sistemi di segnalamento a tre segnali (verde, giallo, rosso) che consentano di avvertire anticipatamente il conducente dando tempo per la frenatura del veicolo.

Il segnale giallo è posto alla fine di una sezione che ne precede un'altra bloccata. Resta comunque da precisare che questo tipo di sistema di

segnalazione ha come grande limitazione quella di basarsi sulla vigilanza del conducente che potrebbe anche non accorgersi di un segnale di stop con il rischio evidentemente di causare un incidente con il treno che lo precede.

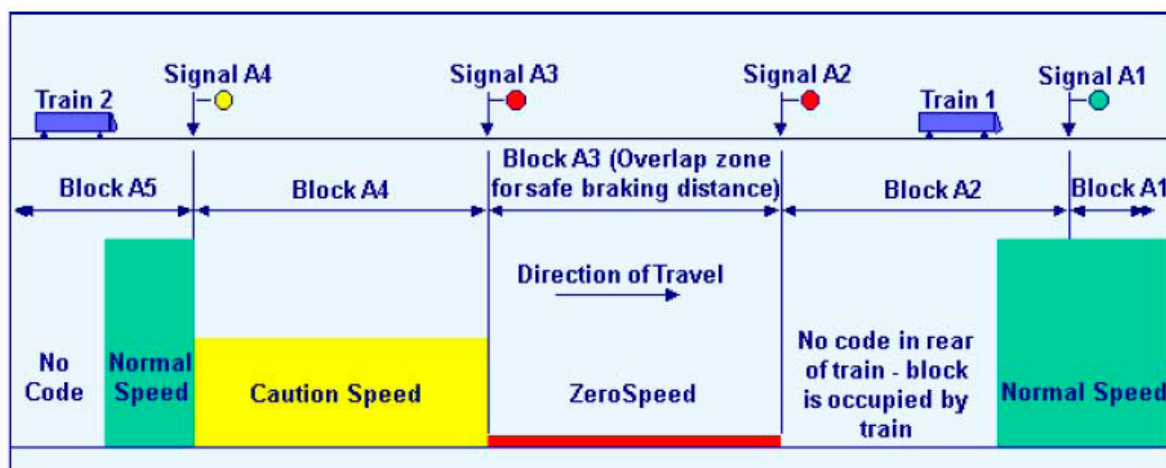
Per scongiurare questo pericolo viene adottato un ulteriore segnale di sicurezza denominato AWS (automatic warning system) che per mezzo di un segnale acustico avvisa il conducente in cabina del tipo di segnale luminoso.

Il conducente è tenuto in questo caso a premere un pulsante in segno di ricevimento del segnale. In caso contrario la frenatura del treno avviene per via automatica.

4.3.2 ATP, ATO, ATS

È un sistema automatico che ha come scopo principale quello di rilevamento della posizione del treno e dello stato del binario per il mantenimento della distanza di sicurezza.

Consente una protezione continua per impedire il superamento delle velocità massime consentite in funzione delle caratteristiche del tracciato e delle condizioni di circolazione.



I più moderni sistemi ATP (automatic train protection) non presentano segnalamento al lato del binario, ma le informazioni sono trasmesse in cabina elettronicamente, indicando la velocità limite della sezione di transito e usualmente anche di quella successiva.

Nella sua forma più sofisticata è prevista una frenata d'emergenza automatica se il conducente non rispetta la velocità limite imposta.

Il sistema associa delle bande di velocità che appaiono dietro al primo treno alle sezioni di blocco.

La velocità permessa nella sezione occupata dal treno è naturalmente zero, e lo è anche nel blocco seguente il treno stesso, che costituisce quindi il cosiddetto " overlap " dei sistemi tradizionali, ovvero lo spazio necessario per una frenata di emergenza. Se il treno attraversa il limite di questa sezione viene automaticamente fermato. Le

sezioni seguenti riducono progressivamente la velocità permessa al mezzo.

Il sistema ATP può essere usato in combinazione con il cosiddetto ATO (automatic train operation) che regola lo spazio di frenatura realizzando il diagramma di trazione previsto (fermata a bersaglio).

Se la marcia è svolta senza macchinista, il sistema ATO insieme all'ATP deve controllare le funzioni di apertura e chiusura delle porte in sicurezza e dare il comando di partenza dei treni dopo la verifica dell'avvenuta chiusura delle porte ed il loro successivo blocco.

La presenza contemporanea dei sistemi ATP e ATO prende il nome di ATC (automatic train control).

In caso di presenza di un comando centrale del materiale rotabile,realizzato automaticamente tramite computer,si parla di ATS (automatic

Fig. 4.13 Schema di funzionamento di un sistema ATC.

train supervision) i cui compiti sono:

- controllo dei tempi di partenza dei treni dalle stazioni, in accordo con gli orari prestabiliti.
- effettuazione del selezionamento, mediante il posizionamento corretto degli scambi, degli itinerari e conseguentemente assegnando a ciascun treno il corretto movimento in coerenza con i vincoli dell'ATP.
- controllo del movimento globale dei treni in relazione all'orario da rispettare
- aggiornando con continuità l'identità la posizione e la destinazione dei treni in circolazione.
- intervento in tempo reale sul diagramma di trazione dei treni per l'osservanza degli orari e ricostruzione degli orari di esercizio in caso di variazione dei treni in circolazione.

4.3.3 Trasmissione delle informazioni

È evidente che in presenza di sistemi automatici complessi è indispensabile il continuo scambio di informazioni tra terra/terreno e la postazione centrale.

Deve quindi essere previsto un sistema di trasmissione delle informazioni lungo la linea.

Le informazioni da trasmettere possono anche essere pensate non strettamente legate alla circolazione dei treni ma riguardanti una diagnostica più generale dello stato dei treni e degli impianti, nonché le informazioni al pubblico.

I vari tipi di informazione possono essere classificati come segue:

- informazioni di protezione: sono quelle relative allo stato e all'occupazione dei circuiti di binario, alla identità, posizione e distanziamento dei treni e alla loro velocità.
- informazioni di comando o di stato: riguardano lo stato degli enti, mobili e fissi, e della loro regolazione con ritorno in sicurezza dell'avvenuta esecuzione dei comandi impartiti.
- informazioni di emergenza: sono rivolte agli utenti in caso di pericoli o disservizi.
- informazioni di servizio: sono rivolte agli



operatori in caso di pericolo.

- informazioni di manutenzione : riguardano lo stato di servizio dei vari componenti del sistema.

L'automazione può quindi riguardare tutti i settori del sistema e non solo quelli strettamente legati al controllo e alla regolazione della marcia dei veicoli e in particolare possono riguardare:

- comando e controllo dell'alimentazione elettrica: consente il telecomando degli impianti e di conseguenza il non presenziamento degli stessi con monitoraggio, diagnostica e comando interruttori eseguiti a distanza.
- il comando e controllo a distanza da parte degli impianti ausiliari che consente l'attivazione e il ripristino di meccanismi come:

scale mobili, impianti di ventilazione, condizionamento.

- il controllo del movimento degli utenti in termini di spostamento dei passeggeri nelle stazioni, informazioni al pubblico e situazione del servizio svolto in tempo reale.

Fig. 4.14 Il quadro di controllo di una linea metropolitana.



4.3.4 Postazione centrale

L'accentramento di tutti i comandi e la raccolta delle informazioni utili per l'esercizio e la manutenzione di un sistema composto da una serie di livelli di automazione sono coinvolgiati in un'unica postazione detta PCC (Posto Centrale di Controllo).

Il posto centrale, oltre ad avere una visione completa dell'esercizio dell'impianto ha la possibilità di intervenire su di esso con la regolazione mediante segnali e disposizioni ai treni.

È inoltre dotato di video che consentono la telesorveglianza delle stazioni.

4.3.5 La metropolitana automatica di Torino

Nel programma di miglioramento dei trasporti pubblici torinesi si è inserita la metropolitana automatica di Torino, entrata in funzione a partire dal febbraio 2006.

Il percorso della prima metropolitana automatica d'Italia si sviluppa da ovest ad est collegando la città di Collegno.

Il parcheggio di interscambio di Fermi, a Collegno, consente l'utilizzo dalla metro a chi a Torino arriva dalle valli montane e dalla tangenziale ovest, garantendo un collegamento con il cuore della città in poco più di 10 minuti.

La metropolitana inoltre si integra con il sistema di trasporto pubblico di superficie permettendo un rapido interscambio e un elevato grado di mobilità sul territorio di Torino.

La metropolitana corre sotto corso Francia - viale alberato e antica via di collegamento con la Francia - e attraversa le piazze Massaua, Rivoli e Bernini, più belle grazie alla riqualificazione avviata con la costruzione della metropolitana.

Fig. 4.15 Una postazione centrale.



4.3.6 Il sistema integrato VAL

Il sistema VAL, Veicolo Automatico Leggero, viene utilizzato per la prima volta in Italia dalla metropolitana di Torino. È stato progettato in modo da garantire la massima sicurezza attraverso il sistema di Controllo Automatico dei Treni (ATC) progettato specificatamente per questo tipo di veicoli.

Questo sistema beneficia delle caratteristiche più avanzate nel settore:

- assenza di personale fisso sui treni e in stazione che permette un esercizio ad automazione integrale;
- elevata capacità di gestione dei guasti
- telesorveglianza e telemisurazione del servi-

zio (treni, impianti di linea e di stazione)

- protezione dei treni contro il rischio di collisioni, eccesso di velocità, ecc., fornita dalla funzione ATP (protezione automatica dei treni).

La tecnologia VAL è il sistema di metropolitana automatica più referenziato e collaudato dal punto di vista della sicurezza, dell'affidabilità, delle prestazioni e dei costi economici.

Questo sistema ha fatto la sua prima comparsa nella città francese di Lille, nel 1983, città transalpina che ha in seguito adottato il sistema VAL anche per la seconda linea della metropolitana.

L'insieme del sistema è controllato per mezzo di telecomandi e telemisure dal Posto di Controllo e Comando, compresi inserimento e ritiro dei treni dalla linea, con semplice comando degli

Fig 4.16 Il sistema integrato VAL

operatori in servizio. In caso di necessità gli operatori del PCC dispongono di sistemi di video-sorveglianza e di comunicazione interfonica per informare i passeggeri.

In assenza di un intervento degli operatori il sistema funziona in modo completamente automatico.

La protezione dei treni contro il rischio di collisioni, l'eccesso di velocità, ecc. viene fornita dalla funzione ATP (Protezione Automatica dei Treni), che è parte integrante del sistema ATC sopra citato.

Il sistema prevede inoltre una serie di ulteriori dispositivi di sicurezza, quali:

- Porte automatiche di banchina nelle stazioni per evitare le cadute accidentali, simili nel funzionamento alle porte ai piani degli ascensori di qualsiasi edificio;
- Passerella di emergenza facilmente accessibile agli utenti lungo tutta la linea
- Dispositivi di rilevamento dei fumi e protezione incendi sui treni e nelle stazioni.

4.4 I veicoli

I treni usati sulle linee della metropolitana sono sostanzialmente diversi da quelli usati sulla rete ferroviaria normale, anche se recentemente, con lo sviluppo di ferrovie urbane e sotterranee e di treni così detti “ad alta frequentazione” si è creato un punto di quasi contatto tra i due sistemi.

I treni usati nelle metropolitane sono studiati per la specifica linea in cui verranno usati, in un certo senso spesso è la stessa linea che viene studiata in base ai treni che dovranno transitarvi.



Fig. 4.17 Motore e relativo indotto di un elettromotrice serie MA 100.

4.4.1 Propulsione

Sostanzialmente tutti i treni usati sulle linee della metropolitana sfruttano la propulsione di più motori elettrici, solitamente appesi sotto alla struttura portante del carrello.

L'energia elettrica è fornita ai treni tramite una linea aerea sotto la quale scorre un pantografo, come avviene per i treni, o attraverso un terzo binario elettrificato.

Le potenze installate, considerando la somma delle potenze di tutti i motori, sono spesso considerevoli, possiamo approssimarla come 1000 kw per carrozza, che possono variare a seconda delle dimensioni della carrozza, del peso del convoglio ecc...

In realtà se confrontate con la grande capienza, la potenza installata per persona, nel caso il treno sia completamente pieno, diventa anche molto bassa.

I treni usati sulla M3 di Milano, per esempio sono divisi in moduli da tre vagoni, su ogni modulo sono installati motori elettrici capaci di sviluppare una potenza di 1280 kw, quindi in totale abbiamo 3840kw di potenza, che corrispondono a

5200 cv che corrispondono, in rapporto ad una capienza di 628 persone, a circa 8cv a persona.

L'elettrotreno ETR 200 Metrostar di Ansaldo Breda dispone di 1020 kw per unità di trazione, 1387 cv, e ospita 450 passeggeri in totale, quindi ad ogni passeggero è "dedicata" una potenza di 3 cv.

Rapporti così bassi sono possibili grazie alla grande capienza dei mezzi e al fatto che questi accelerano sempre gradualmente, il che non grava eccessivamente sui tempi di percorrenza perché i treni compiono solitamente una sola accelerazione importante per ogni fermata.

Solitamente i treni sono dotati di sistemi di recupero dell'energia in frenata.

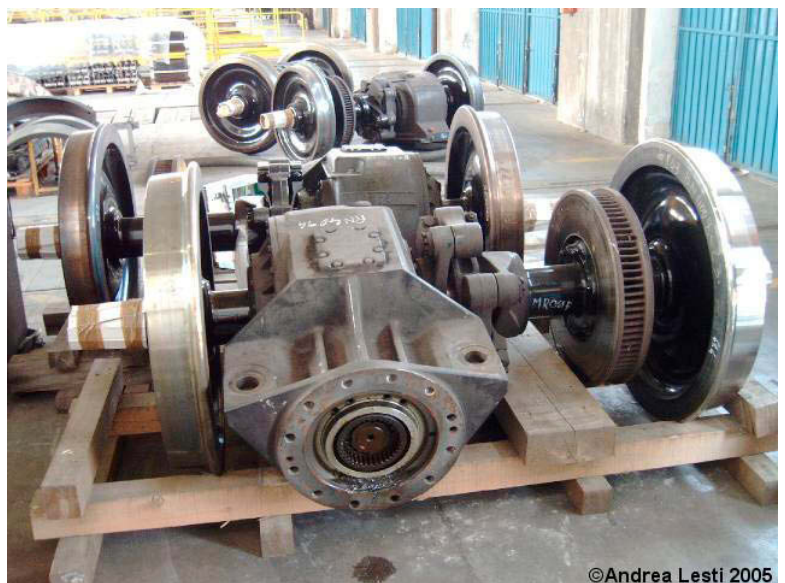
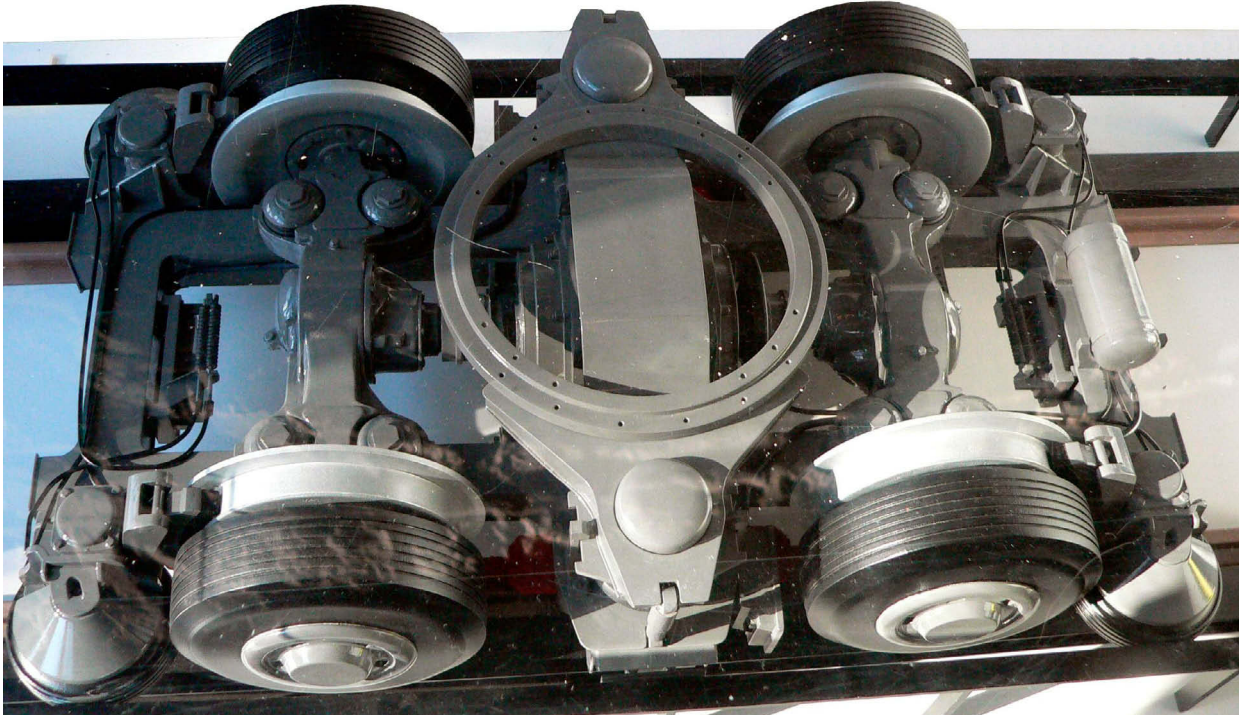


Fig 4.18 Il carrello di una MA 200 con trasmissione ad anello danzante per favorire il confort durante le operazioni di partenza del treno



4.4.2 Carrello

Ogni carrozza appoggia su due carrelli, che servono a tenere le ruote che appoggiano sulle rotaie sempre parallele ad esse, in modo tale da minimizzare gli attriti e rendere più difficile il deragliamento del treno.

Il carrello poggia a sua volta su due assi e due ruote.

Le ruote non sono sempre come quelle dei treni, ovvero composte da un'unica parte di acciaio che poggia direttamente sul binario, ma spesso sono ruote dotate di pneumatici, anche se di

dimensioni molto ridotte rispetto a quelle delle auto.

Questa soluzione disperde più energia della precedente, ma presenta alcuni importanti vantaggi:

- maggiore sicurezza
- minore distanza tra i treni
- minori vincoli di percorso
- minore rumorosità

I primi tre punti dipendono tutti dalla migliore aderenza delle ruote dotate di pneumatici sul terreno, che consente di frenare più velocemente e di percorrere salite più ripide.

4.19 Un carrello con ruote gommate.

Il terzo punto è di particolare importanza per quanto riguarda le metropolitane leggere, che spesso percorrono tratti in superficie o su viadotto, in questi casi la silenziosità dei treni può rendere la realizzazione della metropolitana più accettabile per coloro che vi abitano di fronte.

I carrelli sono solitamente dotati anche di sospensioni, di freni standard e di emergenza.

4.4.3 Interni

Le metropolitane, in particolare quelle pesanti di concezione classica, hanno ormai acquisito una sorta di standard di realizzazione degli interni e più in generale degli spazi abitabili del mezzo.

L'accesso avviene solitamente attraverso alcune porte poste su entrambe le fiancate del treno, tipicamente sono tre o quattro per carrozza.



4.20 Interno di un treno della metropolitana di Copenhagen.

La banchina delle stazioni è costruita in modo tale da formare un piano quasi continuo con la pavimentazione dei treni che transitano, non ci sono quindi gradini o intercapedini importanti da scavalcare, ciò permette un migliore accesso ai mezzi, anche da parte di disabili o di persone a ridotta capacità motoria, ma anche di rendere le operazioni da compiere durante la fermata, quindi la discesa e la salita di persone, il più semplici e veloci possibile.

Con la relativa diffusione di metropolitane completamente automatizzate si trovano a volte stazioni con un sistema di doppie porte, come avviene per esempio negli ascensori dei palazzi.

In questi casi dalla banchina non è possibile accedere ai binari, che sono separati da una parete, di solito trasparente, dove sono posizionate porte in numero e distanza uguali a quelle del treno.

Il treno si ferma in corrispondenza facendo combaciare le due serie di porte, che si aprono permettendo ai passeggeri di scendere.

Gli interni dei treni somigliano solitamente ad una sorta di prolungamento di marciapiede dotato di panchine e strumenti per il sostegno durante il viaggio.

I posti a sedere sono comunque di norma piuttosto pochi e spesso rivolti verso l'interno del veicolo, scelta che si può attribuire a due motivi:

- in galleria c'è poco da veder al di fuori del

finestrino, mentre il nome della stazione di fermata è di solito leggibile anche dai vetri del lato opposto del treno;

- un posizionamento dei sedili di questo tipo rende più facile e veloce alzarsi e sedersi, rendendo i sedili più adatti ai brevi viaggi tipici.

La concentrazione di persone in un piccolo spazio provoca spesso problemi di ventilazione, temperatura e umidità dell'aria, specialmente per quanto riguarda i veicoli di vecchia costruzione, privi di aria condizionata e dotati di isolamento acustico scadente, in condizioni simili diventa spesso difficile parlare e decisamente spiacevole viaggiare.

Oggi i nuovi treni sono dotati di aria condizionata e di isolamenti acustici sufficienti a rendere il comfort durante il viaggio simile a quello di un'auto, almeno sinché i treni non sono eccessivamente affollati.

Sicuramente, come accade anche nei treni, ma in misura addirittura superiore, esiste un problema di eccessiva vicinanza prossemica tra le persone e, non di rado, di contatto forzato che genera forti stress quando i vagoni sono affollati, il problema non è però risolvibile senza aumentare la capienza o la frequenza di passaggio dei mezzi, che significa anche in un certo senso sprecare soldi ed energia per la società di gestione cui viene affidato il servizio.

4.5 La rete

L'estensione e la disposizione della rete di linee metropolitane è importantissima per risultare effettivamente funzionale nell'alleggerire il carico di traffico sopportato dal sistema stradale.

Solitamente più è grande una città e maggiori sono l'attenzione e gli investimenti dedicati a questo tipo di trasporto.

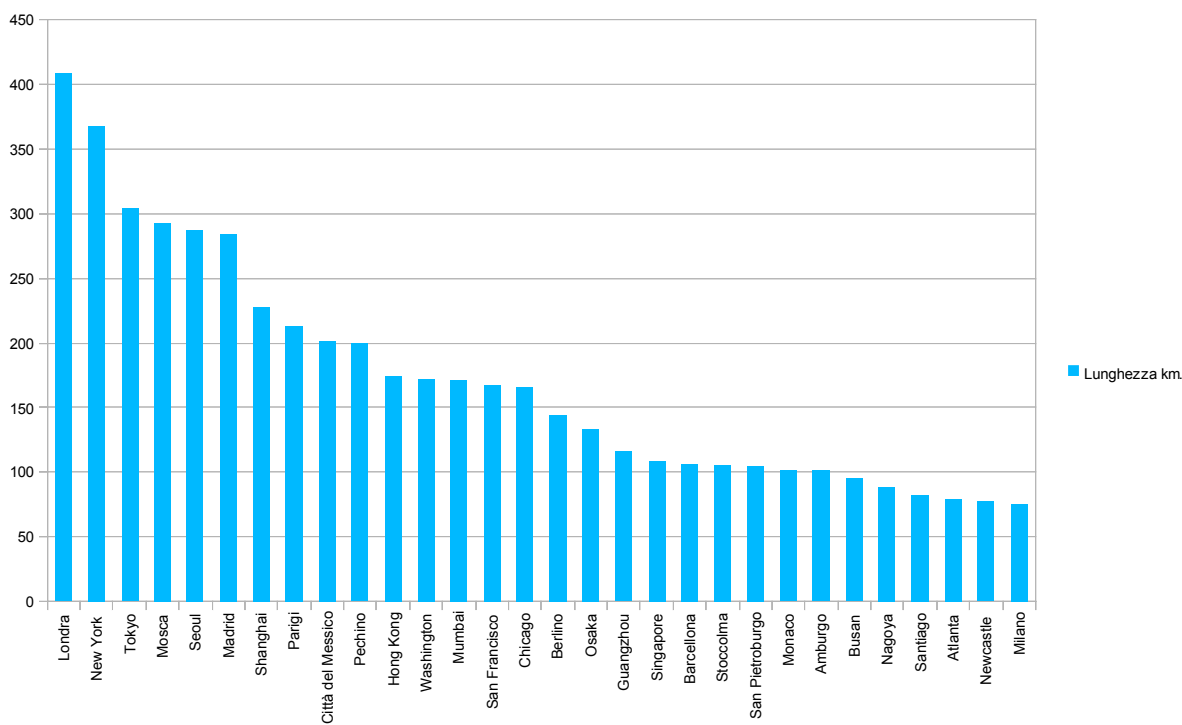
La città dotata della rete di linee metropolitane più estesa è Londra, che opera addirittura

da metà dell'800.

Milano è la città italiana con la rete metropolitana più estesa, che risulta anche adeguata in rapporto alle dimensioni, facendo un confronto con Londra infatti Milano ha una rete metropolitana estesa per circa un quinto di quella di Londra, mentre conta circa un settimo degli abitanti.

Oltre all'estensione della rete è molto importante che questa si integri con gli altri sistemi di trasporto e con i punti nevralgici della città.

Sempre a Milano per esempio la nuova fiera di Rho è servita dalla linea 1 della metropolitana e



4.21 Estensioni delle principali reti metropolitane in km.



la sua stazione è perfettamente integrata con la fiera.

L'importante aeroporto di Malpensa, invece, non è collegato con la rete metropolitana, il trasporto pubblico tra lo scalo e Milano è affidato a speciali treni diretti delle ferrovie Nord, che però da un lato non garantiscono la stessa frequenza di passaggio di una linea della metropolitana, dall'altro per tenere frequenze sufficienti i treni, che servono solo il traffico proveniente da Malpensa e diretto a Milano centro, viaggiano spesso quasi vuoti, impegnando in modo scarsamente efficiente la linea ferroviaria, molto trafficata a causa dei tipici flussi di pendolari negli orari di punta.

Molte delle stazioni periferiche delle tre linee sono di fatto una sorta di punto di integrazione con la rete stradale, sono infatti stati realizzati venti grandi parcheggi in corrispondenza di stazioni della metropolitana, in grado di ospitare circa 16.000 posti auto.

In molti si avvicinano a Milano in auto, lasciandola poi in questi grandi parcheggi per muoversi in città in metropolitana.

Il problema principale di questa strategia è che la maggior parte del viaggio viene spesso fatta in auto, con i problemi di consumo e inquinamento connessi.

La rete metropolitana Milanese è ben connessa,

4.22 Schema della rete metropolitana di Londra, la più antica ed estesa al mondo.

o forse più appropriatamente integrata e complementare, ad una rete di linee ferroviarie, il cui percorso è a volte in galleria, costituite principalmente dalle linee del passante ferroviario.

I treni usati su queste linee sono treni ad alta frequentazione, progettati per un uso più urbano di quelli tradizionali, tuttavia non garantiscono una velocità di uscita e ingresso dei passeggeri a bordo paragonabile a quella di una metropolitana vera e propria.

4.6 Conclusioni

Le reti metropolitane sono in costante crescita e si sono ampiamente dimostrate un'alternativa credibile al muoversi in auto in città.

Laddove il viaggio può essere compiuto rimanendo all'interno della rete metropolitana questo è ben accetto da parte dell'utenza, nonostante i problemi di comfort che spesso si riscontrano a bordo dei suoi treni.

La chiave di successo del sistema metropolitana è sicuramente la grande efficienza in termini di flussi orari di persone consentiti, di cui si apprezzano i risultati grazie ad una rete isolata da interferenze di altri mezzi, unita alla elevata frequenza di transito dei mezzi, che rende di fatto il viaggiatore indipendente dagli orari di transito, di cui solitamente non si preoccupa, al contrario di quanto succede per la rete ferroviaria, anche urbana e suburbana.

La "progettazione" del viaggio è inoltre più semplice rispetto alla rete ferroviaria, in quanto, oltre a mancare completamente problemi di orari e coincidenze, è estremamente semplificata la questione della destinazione dei mezzi, che si riduce nella maggior parte dei casi alla direzione in cui il treno viaggia, rendendo di fatto concettualmente la rete metropolitana simile a dei tapis roulant.

Il viaggiatore giunge in stazione, salta al volo sul un treno che va nella direzione giusta e scende alla stazione desiderata, non ci sono più binari e non ci sono treni di tipologie diverse.

Tutti questi fattori rendono sicuramente il sistema metropolitana più appetibile per l'utenza e hanno sicuramente contribuito al successo del sistema e alla sua diffusione.

Oggi si stanno diffondendo sistemi di metropolitane leggere che rendono il sistema appetibile anche per città di dimensioni più

ridotte, il ché può essere una grande opportunità per cominciare ad affrontare il problema del traffico prima che sia ancora più difficile farlo, ma anche per rendere più appetibile il sistema di trasporto pubblico anche laddove è di fatto considerato una soluzione di ripiego all'auto.

5 Trasporti aerei



Costruire macchine in grado di volare è stata una delle più importanti innovazioni tecnologiche della storia, così come poter usare queste macchine per spostarsi velocemente e sopra ad ostacoli prima quasi insormontabili e mantiene tutt'ora un sapore di libertà e potenza.

Tuttavia un uso massiccio di questi mezzi di trasporto può non essere sostenibile per il pianeta e i costi accessibili sono oggi in parte falsati da decisioni politiche globali.

5.1 Saturare il cielo, è possibile?

5.2 Sostenibilità del trasporto aereo

5.3 Ryanair e il volo low-cost

5.4 Volare

5.5 Valutazioni generali e prospettive





Il trasporto aereo è probabilmente quello che più ha cambiato gli orizzonti della comunicazione globale, consentendo collegamenti ordinari con l'intero pianeta.

La chiave del suo successo è la velocità elevata che consente di percorrere tratte lunghissime in tempi ragionevoli, unita alla possibilità di muoversi ovunque, sia sulla terraferma che in mare, senza bisogno di infrastrutture, fatta eccezione per gli aeroporti.

Si può dire che il sistema di trasporto aereo è, ed è stato, al tempo stesso promosso e promotore del fenomeno di globalizzazione del pianeta, che non può prescindere dalla possibilità di spostarsi fisicamente da un posto ad un altro in tempi brevi.

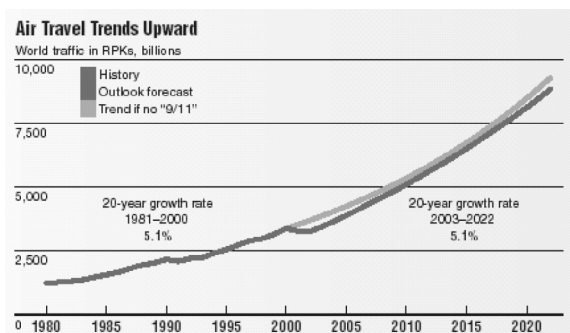
In aereo ci si può muovere in quasi tutto il mondo in poco più di una decina di ore di viaggio, il che permette, per esempio, ad un'azienda di delocalizzare la produzione in paesi remoti con economie più favorevoli senza perdere il controllo della produzione.

Nell'ultimo triennio l'uso di trasporto aereo è infatti aumentato del 7,9% annuo, una progressione solida e pressoché costante.

Eppure muoversi in aereo presenta anche delle forti limitazioni, per esempio di carattere burocratico e di sicurezza aeroportuale, che rendono l'imbarco molto più complesso di quanto potrebbe essere dal punto di vista tecnico e logistico.

Ma ci sono anche limitazioni intrinseche del sistema, per esempio la necessità di disporre di

Fig 5.1 Un aereo di linea in volo.



piste di decollo e atterraggio estremamente ingombranti, ma anche di disporre di flussi notevoli per saturare i posti a disposizione sugli aerei e comporta necessariamente una scarsissima capillarità del sistema, che di fatto non ha, per come oggi lo conosciamo, senso di per sé, ma si appoggia necessariamente a reti di trasporto come quella stradale, ferroviaria e metropolitana che forniscono i collegamenti con gli aeroporti.

L'unica alternativa sono i viaggi in elicottero, che però in questa sede non trattiamo poiché i costi di uso e manutenzione di questo genere di veicoli li rendono di fatto un mezzo più di soccorso/emergenza che un vero mezzo di trasporto, per non parlare delle velocità di crociera e soprattutto della capienza rapportate a quelle di un aereo di linea.

Questi problemi, seppur consistenti, non limitano la crescita del trasporto aereo in quanto, semplicemente, è in crescita la domanda di spostamenti a lungo raggio e non esistono per il momento alternative credibili che possano in

qualche modo soddisfare.

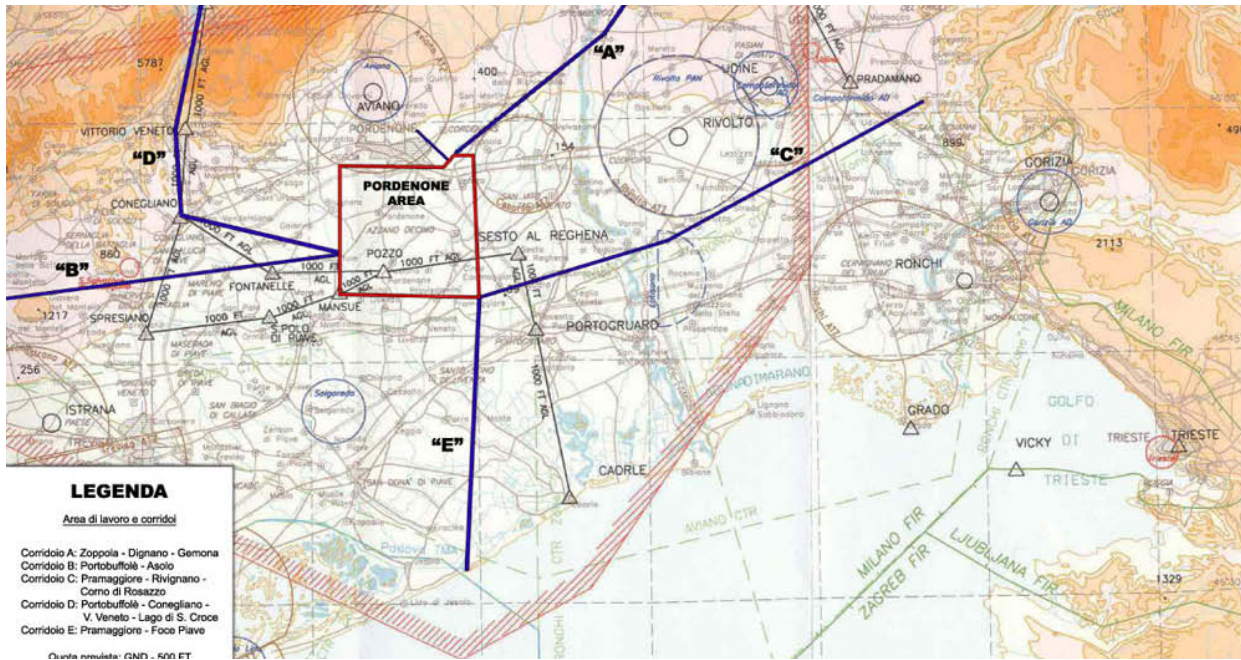
In futuro treni a levitazione magnetica o comunque ad altissima velocità potrebbero diventare competitivi con il trasporto aereo per alcuni spostamenti, offrendo tempi di viaggio simili, operazioni di imbarco meno complesse e costi probabilmente molto inferiori, per il momento tuttavia il trasporto aereo continua a crescere e cominciano a sorgere nuove problematiche di traffico e inquinamento, che vedremo nel capitolo che segue.

5.1 Saturare il cielo, è possibile?

Dieci o vent'anni fa alcuni ipotizzavano, come soluzione al problema del traffico automobilistico, un trasferimento totale verso il trasporto aereo, attraverso dei veicoli molto simili alle auto dell'epoca che, però, al posto di viaggiare su strada avrebbero viaggiato in cielo.

Per quanto tali ipotesi non avessero alcuna base scientifica e fossero ovviamente frutto della

Fig. 5.2 Grafico della crescita del trasporto aereo nel mondo, fonte Boeing



fantasia e della fantascienza, tale soluzione sembrava così bella e logica che era facile avere una profonda sicurezza che, un giorno o l'altro, ci si sarebbe arrivati.

D'altronde il cielo, consentendo movimenti in 3 dimensioni, sembra facilmente talmente vasto da essere praticamente insaturabile di traffico.

Ora siamo nel 2010 e le auto volanti non esistono ancora, in compenso l'uso di trasporto aereo si è sviluppato a tal punto da riuscire a generare problemi di traffico aereo che, paradossalmente, non sono affatto presenti per esempio nel trasporto navale, che pure può contare su due sole dimensioni, visto che non è, per il momento, sfruttato il trasporto sottomarino, fatta eccezione in certi casi per il contrabbando.

Lorenzo Brunetta, docente presso il dipartimento di Information engineering dell'università di Padova, ci dice: "The ever-increasing growth in air traffic demand shows the limitations of the entire air transport infrastructure: the airports are becoming the prime and foremost choking points within the air transport system. There is an urgent need for a platform that can help decision makers and analysts to evaluate the efficiency of the entire complex"¹¹

Com'è possibile che non ci sia abbastanza spazio nel cielo? Quanto spazio "occupa" un aereo?

¹¹ G. Andreatta, L. Brunetta, L. Righi An Operations Research Model For The Evaluation Of An Airport Terminal: SLAM, Journal of Air Transport Management, 1999, Vol. 5, 161-175

Fig. 5.3 Mappa di corridoi e zone di volo del nord-est italiano.

5.1.1 Possibilità di manovra

Un aereo è un mezzo di trasporto particolare, con tutta probabilità il meno governabile tra quelli oggi usati su larga scala, certamente l'unico che non si può fermare.

Un aereo non è in grado di frenare, se non togliendo potenza ai motori (spegnendoli potrebbero non riaccendersi) o prendendo quota, manovra che nel caso di un aereo di linea richiede un certo tempo e comporta anche dei rischi, visto che al di sotto di una certa velocità l'aereo stalla, ovvero con buona probabilità precipita.

Durante il volo le turbolenze dell'aria possono far cambiare improvvisamente e sensibilmente quota al velivolo senza preavviso.

5.1.2 Quote di volo

Parlando di quota di volo, è importante considerare che **gli aerei volano, per la maggior parte della tratta, ad una quota particolare, detta quota di volo, che per gli aerei di linea è all'incirca 12.500 m e che è la quota alla quale l'aereo viaggia consumando la minor quantità possibile di carburante.**

Infatti ad alta quota la densità dell'aria è minore, quindi è minore anche la resistenza aerodinamica, per contro la portanza delle ali diminuisce.

La combinazione tra questi due fattori, che varia da modello a modello, determina la quota "ideale" di volo.

Questo discorso in ogni caso è importante solo in quanto **si determina, di fatto, una bidimen-**



Fig. 5.4 Aerei di linea in "coda" sulle piste di rollaggio del J.F.Kennedy di New York

sionalizzazione del cielo, in quanto da un lato due velivoli non possono essere vicini sulla verticale, dall'altro volano a quote molto simili.

Il cielo diventa quindi già molto meno spazioso di quanto possa sembrare, anche se i fattori logisticamente più critici sono l'atterraggio e il decollo.

5.1.3 Atterraggio e decollo

Di fatto le tre dimensioni del cielo vengono sfruttate solo in fase di atterraggio, operazione che spesso richiede di mettere in attesa i velivoli, che vengono fatti discendere a larghe spirali, per poi allinearsi alla pista e imboccare il corridoio di discesa.

Queste manovre spesso non vengono nemmeno percepite dall'utenza, in quanto la loro ampiezza è enorme, a causa delle capacità di manovra degli aerei di linea, ma anche per l'esigenza di controllare ogni singolo aereo dal controllo dell'aeroporto.

Il "collo di bottiglia" in questo caso è dovuto all'infrastruttura aeroportuale, sia per garantire

un numero sufficiente di atterraggi e decolli, sia per smaltire il traffico in uscita e in ingresso dall'aeroporto.

Il J.F Kennedy di New York per esempio ha un traffico medio di circa 4000 persone/h, ma la sua capienza rende possibili picchi di anche 60 arrivi all'ora, che si traducono in un flusso in uscita dall'aeroporto sino a 15000 persone/ora¹².

Per smaltire un flusso tale servirebbero, per dare un'idea, 8 corsie di autostrada oppure, come invece accade, collegamenti, oltre che ovviamente con la rete stradale, anche con quella metropolitana e ferroviaria regionale.

5.1.4 Sistemi di controllo del traffico aereo

Il controllo del traffico aereo (ATC - Air Traffic Control) è quell'insieme di regole ed organismi che contribuiscono a rendere sicuro e ordinato il flusso degli aeromobili sia al suolo che nei cieli di tutto il mondo.

Gli obiettivi del Controllo del Traffico Aereo sono:

- prevenire le collisioni tra aeromobili

¹² Federal Aviation Administration, http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/publications/bench/DOWNLOAD/pdf/JFK_2004.pdf



- prevenire le collisioni tra aeromobili ed ostacoli presenti nelle aree di manovra degli aeroporti
- accelerare e mantenere ordinato il flusso del traffico aereo
- fornire suggerimenti ed informazioni utili per una sicura ed efficace condotta dei voli
- dare l'allarme agli organismi di ricerca e soccorso, quando necessario

Informazioni sui movimenti degli aeromobili, insieme ad una registrazione delle autorizzazioni ATC rilasciate, devono essere presentate in modo tale da permettere una pronta analisi, allo scopo di mantenere un efficiente flusso di traffico aereo congiunto all'adeguata separazione tra aeromobili.

I piloti e i controllori del traffico aereo (spesso superficialmente chiamati "controllori di volo") si affidano a regole internazionali, stabilite dall'ICAO.

Ogni Stato deve avere un ente che detta le norme vigenti (il Regulator) e un ente che fornisce i servizi del traffico aereo (l'Air Navigation Service Provider - ANSP).

Negli Stati Uniti la Federal Aviation Administration (FAA) funge sia da Regulator che da ANSP, mentre per il vecchio continente Eurocontrol ha stabilito che i due enti siano distinti ed autonomi.

In Italia il Regulator è l'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC), mentre i due ANSP sono ENAV SpA e l'Aeronautica Militare Italiana, che operano in stretto coordinamento tra loro, ciascuno gestendo i Servizi del traffico Aereo all'interno degli spazi aerei e sugli aerodromi di propria competenza. Per rendere capillare la fornitura dei servizi del traffico aereo, lo spazio aereo nazionale è stato diviso in tanti spicchi, ognuno dei quali è classificato in modo logico secondo la Classificazione degli Spazi Aerei prevista dall'ICAO.

Fig. 5.5. Una torre di controllo, gli operatori di torre controllano le operazioni di avvicinamento e atterraggio di tutti i velivoli.

5.2 Sostenibilità del trasporto aereo

Il traffico aereo, e quindi l'inquinamento ad esso collegato, è la fonte di emissioni di gas serra che aumenta più in fretta, poiché è in continuo aumento la domanda e quindi l'offerta di voli aerei, soprattutto dopo l'avvento dei voli low cost.

Sul sito internet, www.chooseclimate.org, è possibile calcolare il contributo individuale, per tragitto indicato, all'effetto serra. Si può così scoprire che con in un volo Roma-Londra e ritorno, emettiamo la quantità di gas serra che emettiamo in un anno con le nostre attività quotidiane.

Gli aerei commerciali, alimentati a cherosene (o kerosene), un carburante di origine fossile, generano 600 milioni di tonnellate di CO₂ l'anno. Rilasciano ossidi di azoto direttamente nella troposfera (la parte inferiore dell'atmosfera, sede dei fenomeni meteorologici); qui si ossidano nell'ozono troposferico che, a quell'altezza, funziona come potente gas serra. Provocano scie dense di vapore acqueo che, portando alla formazione di cirri, bloccano il calore all'interno dell'atmosfera.

Purtroppo, per i prossimi trent'anni si prevede non si possano utilizzare alternative al cherosene.

L'unica alternativa praticabile sembra essere un tipo di cherosene derivato dal carbone, che non presenta alcun vantaggio in termini di impatto ambientale, oppure il "cherosene sintetico", derivato dal metano, con caratteristiche di impatto ambientale migliori.

Anche l'aspetto "radiative forcing" non dovrebbe essere sottovalutato, poiché è responsabile del rilascio delle caratteristiche scie di condensazione scaricate ad alta quota, che amplificano gravemente l'effetto serra.

Ecco perché secondo alcuni ricercatori il trasporto aereo incide per il 10% sul totale globale dell'effetto serra, nonostante sia responsabile di "solo" il 4% delle emissioni di CO₂.

È stato calcolato che con il trend attuale l'effe-



Fig. 5.6 Il motore di un Boeing 737.



to serra da aviazione civile si triplicherà entro il 2050 rispetto ai dati del 1990: in pratica, la maggiore efficienza energetica dei velivoli moderni e i miglioramenti tecnologici saranno annullati dall'aumento degli aerei in volo.

Eppure, ridurre l'inquinamento aereo è possibile già oggi, per esempio alimentando i gruppi ausiliari di bordo con celle a idrogeno e utilizzando materiali leggeri che diminuiscono il peso degli aerei. Anche ottimizzando le rotte aeree, che non sempre sono in linea retta, si possono ottenere risultati importanti di abbattimento di emissioni inquinanti: infatti, non è raro che le rotte vengano "prolungate" per evitare di sorvolare Paesi con tasse aeroportuali più elevate.

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), organismo tecnico dell'ONU che si occupa di effetto serra, ha dedicato nel 1999 il suo

primo studio di settore all'impatto dell'aviazione civile. Il rapporto suggeriva di "adottare politiche di sostituzione con altri mezzi di trasporto" e "disincentivare l'uso disinvolto del trasporto aereo con tasse o prelievi ambientali e con il commercio dei diritti di emissione". Un suggerimento rimasto purtroppo in gran parte disatteso.

Ma la grande anomalia del trasporto aereo è l'essere rimasto escluso dal Protocollo di Kyoto in merito alle riduzioni obbligatorie delle emissioni inquinanti. Il problema in sostanza è che la comunità internazionale non ha trovato un accordo su dove allocare il rilascio di CO₂ per i voli internazionali.

Oggi, è la Norvegia l'unico Paese ad avere un prelievo basato sulle emissioni per i voli nazionali. (Bruxelles, 14 Novembre 2007)

Fig. 7.8 Alcuni ricercatori sostengono che il trasporto aereo sia direttamente responsabile del 10% del global warming.



5.2.1 Politica e trasporti aerei

Quasi tutti sanno che benzina e derivati del petrolio, che costituiscono le fonti energetiche che alimentano i sistemi stradale e ferroviario, sono pesantemente tassati.

Questo tipo di tassazione, che può essere trovato in qualche modo “fastidioso”, ha in verità una sua ragionevolezza che andremo ora a spiegare.

Chi compie un viaggio in auto ha delle spese, spese che servono a coprire lavoro e materie che gli consentono di viaggiare (produzione dell'auto, manutenzione delle strade, estrazione del carburante, trasporto del carburante ecc...).

Tuttavia chi compie un viaggio in auto provoca anche dei danni alla comunità (tecnicamente chiamati esternalità) che è giusto che vengano pagati da chi compie il viaggio, in modo tale che il viaggiatore, nel scegliere il mezzo di trasporto da utilizzare, valuti il costo totale effettivo del viaggio, e non solo la parte che non viene accolta dalla società.

Facciamo un esempio molto semplice:

A Milano sono necessarie pulizie periodiche dei monumenti storici e degli edifici a causa dello smog provocato dalle auto e dai mezzi pesanti.

Il costo di queste pulizie è dovuto al transito delle auto, e non è giusto farlo pagare a tutti indistintamente, facendolo gravare su chi l'auto

Fig. 5.9. La sede dell'unione europea a Bruxelles, l'unione europea sta ultimamente spingendo per rimuovere gli squilibri politici ed economici in favore del trasporto aereo.

magari non la usa, altrimenti usare l'auto diventerebbe un furto di risorse, benessere e soldi nei confronti di chi l'auto non la usa.

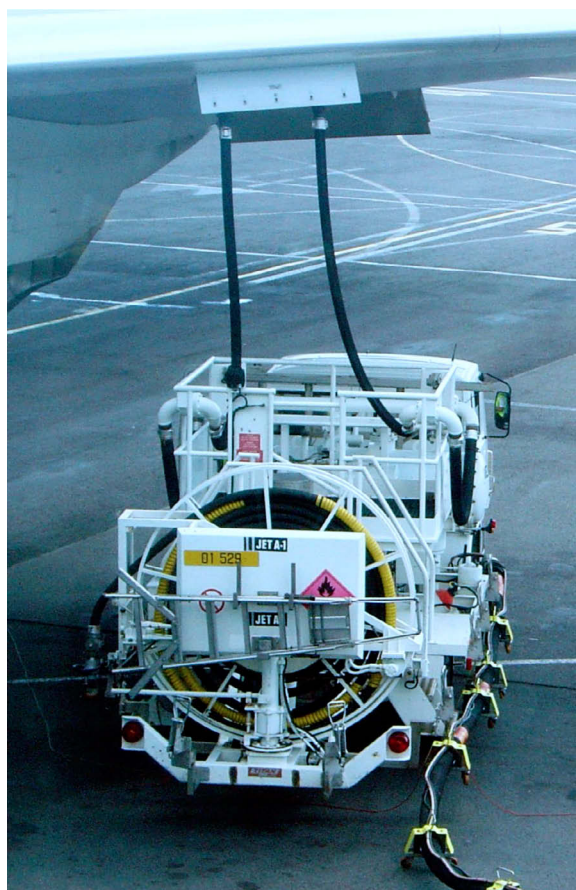
Ecco quindi che le tasse che riguardano le auto, il loro carburante, e la possibilità di transitare sono di fatto un risarcimento alla società per i danni causati dall'utilizzo dell'auto, risarcimento che può essere usato dalla società stessa per rimediare a tali danni.

Se chi viaggia in auto dovesse realmente accollarsi le spese per rimediare ai danni che provoca, attraverso tasse quindi molto più alte di quelle imposte attualmente, forse opterebbe per il treno o la bicicletta.

Ecco che, sebbene il trasporto aereo comporti danni notevoli all'ambiente e abbia un forte impatto in termini di inquinamento acustico in ampie zone aeroportuali, non ci sono tasse che compensino tali danni per la società.

Infatti il kerosene è completamente esentasse, eppure, come abbiamo visto in precedenza, è spesso più inquinante viaggiare in aereo che in auto.

Questo fattore crea uno sbilanciamento concorrenziale tra i sistemi (principalmente tra aereo e ferroviario), di fatto lo stato "regala" possibilità di danneggiare gli altri cittadini al sistema di trasporto aereo, mentre ne fa pagare una buona parte al sistema ferroviario attraverso le tasse sul



carburante usato per la produzione dell'energia elettrica.

Ma non finisce qui, il protocollo di Kyoto stabilisce a livello internazionale dei limiti di emissioni per ogni paese e settore, che possono essere anche comprati e venduti.

Il concetto è semplice e chiaro: se un paese inquina più del dovuto, è costretto a comprare quote di emissioni di gas serra ad altri paesi virtuosi che inquinano meno di quanto stabilito, così di fatto li risarciscono dei danni apportati al

Fig. 5.10 Operazioni di rifornimento di un aereo di linea, gli aerei con motori a getto sono di norma alimentati a cherosene, un derivato del petrolio.



clima del pianeta.

Il trasporto aereo è rimasto completamente fuori da questo discorso, quindi se un paese vuole sviluppare fortemente il trasporto aereo lo può fare senza comprare quote di emissioni di gas serra da altri paesi; è anzi possibile che, sostituendo altre modalità di trasporto con quello aereo, diminuiscano le emissioni del trasporto ferroviario e stradale, il che si traduce in un vantaggio economico dovuto alla vendita delle proprie quote di emissione, o ad un risparmio dovuto al mancato acquisto di tali quote.

In definitiva il protocollo di Kyoto favorisce il trasporto aereo, permettendo agli stati che lo

usano di non dover rendere conto dei danni da esso provocati al clima del pianeta, anche a livello internazionale.

Il Parlamento europeo ha chiesto di includere il trasporto aereo nel sistema europeo di scambio di quote di emissione di gas serra dal 2011. La proposta è stata accolta negativamente dalle compagnie aeree, che sarebbero costrette tra quattro anni a ridurre le proprie emissioni del 10% rispetto ai livelli del 2004-2006. Il Parlamento Europeo ha accolto anche un emendamento che estende il sistema comunitario di scambio delle emissioni a tutti i voli in arrivo e in partenza dagli aeroporti della Comunità Europea già dal 2011,

Fig. 5.11 Un Boeing 737 della flotta di RyanAir, la compagnia inglese usa aereomobili moderni, pur riducendo al massimo i costi di esercizio.

escludendo la possibilità di deroghe per i voli di Stato. Uniche esenzioni: missioni antincendio e voli militari. I ricavi delle vendite all'asta del 25% delle quote servirà a ridurre le imposte a carico di sistemi di trasporto meno inquinanti. Secondo la Commissione nel 2004 le emissioni di gas serra prodotte dai voli aerei internazionali imputabili alla Comunità sono cresciute dell'87% rispetto al 1990.

5.3 Ryanair e il volo low-cost

A rendere rilevante lo squilibrio concorrenziale tra sistemi di trasporto è stata anche la diffusione dei voli low-cost.

Se in passato un viaggio aereo comportava una serie di servizi aggiuntivi, e quindi di personale e di spese, oggi si sta imponendo l'approccio low-cost, ovvero bassi costi per il viaggiatore e per la compagnia, il ché si ottiene naturalmente riducendo all'osso i servizi aggiuntivi e fornendo il

servizio essenziale, ovvero il trasporto.

In relazione al prezzo del biglietto, quindi, la percentuale destinata a coprire i costi del carburante è aumentata enormemente, e pare che le cose siano destinate a cambiare ancora in questo senso, infatti Ryanair, la compagnia low-cost più conosciuta, ha dichiarato di voler introdurre voli dove i viaggiatori non abbiano neppure la possibilità di sedersi.

Questo tipo di viaggio viene quindi criticato duramente in quanto troppo economico rispetto ai danni provocati all'ambiente.

Tuttavia c'è da considerare che i voli low-cost, trasportando un maggior numero di viaggiatori sullo stesso aereo rispetto ad un volo tradizionale, sono anche meno inquinanti per il singolo viaggiatore, quindi l'introduzione di una tassa sulle emissioni di CO₂ aumenterebbe presumibilmente, in assoluto, per lo più i prezzi dei voli tradizionali, ma in proporzione, più i prezzi dei voli low-cost.

5.3.1 Storia

Ryanair, la principale compagnia aerea europea “low fare”, cioè a tariffe ridotte, ha iniziato ad operare nel 1985 con un collegamento giornaliero tra l'aeroporto di Waterford, nel sud-est dell'Irlanda, e l'aeroporto londinese di Gatwick. L'aeroplano utilizzato per effettuare il collegamento era un aereo a turboelica da 15 posti. Ryanair si proponeva di offrire il servizio di trasferimento aereo a basso costo e di permettere al maggior numero di

utenti possibili di usufruire del trasporto aereo. Nel primo anno di vita, l'azienda contava 57 dipendenti e riuscì a trasportare poco più di 5.000 persone sull'unica tratta attivata.

Nel 1986, decise di penetrare maggiormente il mercato e di accrescere la sua presenza sulla tratta Dublino-Londra, che era principalmente coperta dalle offerte di due compagnie, British Airways e Aer Lingus, compagnia di bandiera irlandese. Tale tratta da anni interessava un bacino di utenza di circa un milione di passeggeri ed era la più costosa d'Europa. Il costo medio del

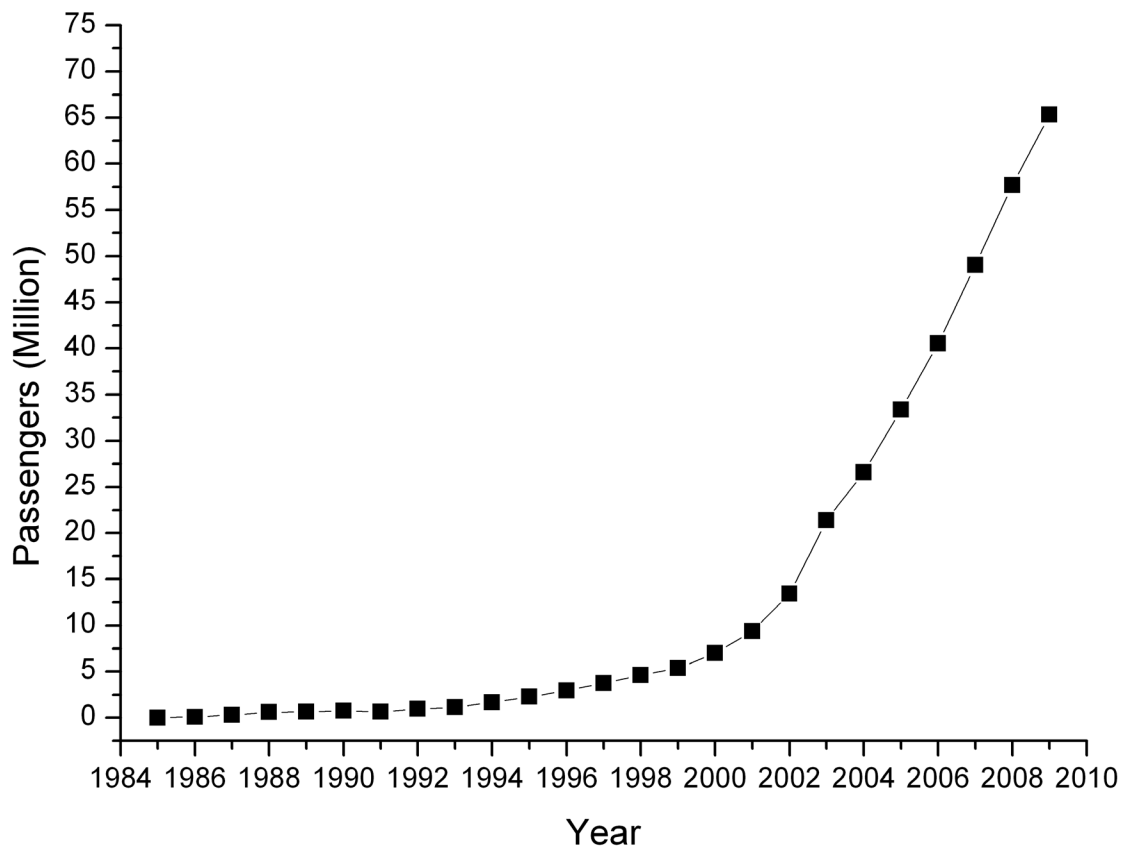


Fig. 5.12 I passeggeri che ogni anno scelgono di volare con RyanAir sono in costante crescita.

biglietto di andata e ritorno su questa tratta era di circa 209 sterline, mentre Ryanair offrì, come tariffa promozionale, il biglietto di andata e ritorno a 94,99 sterline. Il servizio iniziò nel mese di maggio del 1986 con aeromobili a turboelica: veniva così creata la prima compagnia aerea europea che offriva servizio di trasporto via aria a tariffe basse su brevi tratte intraeuropee.

Nel 1995 Ryanair era divenuta, nel suo decimo anniversario dalla fondazione, il maggior vettore passeggeri sulla tratta Dublino-Londra e la maggiore compagnia irlandese su tutte le rotte di collegamento tra l'Irlanda e la Gran Bretagna con 2,25 milioni di passeggeri trasportati l'anno e con un personale di circa 600 persone.

Nel 1997 con la deregulation operata dall'Unione Europea nel settore dei trasporti aerei Ryanair poté offrire i suoi servizi di trasporto anche sulle tratte dell'Europa continentale. Furono avviati nuovi collegamenti tra Londra Stansted e Stoccolma e Oslo, e tra Dublino e Parigi e Bruxelles. L'ingresso in nuovi mercati consentì a Ryanair di divenire la prima compagnia aerea con tariffe basse ad offrire servizi regolari in tutta Europa.

Nel 1999 fu avviato un programma di forti investimenti che prevedeva un ordine di acquisto di 45 nuovi aeromobili Boeing 737, il modello di ultima generazione creato dall'omonima impresa americana, per un valore di 2 miliardi di dollari. Tale programma prevedeva la consegna ogni

anno di 5 aerei. Ryanair offriva le tariffe più basse d'Europa, facendo volare sugli aerei più moderni. Lo sviluppo della compagnia aveva portato alla copertura di 35 tratte verso 11 paesi e a trasportare oltre 6 milioni di passeggeri all'anno con un personale impiegato di oltre 1200 persone. Viene lanciato anche il maggior sito web per i trasporti d'Europa www.ryanair.com.

Solo nei primi tre mesi vengono registrate 50.000 prenotazioni alla settimana, grazie alle offerte di tariffe estremamente basse, come la tariffa per un biglietto andata e ritorno Glasgow-Londra a 1 sterlina più le tasse oppure la tariffa per un biglietto andata e ritorno Dublino-Londra a 9 sterline più le tasse. Iniziativa rivoluzionaria è stata l'introduzione delle tariffe più economiche; Ryanair si impegna a garantire la tariffa più bassa su tutte le tratte servite e nel caso in cui una compagnia concorrente ne offra una più bassa, si offre di pagare il doppio della differenza tra la tariffa Ryanair e quella di un'altra compagnia. Il piano di sviluppo della presenza di Ryanair ha portato alla creazione di 10 nuove collegamenti con servizi da Londra Stansted a Malmo in Svezia, Amburg (Lubecca) in Germania, Verona (Brescia), Sardegna (Alghero) e Italia Meridionale (Lamezia) in Italia, Provenza (Nimes) e Perpignan in Francia e Shannon in Irlanda Sono stati lanciati inoltre due nuovi servizi a basse tariffe da Francoforte (Hahn) a Shannon in Irlanda e a Glasgow (Prestwick) in Scozia. La strategia

di continua espansione della rete ha portato a rafforzare la posizione di Ryanair come seconda compagnia aerea attiva nel Regno Unito e come maggiore compagnia aerea nel settore “low fares”, con una rete di 45 tratte distribuite su 11 paesi, servita da una flotta di 31 aerei e con 1400 collaboratori.

Il 2001 ha visto l'incrementarsi delle prenotazioni on-line con oltre 600.000 biglietti venduti ogni mese, ovvero oltre il 75% di tutte le prenotazioni mensili. Tramite il sito di Ryanair vengono acquistati più posti on-line rispetto a siti più vecchi come Last Minute, Expedia, Travelocity e eBookers.

Nel gennaio 2002 Ryanair ha stretto una partnership a lungo termine che prevede l'acquisto di fino a 150 nuovi aerei Boeing 737, di cui 100 unità fisse e le restanti 50 opzionali, nel periodo tra il 2002 e il 2010; questo ordine risulta essere il più grande mai stipulato tra la Boeing ed una compagnia aerea.

Questa partnership consentirà a Ryanair di diventare la maggiore compagnia che utilizza questo modello di aeromobili, ma anche la compagnia con la flotta di più recente fabbricazione in Europa.

Questo ordine di nuovi aeromobili comporterà un incremento dei dipendenti, il quale sarà di



Fig. 5.13 Sistemazioni su un volo RyanAir, la compagnia progetta di introdurre la possibilità di volare in piedi a prezzi ancora più bassi.

oltre 3.000 unità, così composto, da oltre 800 nuovi piloti, da oltre 2.000 assistenti di volo e da 400 posti per il personale tecnico. Inoltre questi nuovi aerei consentiranno di migliorare ulteriormente il rapporto tra i costi e i benefici, una crescita di passeggeri del 25% all'anno, permettendo un ulteriore abbassamento delle tariffe praticate.

Nel 2003 Ryanair ha annunciato un ordine addizionale di 100 nuovi Boeing 737 con lo scopo di aiutare il rapido piano di crescita previsto in Europa.

5.3.2 Il servizio

Ryanair offre un servizio chiamato "no frills" (senza fronzoli) a tariffe estremamente basse e si inserisce appunto nel settore delle compagnie aeree a basso costo. Uno studio del gennaio 2002 della Cranfield University ha stimato che le compagnie aeree a basso costo coprono circa il 4% del mercato di trasporto e che prevede una crescita entro il 2010 fino al 12%-15% del mercato. Quindi rappresenta un buon settore con ottime stime di crescita, come già dimostrano i dati di crescita di Ryanair negli ultimi anni. La filosofia aziendale è basata sul mantenere bassi i prezzi,

eliminando le spese inutili e i tipici "fronzoli" delle compagnie aeree.

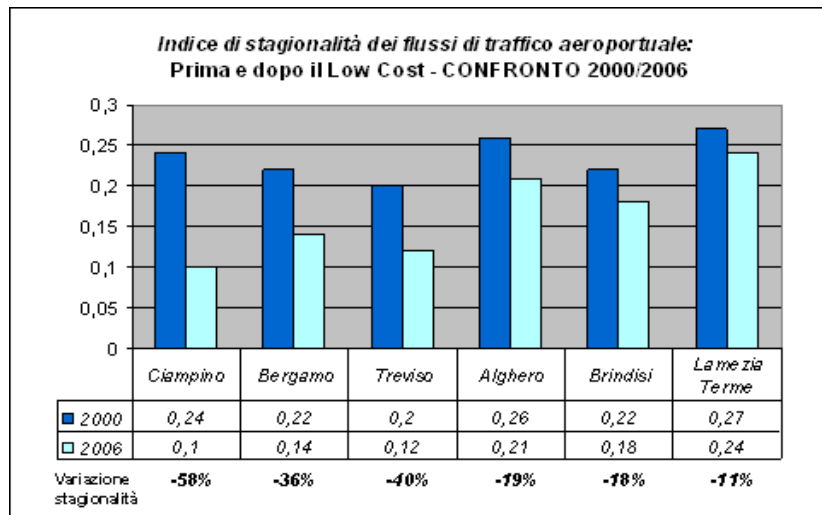
Questo obiettivo viene realizzato in molti modi; le prenotazioni possono essere effettuate on line, sul sito internet o per via telefonica, vi è così un risparmio di costi di commissione in quanto tutte le prenotazioni vengono registrate direttamente nei centri prenotazione Ryanair senza l'intervento di nessun intermediario. Al momento dell'effettuazione della prenotazione viene dato un numero di conferma che dovrà essere presentato al momento di effettuazione in aeroporto del check-in poiché Ryanair non emette biglietti ed è il solo strumento per avere diritto ad accedere all'aeromobile. Questo sistema permette di ridurre significativamente i costi di emissione, distribuzione, gestione e contabilizzazione dei biglietti che per le compagnie aeree "tradizionali" ammontano a milioni di euro ogni anno.

Vi è una migliore utilizzazione degli aeroporti, sia dalla migliore efficienza dei tempi di gestione, sia dalle tasse aeroportuali concordate con le varie società di gestione degli aeroporti. I tempi di gestione ridotti, cioè il turnaround, ossia il tempo intercorrente tra l'arrivo e la partenza dell'aeromobile, sono pari a 30 minuti o anche meno e consentono di effettuare più voli sulle tratte e di utilizzare meglio gli aerei, abbattendo i costi unitari. La scelta di aeroporti più piccoli permet-

te a Ryanair di contenere i costi degli affitti degli hub e di tutte le tasse applicate dalla società di gestione degli aeroporti e ed essendo meno congestionati consentono una migliore pianificazione dei tempi di gestione degli aeromobili.

Sui voli inoltre non vengono serviti pasti gratuiti, questo consente di evitare prassi burocratiche inutili e rendere la gestione molto flessibile ed abbattere significativamente i costi. Questa scelta consente di eliminare altri costi inutili e di difficile gestione come quelli connessi alla preassegnazione dei posti, alla necessità di garantire collegamenti ad altre linee aeree e al trasporto di cargo e merci.

Il 93% dei voli in media giunge in orario e il 98% di tutti i voli giungono all'aeroporto di destinazione entro un'ora dall'orario di arrivo previsto, solamente il 2% di tutti i voli hanno ritardi superiore all'ora.



5.3.3 Gli effetti economici

Un sistema dei trasporti efficiente e capillare, che permetta di soddisfare l'esigenza di mobilità della popolazione e, quindi, di attrarre nuovi investimenti, è un requisito essenziale per la competitività di una regione. La realizzazione di un'infrastruttura, però, non può da sola rappresentare un motore sufficiente di sviluppo territoriale: la crescita economica e sociale risulta, infatti, strettamente legata alla possibilità di disporre di strutture e servizi di trasporto che permettano di supplire alle carenze di un'area e di movimentare, quindi incrementare, le proprie risorse.

Il trasporto aereo può venire incontro a tali esigenze, consentendo lo sviluppo in tempi brevi di

Fig. 5.14 Coefficiente di stagionalizzazione di aeroporti periferici prima e dopo la diffusione di voli low-cost.

un network che favorisca gli scambi e garantisca la mobilità.

Il trasporto aereo europeo si trova oggi a vivere una fase di riorganizzazione particolarmente turbolenta e dinamica. Principale attore di tale “rivoluzione”, è stato la nascita e lo sviluppo dell’innovativo business model noto con il nome di “low cost” o “no frills”, espressione evidente del processo di liberalizzazione di settore perseguita a livello comunitario (deregulation) che, pur essendo realtà ormai consolidata da tempo, soltanto da pochi anni sta mostrando tutti i suoi effetti a livello territoriale.

La rapida crescita di questo fenomeno ha aperto nuovi scenari ed opportunità di sviluppo inaspettati in precedenza, non soltanto per quel che riguarda l’assetto stesso del settore, ma anche, e soprattutto, per la crescita delle infrastrutture aeroportuali secondarie, nonché per gli impatti economici complessivi generati sull’economia.

L’utilizzo da parte delle compagnie low cost di scali secondari e poco trafficati, ricopre un ruolo realmente strategico per un’economia territoriale.

Esso consente infatti una maggiore accessibilità delle regioni periferiche, che possono così beneficiare di considerevoli aumenti di traffico turistico, ma soprattutto, può garantire alla popolazione residente un efficiente servizio di connettività capace di stimolare la competitività del

sistema produttivo, contribuendo in tal modo al riequilibrio territoriale.

Inoltre, se inseriti in un progetto più ampio, i collegamenti aerei a basso costo possono contribuire ad importanti evoluzioni dei sistemi turistici, non di carattere temporaneo, bensì di tipo strutturale, in alcuni Paesi dell’Europa orientale, così come in alcune zone d’Italia, la progressiva accessibilità offerta dalle compagnie aeree low cost ha permesso la scoperta, da parte di molti turisti stranieri, di centri “minori” che sono diventati più appetibili e fruibili proprio in virtù della loro vicinanza agli aeroporti serviti da vettori low cost.

Tale dinamica di crescita ex-novo dei flussi di traffico trova spiegazione nel differente utilizzo che oggi gli utenti fanno del mezzo aereo. Le compagnie low cost hanno reso una commodity quello che in passato era considerato un bene di lusso, la pressione competitiva ha spinto al ribasso il prezzo medio dei biglietti, elevando in tal modo il tasso di mobilità aerea. La quota di domanda generata ex-novo viene addirittura quantificata intorno al 59%, di cui ben il 71% formata da passeggeri che non avrebbero effettuato il viaggio in assenza di un collegamento a basso costo (pari al 42% del totale passeggeri del settore)

Il trasporto aereo low cost è in grado di supportare lo sviluppo economico locale principalmente contribuendo alla creazione di posti di lavoro



ed incrementando i flussi turistici dell'area circostante lo scalo collegato.

Le realtà italiana ed europea, dimostrano che gli aeroporti regionali specializzati in collegamenti a basso costo abbiano sperimentato, oltre ad una forte crescita nel numero dei passeggeri transitati nello scalo stesso, anche una maggiore regolarità dei flussi mensili di traffico. Tale destagionalizzazione dei flussi si traduce a livello territoriale in minore complessità gestionale delle infrastrutture, una più efficiente allocazione delle risorse disponibili, nonché un migliore sfruttamento delle sinergie e delle economie di scala esistenti. Interessante notare, poi, come gli aeroporti italiani che hanno fatto registrare i più elevati tassi di crescita, negli ultimi anni, siano stati proprio quelli specializzati nel segmento

low cost. In questi scali, la percentuale di traffico internazionale transitata rispetto al totale è tra le più elevate in assoluto, il che dimostra l'esistenza di una correlazione positiva tra voli a basso costo, aumento dei flussi turistici internazionali e sviluppo economico regionale.

Per fornire una quantificazione attendibile di tale impatto, ci si è avvalsi di un modello che tenesse in considerazione sia i benefici che le esternalità negative proprie del trasporto aereo. I benefici sono stati stimati attraverso algoritmi di calcolo frutto di benchmark con quanto evidenziato empiricamente dall'esperienza europea; le esternalità negative sono state, invece, considerate come effetti diminutivi del benessere dell'intera collettività, alla luce del livello particolarmente elevato di CO₂ e d'inquinanti emessi dagli aeromobili.

Da tale studio emerge come l'impatto economico, al netto delle esternalità negative, che una linea aerea low cost è in grado di produrre sull'economia locale sia estremamente interessante: si quantifica in circa 14,5 milioni di euro il flusso monetario totale annuo che la singola linea è in grado di generare, mentre ogni passeggero trasportato crea un flusso di ricchezza a livello economico regionale pari a circa 96 euro. Tenendo conto di questo dato, l'incentivazione di un servizio aereo verso aree periferiche può essere considerato strumento di sviluppo e di coesione

Fig. 5.15 Operazioni di check-in

sociale. Ovviamente, le peculiarità e le differenze insite nei diversi bacini di riferimento quali, ad esempio, la presenza di poli turistici o di attrattori culturali più o meno rilevanti possono far oscillare tali dati, non i benefici apportati all'area. In conclusione, i margini di sviluppo sono tuttora molto elevati per le regioni del Mezzogiorno. Il circolo virtuoso che può essere innescato dai servizi a basso costo potrebbe essere motore di crescita su più fronti: nello sviluppo della mobilità interregionale, nella crescita delle presenze turistiche internazionali e, di conseguenza, nell'aumento del benessere economico locale, oltre a costituire uno straordinario strumento di marketing per la promozione dell'immagine del Sud all'estero, troppo spesso percepito come inaccessibile per via della scarsità e dell'inefficienza del sistema dei trasporti esistente. Appare però importante sviluppare con successo iniziative, fra amministrazione centrale e compagnie aeree low cost, che possano riguardare l'apertura di nuove destinazioni, accordi di co-marketing, l'incentivazione del traffico in bassa stagione, nonché la realizzazione di campagne di comunicazione coordinata verso i principali mercati obiettivo.

5.4 Volare

Volare ha rappresentato per millenni un sogno proibito per l'uomo, è poi diventato un privilegio per pochi uomini coraggiosi e/o facoltosi, per diventare nel secondo dopoguerra un modo di viaggiare simbolo, insieme all'automobile, di un progresso tecnologico e di una crescita economica e sociale.

Il cinema e la televisione hanno anch'essi contribuito a imprimere saldamente in un'intera generazione l'idea del viaggio aereo come il modo di viaggiare di chi conta qualcosa, dei famosi, dei potenti e degli arrivati, in parole povere dei "migliori". Idea che sussiste tuttora, anche se l'approccio low-cost di alcune compagnie aeree, diventate in breve tempo famosissime, ed il progressivo allargamento dell'utenza del servizio hanno già in parte smorzato la forza di quest'idea.

Tuttavia è evidente che, nella scelta del modo di spostarsi, questi aspetti ricoprono un ruolo di una certa importanza se una compagnia aerea come Alitalia, in un momento di forte difficoltà, ha deciso di avviare una campagna pubblicitaria in televisione che ricorda il cablo delle personalità che in passato hanno volato con la compagnia italiana.

5.4.1 Usabilità

Eppure dal punto di vista dell'usabilità viaggiare in aereo non è esente da problemi, in particolar modo per quanto riguarda il check in (obbligo di presentarsi tra i 30 e i 90 minuti prima del volo), i controlli da superare e la consegna/ritiro dei bagagli, che sono spesso causa di problemi anche molto gravi.

In fondo oggi per prendere un treno non serve nulla di tutto ciò e questo è certamente un vantaggio competitivo notevole, che a volte finisce per eliminare il vantaggio della maggior velocità di spostamento degli aerei rispetto ai treni.



5.4.2 Sicurezza reale e percepita

Altro fattore degno di attenzione è la sicurezza del servizio.

Se un aereo precipita difficilmente i passeggeri si salvano, per questo tutto il sistema infrastrutturale legato al trasporto aereo è pensato per rendere virtualmente impossibile un incidente di questo tipo.

Tuttavia gli incidenti aerei sono relativamente frequenti e generalmente causano un numero notevole di morti.

Generalmente si considera il trasporto aereo relativamente sicuro, più sicuro di quello stradale, infatti i morti per incidenti stradali ogni anno sono sicuramente di più, gli incidenti stradali sono all'ordine del giorno, mentre degli incidenti aerei si sente parlare per giorni.

Tuttavia se ci troviamo a compiere un viaggio, per stabilire qual è il mezzo più sicuro con cui compiere un viaggio, dobbiamo necessariamente normalizzare i dati in base ai km percorsi, che è certamente il dato più significativo se ci si trova a dover valutare due alternative di viaggio; i dati ISTAT ci dicono che le probabilità di morte sono quasi le stesse (5,92 morti per 1 000 000 000 di km persona in auto privata, 4,90 morti per 1 000 000 000 di km persona nei voli interni, dati rife-

Fig 5.16 Un aereo della Fuerza Aérea Uruguaya precipitato sulle Ande, nell' incidente persero la vita 26 persone e le altre 16 vennero recuperate dopo quaranta giorni.



riti al territorio italiano)¹³.

Insomma ogni km percorso in aereo o in auto corriamo all'incirca lo stesso rischio di morire in un incidente, certo in auto rimane maggiore il rischio di subire ferite.

Bisogna considerare che, per quanto riguarda i viaggi aerei, le fasi di maggior pericolo sono quelle di decollo e, specialmente, di atterraggio.

Quindi la normalizzazione del rischio in base ai km non è totalmente efficace; in particolare, rispetto ai dati forniti, il trasporto aereo risulterà presumibilmente leggermente più pericoloso sulle brevi percorrenze e leggermente più sicuro

nelle lunghe percorrenze, infatti sulle brevi percorrenze le fasi di decollo e atterraggio hanno un'incidenza maggiore sul tempo di volo.

Le vittime causate da incidenti aerei sono quindi relativamente poche solo perché relativamente pochi sono i km percorsi ogni anno in aereo rispetto a quelli percorsi ogni anno in auto, ma la pericolosità di muoversi con i due mezzi è quasi la stessa, anzi possiamo quindi presumere che con una guida particolarmente prudente e accorta, cosa che non possiamo scegliere di adottare viaggiando in aereo, si possano raggiungere livelli di sicurezza maggiore in auto.

Fig. 5.17 I resti di un aereo della Turkish Airlines precipitato.

5.5 Valutazioni generali e prospettive

La rete di trasporto aereo presenta notevoli problematiche, in particolar modo a livello di sostenibilità ambientale e di sicurezza, ma in parte ancora di integrazione con le altre reti di trasporto che non siano quella stradale.

La dilatazione del mercato di riferimento, causato dalla globalizzazione e dai contributi delle economie emergenti, da una parte concede alle compagnie aeree di occuparsi più di marketing che di innovazione, dall'altra rende sempre meno trascurabili i contributi negativi del trasporto aereo alla stabilità climatica del pianeta.

Se il sistema stradale, che è attualmente la “pecora nera” in termini di sostenibilità ambientale, mostra i primi segni di un imminente ripensamento di se stesso e comincia a far emergere alcune alternative interessanti, **il trasporto aereo non mostra prospettive di cambiamento nel breve periodo, anche a causa della politica internazionale che non incentiva un'attenzione delle compagnie per la riduzione delle emissioni di gas serra.**

E' quindi auspicabile che il trasporto aereo venga incentivato e si sviluppi solo per quanto riguarda

le tratte di particolare lunghezza, cedendo quindi quote di mercato ai treni ad alta velocità che hanno maggiori possibilità in termini di sostenibilità ambientale, sicurezza e integrazione con le altre reti di trasporto personale, oppure che nasca una nuova spinta, anche economica, all'innovazione e al cambiamento del trasporto aereo in cerca di soluzioni più sostenibili.



Fig. 5.18 L'aeroporto di Genova.

6 Trasporto Acqueo



6.1 Stato del settore

6.2 Sostenibilità

6.3 Prospettive

Il trasporto navale era uno dei mezzi più veloci e usati per muoversi, specialmente prima dello sviluppo della ferrovia e, in tempi recenti, del trasporto aereo.

Molti fiumi erano usati come vie di comunicazione, oltre che di trasporto merci, al posto delle strade, che sono spesso lunghe e difficili da costruire.

Oggi il ruolo del trasporto acqueo all' interno del quadro generale del sistema dei trasporti è sicuramente secondario, mentre rimane molto importante per quanto riguarda il trasporto merci.



Il trasporto navale è attualmente molto usato per il trasporto merci, grazie ai costi di trasporto molto bassi; trasportare un prodotto via nave è infatti in buona approssimazione dieci volte più efficace che trasportarlo in treno, e 100 volte più efficace che trasportarlo in aereo.

Questo grazie alla possibilità di trasportare merci su veicoli molto grossi, che ottimizzano quindi il consumo di carburante e l'impiego di materie prime per la costruzione.

Sebbene gli stessi vantaggi sussistano anche per quanto riguarda il trasporto di passeggeri, che è poi il settore che ci riguarda in questa sede, il trasporto acquico rappresenta una percentuale quasi irrilevante all'interno del panorama del sistema dei trasporti.

Ciò avviene in parte sicuramente per la scarsa

velocità di crociera delle navi, che solitamente è intorno ai 20 nodi (37 km/h) per i traghetti a dislocamento, che può salire a circa 35 nodi per gli scafi plananti.

I fattori di successo del trasporto passeggeri marittimo sono principalmente la mancanza di alternative per quanto riguarda alcune tratte, la buona integrazione con il sistema stradale, in particolare la possibilità di trasportare l'auto a bordo e la qualità della permanenza a bordo, ottenibile grazie all'abbondanza di spazio.

Adirittura molti turisti scelgono di compiere tutta la propria vacanza in nave, soluzione interessante perché consente di viaggiare la notte e di visitare ogni giorno un posto diverso, il che rende poco rilevante la scarsa velocità del mezzo nel momento in cui questo si può muovere per 10 ore durante la notte senza che i passeggeri ne abbiano il minimo disturbo.



Fig. 6.1 La Turbo Nave Raffaello varata nel 1969.

6.1 Stato del settore

I cambiamenti intercorsi negli ultimi trenta anni hanno avuto effetti significativi sulle attività di trasporto marittimo mercantile.

La concorrenza e la specializzazione del settore navale, che rappresenta lo 0,5% del valore aggiunto manifatturiero mondiale hanno subito profonde trasformazioni, infatti Corea del Sud, Cina e Giappone detengono attualmente una quota di mercato combinata del 40% circa.

L'Italia ha invece subito una forte riduzione della sua quota (dal 17,4% del 1990 al 3,6%

del 2009) ma rimane leader nelle produzioni orientate ai segmenti crocieristico e passeggeri, a più elevato contenuto tecnologico, segmenti che ci riguardano maggiormente in questa sede.

Dal punto di vista del trasporto passeggeri e crocieristico l'Italia è quindi leader nel mondo e gode di un discreto mercato interno, dovuto anche alla sua conformazione geografica.



Fig. 6.2 Una grande nave da crociera in costruzione in un cantiere italiano.



6.1.1 Liner

Con il termine Liner si identificano tutte le navi con imbarco di mezzi gommati, in modo autonomo, tramite rampe d'accesso.

Questo tipo di trasporto di persone è interessante perché è sostanzialmente l'unico esempio di trasporto intermodale diffuso che non preveda di lasciare il mezzo privato in un punto del viaggio, ma consente anzi di portarlo con se per usarlo più avanti, questa caratteristica ne ha determinato il successo, condizionato ovviamente ai limiti del trasporto navale, scarsa velocità e convenienza solo per particolari viaggi. Inoltre le operazioni di imbarco dei veicoli richiede tempo e lavoro da parte di tutti.

L'Italia ha la seconda flotta di questo tipo, dopo il Giappone, per numero di navi e tonnellaggio.

Il mercato liner è relativamente frammentato ed è composto da pochi operatori consolidati, che possiedono una flotta di almeno 50 navi e offrono un servizio di logistica integrata, e da un elevato numero di piccoli armatori specializzati su poche rotte, principalmente domestiche.

In Europa le conseguenze della crisi sono state attenuate, in parte, dalle politiche di supporto della UE al settore. Gli interventi si sono concentrati sul comparto Short Sea Trade, nell'ambito del progetto "Autostrade del Mare".

Le previsioni sull'andamento del comparto nell'area sono positive, dopo che negli ultimi dieci anni il traffico Liner è cresciuto del 27%.

Fig. 6.3 Un traghetto di linea con servizio passeggeri e trasporto veicoli dotato di carena planante.

Entro il 2020 è previsto un aumento del 70% del trasporto marittimo interno alla UE11

Si segnala che a livello mondiale la flotta Liner ha una vita media molto elevata. Considerati i limitati ordini in essere per tali navi e un tasso medio di rottamazione (scrapping rate) del 4,6%, la consistenza globale di questo tipo di flotta non dovrebbe subire nel tempo variazioni di rilievo.

6.1.2 Settore crocieristico

Una crociera può non essere vista come una forma di trasporto, ma di svago, tuttavia abbiamo deciso di occuparcene perché, solitamente, l'alternativa ad una crociera non è una gita fuori porta, ma un viaggio in paesi relativamente distanti, solitamente in aereo.

Quindi viaggiare su una nave da crociera, nonostante sia un'attività ludica, svolge una reale funzione di trasporto, a meno che non si considerino non facenti parte dei trasporti tutti quei mezzi e strutture usate per spostarsi a fine ludico/ricreativo, quindi anche strade, ferrovie e aeroporti.



Fig. 6.4 Una nave da crociera in navigazione.

Per altro l'importanza che questo settore ricopre per l'industria cantieristica italiana e il tasso di crescita del mercato rendono questo tipo di viaggi interessanti ai fini di questa tesi.

Come e più di altri prodotti turistici, la crociera offre una alternativa di vacanza che giunge al consumatore finale nella forma package, ad alto valore aggiunto percepito. A differenza di altri settori turistici, nel comparto crocieristico è l'offerta a trainare la domanda. La tipologia di prodotto offerto è particolarmente differenziata sia per i servizi offerti (dalle crociere di lusso a quella standard) che per la durata del viaggio, il costo e l'itinerario e intrattenimento a bordo, allo scopo di soddisfare le esigenze di clienti diversi per gusti, capacità di spesa ed età.

A partire dal 1980 il numero di passeggeri delle crociere è cresciuto a un tasso medio annuo del 7,4%: una crescita significativa se si considerano gli eventi degli ultimi trent'anni, tra cui le crisi del 2001 e del 2007-2009. Nel 2009 hanno viaggiato circa 17,8 milioni di passeggeri, di cui il 76,5% costituito da nord americani; le stime per il 2010 sono pari a circa 18,8 milioni, un aumento del 5,6%. Il mercato americano rappresenta quindi il mercato di riferimento, anche se negli ultimi anni l'Europa sta registrando elevati tassi di crescita soprattutto in Gran Bretagna, Germania e Italia.

Tra i punti di forza del settore si segnala la mo-

bilità dell'assetto e la capacità di adattarsi velocemente ai cambiamenti sia utilizzando promozioni e riduzioni dei prezzi sia modificando le rotte e/o i punti di imbarco; tale flessibilità consente al settore di mantenere elevati livelli di occupazione delle navi.

La flotta mondiale è composta da 223 navi da crociera, di cui il 27%, pari a 60 navi, costruite in Italia; la flotta ha una vita media di 15 anni e una capacità di trasporto pari circa 375.000 passeggeri.

Nel corso del 2010 saranno introdotte 12 nuove navi (14 nel 2008) di diverse dimensioni, con una capacità compresa tra 101 e 5.400 passeggeri, per un investimento complessivo pari a USD 6,5 mld. Nel triennio 2010-2012 saranno consegnate 26 nuove navi, con un incremento del 18% della capacità e circa USD 15 mld di investimenti.

Le nuove navi si distinguono sia per le sempre maggiori dimensioni sia per il migliore livello dei servizi offerti a bordo. L'aumentata taglia risponde all'esigenza di fare fronte all'incremento nel numero dei passeggeri, realizzando al contempo economie di scala.



6.2 Sostenibilità

Negli ultimi anni l'inquinamento provocato dai trasporti marittimi è cresciuto molto, superando in valore assoluto il trasporto aereo, certo se trasportare una tonnellata di merci in aereo comporta l'emissione di circa 500 gr di CO_2 , la stessa cosa fatta via nave comporta l'emissione di circa 15 gr di CO_2 , quindi il trasporto navale continua a essere molto più ecologico, tuttavia la crescita delle emissioni non riguarda solo il

valore assoluto, ma anche quello relativo alle merci trasportate, desta preoccupazione e apre la strada a idee particolarmente innovative, che potrebbero in futuro estendersi anche al trasporto marittimo di passeggeri.

Fig.6.5 Il Maltese Falcon, un moderno veliero a tre alberi che manota un sistema dynarig con gestione delle vele completamente automatica.

6.2.1 Navigazione a vela

Nel 1967 l'ingegnere amburghese Wilhelm Prölss presentò i piani di un moderno cargo a vela che montava un rig rivoluzionario: il Dynarig, un sistema a vela quadrangolare con giganteschi alberi rotanti senza cordami che avrebbe dovuto consentire a una nave di 150 metri di bolinare con angoli di 50 gradi, quindi di potersi muovere in qualsiasi direzione esclusi gli 80 gradi adiacenti alla direzione di provenienza del vento.

Nel 2006 è stato varato il “Maltese Falcon”, un superyacht che monta un sistema velico Dynarig perfezionato dal designer olandese Gerard Dijkstra. Il clipper, dotato di tre alberi in carbonio alti 58 metri che sostengono un piano velico di 2396 metri quadrati, è stato assemblato su richiesta del magnate americano Tom Perkins.

Nel suo viaggio inaugurale attraverso l'Atlantico il Falcon ha raggiunto una velocità massima di 24 nodi (ca. 44,5 km/h).

La forza di questo tipo di rig, oltre all'ottima efficienza, è la scarsa necessità di equipaggio, le vele rettangolari e il tipo di alberatura consente infatti una facile automazione del sistema.

Gli ingombri di una velatura simile sono eccessivamente limitanti per una nave da carico,

problema che però non sussiste nelle navi per il trasporto passeggeri; il problema principale sono i costi altissimi di realizzazione delle strutture e di manutenzione, che per il momento fanno guardare con più fiducia a soluzioni ibride dove la propulsione eolica è un aiuto a quella tradizionale.

6.2.2 Skysails

Già in commercio e usato su alcune navi da carico è invece il sistema skysails, prodotto da una società Amburghese fondata da Stefan Wrage.

Questo sistema curiosamente deriva da uno sport nato a metà degli anni 90 dalla mente di Emmanuel Bertin, che originariamente si chiamava “flyboard” e ora è conosciuto e diffuso in tutto il mondo come kitesurf, sport che consiste nel lasciarsi trainare da un aquilone, di dimensione variabile tra i 5 e i 15 m², planando sull'acqua con una tavola.

Nel marzo di quest'anno la MS “Beluga Sky-Sails”, il primo grande mercantile trainato da



un aquilone di 160 metri quadrati, ha concluso il suo viaggio inaugurale, risparmiando circa il 35% del carburante, risparmio che potrebbe tradursi in una riduzione di 250 000 euro annui della spesa per il carburante di una nave come quella in un anno.

Stefan Wrage conta di vendere 1500 aquiloni entro il 2015 che comporterebbe già un notevole risparmio di carburante (375 000 000 di euro l'anno) e, quindi, anche di emissioni inquinanti.

Tuttavia il mercato potenziale di un prodotto simile, che ha tra l'altro il vantaggio di poter essere installato sulle navi dopo la loro realizzazione e ha costi di installazione ridotti, è enormemente più grande.

6.2.3 Turbine Flettner

Consistono in superfici cilindriche o troncoconiche messe in rotazione da un motore.

Quando queste superfici sono investite da un flusso d'aria questo viene deviato a causa dell'attrito con la superficie del cilindro, così facendo da una parte l'aria percorre molta strada e di conseguenza aumenta la sua velocità, creando una depressione che attrae la turbina, esattamente come succede con le ali.

L'efficienza di queste turbine è molto maggiore di quella di un'ala, pala o vela tradizionale, se rapportata alla dimensioni, tuttavia bisogna considerare la necessità di impiegare energia per

Fig. 6.6 Una nave dotata di sistema skysail



mettere in rotazione la turbina stessa.

I vantaggi sono quindi soprattutto in termini di operazioni di manovra, che sostanzialmente non esistono, infatti le turbine flettner non hanno orientamento, quindi non vanno orientate a seconda di direzione del vento e rotta della nave.

Rotori di questo tipo sono già in uso per la produzione di energia elettrica e per aiutare la propulsione di alcune imbarcazione sperimentali, tra cui la nave sperimentale E-Ship, un cargo dotato di quattro rotor Flettner alti 27 m realizzata da Enercon, la più grande azienda produttrice di turbine eoliche, i rotor di questa nave sono messi in rotazione dai gas di scarico del motore

Diesel.

Rispetto ad una nave tradizionale la E-Ship è in grado di ridurre i costi del carburante del 40% alla velocità di 16 nodi.

La prima nave spinta da turbine flettner è del 1922, tecnicamente fu un successo, ma il basso costo del carburante rendeva allora più conveniente l'uso di navi tradizionali, vedremo se oggi le cose sono cambiate e se questa nave sperimentale funzionerà da spinta per un rivoluzione in tal senso.

Fig. 6.7 La nave sperimentale E-Ship in costruzione, dotata di quattro rotor flettner.

6.2.4 Energia solare

Il colosso cinese del trasporto navale Cosco ha di recente firmato un accordo con Solar Sailor e si appresta a testare su due navi della sua flotta vele in grado di sfruttare l'energia del vento e/o del sole.

Le superfici pannellate sono infatti anche in grado di muoversi, gestite da un software, per ottimizzare la spinta del vento e l'esposizione al sole dei pannelli.

Secondo i produttori questo sistema sarebbe in grado di garantire un risparmio di carburante tra il 20 e il 40% ammortizzando l'investimento iniziale in quattro anni.

Oggi sono in vendita e in uso alcune imbarcazioni di piccole dimensioni, sia per uso pubblico che privato.

Rispetto alle due tecnologie già viste questa avrebbe sicuramente il vantaggio di non dipendere così rigidamente dal vento, tuttavia il risparmio previsto dichiarato dall'azienda produttrice non è molto diverso, nonostante i costi sicuramente più elevati di produzione e manutenzione dei numerosi pannelli solari necessari, tipicamente piuttosto fragili.



Fig. 6.8 Un'imbarcazione Solar Sailor.

6.2.5 Interventi sul motore

I motori delle navi emettono in atmosfera notevoli quantità di ossidi di nitrogeno e ossidi di zolfo, entrambi tossici.

Il progetto Creating, finanziato dall'UE, ha modificato il motore della Victoria, una nave della flotta di BP shipping abbattendone drasticamente l'impatto ambientale.

Ci si aspetta che queste modifiche riducano le emissioni di NO_x del 92% e quelle di particolato del 98%. Inoltre, le emissioni di SO_x verranno quasi completamente eliminate, mentre ci si aspetta che le emissioni di CO₂ si riducano del 5%.

Questo approccio avrebbe il vantaggio di un effetto immediato, anche sulle navi già esistenti, nell'attesa di introdurre sistemi più avanzati.

6.3 Prospettive

Le alternative ecologiche e a risparmio energetico sono quindi tante e convincono, e, anche se la maggior parte sono state pensate per il trasporto merci, certamente rappresentano il futuro prossimo, non appena il prezzo del petrolio renderà conveniente la loro introduzione e le tecnologie saranno più consolidate, anche per il trasporto passeggeri.

Purtroppo non ci sono invece grandi prospettive di espansione del settore per quanto riguarda il trasporto passeggeri, le cui dimensioni sono legate a vincoli geografici, necessari a renderlo competitivo nonostante la lentezza.

Se quindi ci si può attendere un futuro di proficuo e indolore adeguamento a standard di ecosostenibilità elevati, non si può certo contare su questo tipo di trasporto per rendere più sostenibile l'intero sistema.

7 Il futuro della mobilità



- 7.1 Treni ad alta velocità
- 7.2 Muoversi in auto nel 2020
- 7.3 Evoluzioni nell'assetto della rete dei trasporti

In passato si immaginava il futuro, che poi è l'attuale presente, sicuramente più stravolgente di ciò che è, in particolar modo per quanto riguarda i trasporti.

Eppure il mondo dei trasporti è afflitto da gravi problematiche e necessiterebbe proprio di un cambiamento, cerchiamo di capire cosa potrebbe succedere in futuro.

Da quanto visto nei precedenti capitoli emerge chiaramente il fatto che l'intero sistema dei trasporti è in una situazione critica da cui si può uscire solo attraverso un cambiamento radicale ed esteso.

Le problematiche più critiche che rappresentano la spinta verso tale cambiamento sono la carenza di petrolio e più in generale di energia, la sostenibilità ambientale e i problemi di gestione del traffico sempre maggiore di veicoli in movimento (non solo per quanto riguarda la rete stradale), ma anche più in generale il problema degli elevatissimi costi esterni proprio dei sistemi di trasporto più usati, specialmente in Italia.

Allo stato attuale non ci sono sistemi di trasporto in grado di risolvere tutte le problematiche principali senza porre gravi limitazioni all'effettiva libertà di movimento delle persone.

La strada al momento perseguita dalle amministrazioni più attente a queste problematiche è quindi quella di un forte incentivo della mobilità intermodale, ovvero l'uso di più mezzi durante il viaggio attuato attraverso continui passaggi da parte del viaggiatore.

Questa opzione non è di fatto perseguibile senza andare incontro a gravi perdite in termini di comfort di viaggio e tempi di percorrenza, cosa che risulta in ultima analisi come una perdita di competitività all'interno di un sistema globale

non solo del sistema di trasporti in questione, ma anche dell'economia dell'intera area o stato.

Sono invece in atto due evoluzioni tecnologiche importanti che cambieranno con tutta probabilità in modo significativo l'assetto globale dei sistemi di trasporto:

- **sviluppo di treni a levitazione magnetica a costi accessibili.**
- **introduzione di tecnologie di guida automatica e gestione del traffico nel sistema stradale.**

Il sistema di trasporto aereo non sembra possa evolvere più di tanto nel prossimo futuro al di là della riduzione dei costi di esercizio, l'aereo di linea più veloce mai usato, il Concorde, è in disuso dal 2003, consumava circa il triplo di un normale aereo di linea e, dopo l'incidente del 2000, era diventato anche improvvisamente uno degli aerei



Fig. 7.1 Immagine del tragico incidente del 2003 dove persero la vita tutti i passeggeri e l'equipaggio di un concord, l'aereo di linea più veloce mai realizzato, oggi in disuso.

meno sicuri.

Il trasporto aereo è in crescita costante come utenti e km percorsi ogni anno, ma è anche in una fase di sostanziale stallo o addirittura regressione dal punto di vista dell'innovazione e della ricerca tecnologica per quanto riguarda i voli di linea; non si intravedono innovazioni tecnologiche in grado di far viaggiare gli aerei con meno carburante, inquinando sostanzialmente di meno o ottimizzando l'uso degli aeroporti.

Il sistema di trasporto metropolitano con tutta probabilità continuerà a essere implementato anche grazie allo sviluppo di sistemi leggeri di più economica realizzazione e con costi di esercizio minori grazie alla guida automatica.

Il sistema di trasporto navale potrebbe andare incontro a cambiamenti notevoli in termini di inquinamento e consumi, tuttavia nell'ambito dell'assetto globale della rete dei trasporti non potrà essere determinante.

7.1 Treni ad alta velocità

Al momento gli unici mezzi commerciali in grado di viaggiare a velocità davvero elevate, a parte gli aerei, sono i treni a levitazione magnetica, di cui abbiamo già discusso precedentemente; quello di cui non abbiamo parlato è l'effetto che la diffusione di linee simili potrebbe portare sugli equilibri commerciali di concorrenzialità dei diversi sistemi di trasporto.

I treni a levitazione magnetica viaggiano già oggi a velocità che si avvicinano ai 600 km/h, ma alcuni progetti futuri ipotizzano di raggiungere gli 800 km/h realizzando gallerie depressurizzate.

Considerando che prendere un aereo comporta dei tempi piuttosto lunghi che si aggiungono obbligatoriamente al viaggio, ovvero i tempi di check-in, di decollo, di atterraggio e di ritiro dei bagagli, il grafico che segue ci mostra che un treno a levitazione magnetica che viaggia a 500 km/h è più veloce di un aereo di linea, che viaggia intorno ai 900 km/h se la distanza da coprire è inferiore ai 1000 km.

In realtà **gli aeroporti, essendo molto ingombranti e comportando gravi disagi in termini di inquinamento acustico, raramente sono**

posizionati nei punti nevralgici delle città, punti che più facilmente rappresentano la destinazione, finale o intermedia, di un viaggio, quindi nella maggior parte dei casi la distanza calcolata deve aumentare, perché il viaggiatore che scegliesse di viaggiare in aereo dovrebbe compiere tratte aggiuntive in metropolitana, in treno, in taxi o in pullman.

Con un maglev invece si può raggiungere una stazione della dimensione di una stazione ferroviaria, magari facendolo correre in galleria per una certa tratta, che può essere posizionata dove più fa comodo, magari in

posizione centrale e in corrispondenza di stazioni ferroviarie e della metropolitana.

Ora si può pensare che la spesa necessaria a realizzare l'infrastruttura per un maglev sia eccessiva in termini di velocità raggiunta, infatti un "normale" treno della TAV viaggia intorno ai 300 km/h e il costo di realizzazione della linea sono molto inferiori, per questo abbiamo inserito nel grafico anche l'ipotesi TAV, che risulta però competitiva in termini di velocità rispetto al trasporto aereo per distanza da coprire inferiori ai 500 km.

Considerando che per viaggi al di sotto dei 200/300 km spesso risulta vincente il sistema

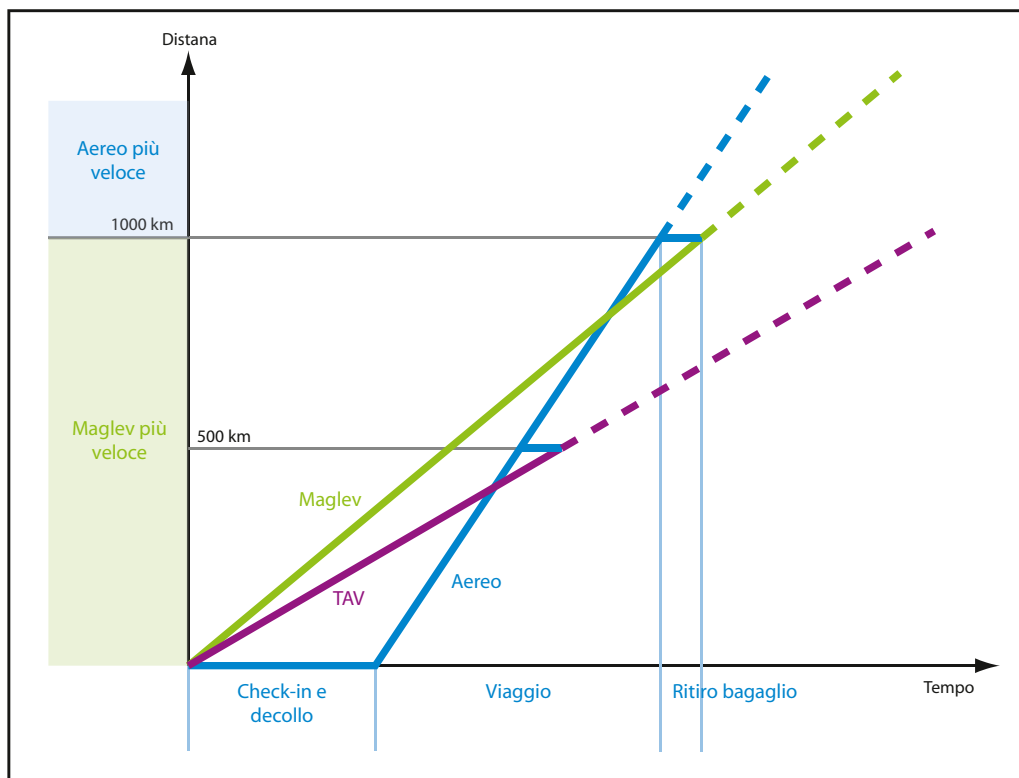


Fig 7.2 Il grafico mostra i tempi di percorrenza in aereo, maglev e TAV al variare della distanza da percorrere, evidenziando il limite di concorrenzialità in termini di tempi di percorrenza tra trasporto aereo e maglev.



stradale, muovendosi in auto, la TAV si trova a servire una nicchia di utenza tutto sommato limitata, che si estende solo se si valutano questioni economiche di prezzo del biglietto o di sicurezza del viaggio.

Se la TAV può quindi rosicchiare una quota di mercato ai sistemi di trasporto stradale e aereo, un sistema come il maglev, in grado di viaggiare a 500 km/h, potrebbe diventare vincente sia in termini di costo che in termini di tempi di percorrenza per distanze sotto ai 1000 km e superiori considerando anche il fattore costo e sicurezza.

Per il momento i treni a levitazione magnetica sono spesso usati per collegare proprio gli aeroporti con i centri urbani di riferimento, ma pare

chiaro che sviluppi futuri potrebbero portare alla creazione di una vera e propria rete di trasporto maglev, a partire da paesi come la Cina, che ha di recente stanziato 300 miliardi di dollari per la realizzazione di linee maglev.

Se ciò dovesse accadere i maglev diventerebbero con tutta probabilità il mezzo di trasporto di riferimento per gli spostamenti di portata compresa, ipotizziamo, tra i 300 e i 1500 km, una fetta consistente del trasporto aereo e una parte di quello stradale verrebbero quindi “sostituiti”, risparmiando circa i due terzi di energia e quindi di emissioni nocive e di combustibili fossili.

Fig. 7.3 Utreno a levitazione magnetica giapponese.



7.2 Muoversi in auto nel 2020

Il sistema stradale, che si basa principalmente sull'uso di automobili come mezzi di trasporto, è allo stesso tempo il sistema di trasporto più diffuso e meno sostenibile, nonché vittima del suo stesso traffico e carnefice di un numero sempre troppo alto di vite umane a causa della sua scarsa sicurezza.

A causa di queste problematiche in molti vedono un futuro su rotaia per il trasporto di persone sulle medie percorrenze e a piedi, in bici, in me-

tropolitana o in autobus per le brevi, un trasporto intermodale dunque.

Sebbene questa ipotesi sia immediatamente realizzabile e porterebbe certamente ad una mobilità più ecosostenibile, più sicura e meno energivora, bisogna considerare che il trasporto automobilistico potrebbe cambiare radicalmente nei prossimi anni, interrompendo un lungo periodo di sostanziale mancanza di innovazione che ha portato il sistema ad essere oggi così inefficiente.

Di seguito cercheremo di individuare le tecnologie più interessanti e di cercare di capire come potrà cambiare il mondo del trasporto su strada grazie alla loro introduzione e diffusione.

Fig. 7.4 Concept innovativo di auto a ridotto ingombro.

7.2.1 Guida automatica

Secondo le dichiarazioni di Rick Wagoner, amministratore delegato di General Motors, entro il 2015 saranno pronte auto in grado di guidarsi da sole, mentre entro il 2018 queste auto circoleranno sulle strade.

I problemi nell'introdurre di tali tecnologie sarebbero, sempre secondo le sue dichiarazioni, di natura principalmente culturale e di accettazione da parte del mercato di una tecnologia così rivoluzionaria, mentre tutte le tecnologie necessarie sarebbero già ora disponibili.

Alcune tecnologie utili al raggiungimento di tale scopo sono già state introdotte su auto di fascia alta, e consentono di frenare automaticamente in caso di incidente imminente, di leggere i cartelli stradali, di capire se il guidatore si addormenta al volante e di svegliarlo.

Particolarmente interessante è la prima di queste tecnologie e come viene applicata. Le auto in questione sarebbero in grado di frenare per evitare lo scontro con un veicolo, anche nel momento in cui il conducente dovesse tardare a reagire, tuttavia per non dare l'impressione di un veicolo che "non fa quello che gli si dice", questo sistema viene usato oggi per frenare solo quando la collisione è ormai inevitabile, per ridurre

i danni causati dalla collisione stessa, e non per evitarla, è ipotizzabile che a breve i possessori di auto dotate di questa tecnologia si chiederanno perché non risparmiare, oltre che ossa e magari vita, anche i soldi di macchina o carrozziere.

7.2.2 Comunicazioni v2v

Ma la tecnologia più rivoluzionaria di cui parla Scott Fosgard, in grado di permettere ad un'auto di guidare da sola in totale sicurezza, è comunemente chiamata V2V Communication (comunicazione tra veicoli), ed è potenzialmente in grado di regalare grandi sorprese.

Le tecnologie di comunicazione tra veicoli sono state sviluppate prima di tutto per cercare di aumentare la sicurezza durante la guida, una delle applicazioni più immediate potrebbe essere quella di mettere il guidatore a conoscenza di ostacoli che non può ancora vedere, infatti un'auto proveniente nella direzione opposta potrebbe fornire all'auto in questione l'informazione e la posizione dell'ostacolo, che verrebbero a loro volta segnalate al conducente mediante display, segnali acustici e visivi ecc..

Ma questo è solo l'inizio, infatti le comunicazio-

ni elettroniche wireless sono molto più veloci di quelle, per esempio, visive come le frecce direzionali, perché quelle visive dipendono dai tempi di reazione e dallo stato mentale del conducente, in più non sono completamente affidabili, infatti molti conducenti tendono a non usare le frecce.

L'uso di sistemi di comunicazione v2v potrebbero consentire a veicoli dotati di sistemi di guida automatica di sincronizzare le proprie azioni formando convogli di veicoli che viaggiano a distanza ravvicinata e si comportano come un veicolo unico.

Nel 2005 un gruppo di auto è stato fatto

viaggiare su una strada della California in formazione, tenendo distanze ridottissime tra un veicolo e l'altro; il mantenimento di distanze così ridotte è stato reso possibile dalla comunicazione wireless tra i veicoli, in caso di frenata tutti i veicoli avrebbero infatti frenato quasi contemporaneamente.

Abbiamo già visto come **l'aggregazione dei mezzi potrebbe portare a decuplicare la portata delle arterie stradali**, rendendo la rete autostradale attuale, oggi in molti tratti completamente insufficiente, pienamente adeguata a smaltire anche i picchi di traffico più estremi, ma consentirebbe anche un enorme risparmio sulle



Fig. 7.5 Esperimento di guida in formazione a distanze ridotte con uso di tecnologie di comunicazione tra veicoli.

nuove infrastrutture stradali, se pensiamo che un'autostrada costa oggi circa 10milioni di euro per corsia per senso di marcia per km.

Ma viaggiare a distanze così ravvicinate tanto da rendere un gruppo di auto simili ad un treno, i cui vagoni sono connessi virtualmente invece che fisicamente, avrebbe anche il vantaggio di **dimezzare la resistenza aerodinamica dei veicoli¹⁴, che sfrutterebbero notevolmente la scia del veicolo che li precede, specialmente se tali veicoli fossero appositamente progettati.**

L'aerodinamica migliorata si tradurrebbe quindi in maggiori velocità e/o minori consumi.

Un apposito studio, realizzato con auto normali in viaggio a distanza ravvicinata dimostra che un treno di qualche veicolo può facilmente dimezzare la resistenza aerodinamica dell'intero convoglio, ma anche che facendo viaggiare i veicoli ad una certa distanza il risparmio di energia si può equivalere, ottimizzando allo stesso tempo il risparmio totale.

Usando auto appositamente studiate si potrebbe poi con tutta probabilità migliorare ulteriormente i risultati.

7.2.3 Comunicazioni v2i

Per quanto riguarda la circolazione in città, dove invece il problema è più nei nodi che nelle vie, di particolare interesse sono i sistemi di comunicazione v2i (vehicle to infrastructure).

Dotando un incrocio di un sistema in grado di comunicare con le auto si potrebbe avere un deflusso di veicoli estremamente più veloce, specialmente se unito all'uso di tecnologie v2v che permetterebbero, per esempio, alle auto in coda ad un incrocio di partire tutte insieme viaggiando a distanze ravvicinate in modo da liberare in tempi ridottissimi l'incrocio stesso.

In situazione di forte traffico nella situazione attuale le auto attendono ferme ai semafori il loro turno per attraversare un incrocio o compiere una svolta.

L'aumento dei tempi di percorrenza è dovuto alla durata del rosso, ma la durata del rosso è pensata per consentire a tutte le auto di riuscire ad attraversare l'incrocio.

Il numero di auto che riescono ad attraversare un incrocio nell'unità di tempo è piuttosto ridotto, infatti i veicoli viaggiano a velocità molto basse, lontane da quella che massimizzerebbe il flusso di veicoli, inoltre i veicoli cominciano

14 Patrick Hong, Bogdan Marcu, Fred Browand, Aaron Tucker "Drag Forces Experienced by Two, Full-Scale Vehicles at Close Spacing", University of Southern California.

a muoversi solo dopo che si accorgono che il veicolo che precede si è mosso, spesso tenendo distanze molto maggiori di quelle possibili e quindi riducendo drasticamente l'efficienza dell'incrocio nello smaltire il traffico.

Sistemi di comunicazione v2i, in aggiunta ai più economici v2v, potrebbero aumentare l'efficienza degli incroci in modo simile, qualitativamente e quantitativamente, al modo in cui si possono aumentare drasticamente le portate di un'arteria stradale, ovvero accorpendo virtualmente i mezzi facendoli muovere all'unisono.

Gli USA hanno già condotto uno studio per stimare il costo dell'introduzione di sistemi di comunicazione v2i sulla loro rete stradale, per il momento la cosa è stata giudicata troppo costosa, ma il sistema è stato ipotizzato ad uso esclusivo di aumento della sicurezza, anche perché per il momento non sono in commercio sistemi di comunicazione v2v, mentre se fosse sfruttato per uno smaltimento del traffico più efficace la diminuzione dei costi esterni da congestione potrebbe facilmente rendere l'investimento conveniente.



Fig. 7.6 Schema di funzionamento ipotetico di un sistema di comunicazione v2i

7.3 Evoluzioni nell'assetto della rete dei trasporti

Tali innovazioni e tale stravolgimento del sistema stradale/automobilistico, che presumibilmente è alle porte in quanto le spinte in tal senso sono altissime, si inserirà in un sistema globale di reti dei trasporti anch'esso per forza di cose diverso da quello attuale, sia per quanto riguarda gli elementi che lo compongono, che per quanto riguarda la loro interazione.

Se ora il sistema automobilistico/stradale risulta di fatto vincente, nonostante gli enormi problemi che comporta (principalmente sostenibilità, traffico e sicurezza), possiamo facilmente prevedere che dopo la "rivoluzione", esso sarà ampiamente preferibile a quello ferroviario per le medie percorrenze.

Per altro fare lunghi viaggi in auto sarà meno problematico perché non sarà con tutta probabilità necessario guidare, quindi possiamo ipotizzare che il limite di distanza che rende favorito il treno all'auto si sposterà verso l'alto, entrando in concorrenza direttamente con l'alta velocità e il maglev, ammessa ovviamente la disponibilità di simili linee.

L'alta velocità potrebbe essere invece molto concorrenziale su distanze tra i 500 e i 1200 km rispetto al sistema stradale (verso il basso) e quello aereo (verso l'alto), ciò conferma una tendenza già in atto di abbandono di linee minori in aree non fortemente urbanizzate, mentre per quelle fortemente urbanizzate, per distanze al di sotto dei 50 km, la metropolitana troverà sempre più spazio grazie alla sua efficacia e alla continua implementazione di linee e infrastrutture, anche in città di medie dimensioni.

Il trasporto aereo verrà relegato ai viaggi più lunghi, in particolar modo se venisse introdotta una tassazione più equilibrata sul cherosene, che aumenterebbe notevolmente i prezzi dei voli, in particolare di quelli low-cost che hanno di recente portato al bum di crescita del trasporto aereo; d'altro canto una domanda di spostamenti di lungo raggio sempre maggiori porterà probabilmente a non ridimensionare il sistema di trasporto aereo, ma solamente a specializzarlo sulle lunghe percorrenze laddove sia disponibile una rete Maglev o Tav.

7.4 Obiettivi di progetto

Nell'ambito di queste evoluzioni, in parte già in atto, ma spesso non ancora esplicitate e percepite dall'utenza, ci poniamo l'obiettivo di formulare un progetto di sistema in grado di rappresentare un'ipotesi di evoluzione del sistema stradale efficiente, sostenibile e user-friendly.

Ciò che andremo a progettare sarà un prodotto realizzabile oggi, ma che costituisca anche un primo passo verso quello stravolgimento del sistema che sta per arrivare e che sarà senz'altro aiutato dalla presenza di un veicolo che permetta di apprezzarne appieno i miglioramenti.

Il nostro non sarà un progetto di "car design" così come siamo abituati a intenderlo, ovvero completamente proiettato verso la ricerca di nuove linee e nuovi concetti comunicativi ed estetici, ma vuole essere al contrario **un progetto di rivoluzione sostanziale, funzionale e di modo d'uso del sistema auto/strada che sia in grado di risolvere, o per lo meno ridimensionare drasticamente, i principali problemi del sistema stradale che abbiamo visto in analisi.**

7.4.1 Modo d'uso

L'aspetto più innovativo del nostro progetto sarà, per l'appunto, il modo d'uso dell'auto.

Oggi l'auto è uno strumento che, per essere efficace, richiede ampia e attiva partecipazione dell'utente, ovvero la guida.

Questo aspetto ha di fatto contribuito in modo prioritario alla definizione progettuale dell'interno dei veicoli, che si è strutturato come un'interfaccia di comando costruita intorno al pilota.

Tale costituzione strutturale e concettuale dell'abitacolo è sicuramente la soluzione migliore per garantire la sicurezza ed un relativo comfort al pilota, che giustamente non si muove dalla sua postazione di comando, ma non è certo la condi-



Fig. 7.7 "Suite" di prima classe di Japan Airlines.

zione ideale in cui ci si vorrebbe trovare, diventa anzi, di fatto, una sorta di gabbia che costringe alla quasi immobilità per periodi di tempo anche molto lunghi.

Risulta quindi che tale soluzione progettuale, uniformatasi e definitasi negli anni, è un compromesso, compromesso che si è reso necessario a causa di un unico problema: le auto non si guidano da sole.

Il “problema” è che siamo tutti così abituati all’idea di guidare l’auto, che non solo non percepiamo il desiderio di cambiare la situazione, ma addirittura ci sentiamo derubati del controllo se ci viene proposto un sistema che in qualche modo si sostituisce al pilota in una parte, o nell’interessezza, della gestione del veicolo.

Eppure gradualmente vengono introdotti sistemi di aiuto alla guida sempre più invadenti che, una volta diffusi, vengono considerati praticamente indispensabili.

In fondo, sebbene le auto non siano affidabili al 100%, le statistiche ci dicono che l’uomo, specialmente se in condizioni psicofisiche non ottimali, lo è ancor meno.

Sembra ormai chiaro che la guida manuale è tecnologicamente obsoleta e che ci sarà nel prossimo futuro un graduale passaggio ad una guida completamente automatica.

In uno scenario prossimo simile si avrà la ne-

cessità di formulare ipotesi di ambienti mobili vivibili per ospitare le persone durante il viaggio, ambienti che saranno molto diversi dagli attuali interni delle auto.

Questo progetto vuole fornire, tra l’altro, un’ipotesi innovativa di vivibilità e usabilità del veicolo durante il viaggio.

7.4.2 Modularità

La base di tutti i problemi del trasporto su strada è lo spreco di risorse, di spazio, di peso, di carburante, di lavoro.

Nel capitolo precedente abbiamo affrontato il discorso della guida che è senz’altro uno dei primari e che è la maggiore fonte di spreco di lavoro, ma rimangono gli altri: risorse, spazio e peso.

Come abbiamo già visto precedentemente è comune per una famiglia di 4 persone avere a disposizione 10, 15 posti auto, 24 ore su 24, se pensiamo che ogni membro della famiglia usa l’auto per poche ore al giorno abbiamo facilmente un’idea di quale sia la portata di tale spreco.

Probabilmente il modo migliore di risolvere il problema è quello basato sul car-sharing, che tut-

tavia non dà, per il momento, sufficienti garanzie di sviluppo e che, in ogni caso, è una soluzione basata sulla fornitura di servizi, mentre in questa sede riteniamo più opportuno proporre soluzioni basate sulla progettazione del prodotto, specialmente quando non sono affatto in conflitto con la possibilità di abbinare il prodotto ad un servizio di car-sharing, con risparmi ulteriori.

La “ricetta” che intendiamo adottare è quella della modularità, fisica e/o concettuale, un’idea vecchia e sempre attuale, già ampiamente applicata nel mondo dei treni, che riteniamo avere un

potenziale enorme anche per quanto riguarda applicazioni al sistema stradale, specialmente se abbinata a tecnologie di dialogo tra veicoli, con le infrastrutture e di gestione globale delle informazioni attraverso internet.

Il progetto dovrà quindi sfruttare il concetto di modularità dei veicoli, in modo tale da rendere più efficiente il veicolo progettato in termini di impiego di risorse e materie prima, ma anche di consumi e ingombri.



Fig. 7.8 Una delle direzioni di sviluppo della robotica è la creazione di piccoli robot in grado di cooperare.

7.4.3 Ecosostenibilità

Visto che il problema del consumo di carburante è di particolare rilevanza, è certamente il caso di dedicare alla questione particolare importanza in sede progettuale.

Se attraverso l'introduzione del concetto di modularità pensiamo di poter raggiungere dei risultati positivi anche per quanto riguarda il risparmio di carburante, la leva principale su cui agire è certamente la scelta di un propulsore adeguato a fornire energia cinetica ai mezzi del prossimo futuro.

In questo campo dobbiamo riconoscere al mondo scientifico un notevole impegno nella ricerca di soluzioni innovative e il mercato si dimostra pronto ad accoglierle; pensiamo per esempio alla diffusione negli ultimi anni di auto alimentate a metano, gpl, gasolio o di auto ibride con motore elettrico. Sarà quindi nostro compito **strutturare un veicolo dotato di sistemi di propulsione mirati al risparmio energetico e alla riduzione di emissioni inquinanti, incentrando l'attenzione sull'efficienza, gli ingombri, i pesi e l'affidabilità, invece che, come spesso accade oggi, sulla potenza e sul piacere di guida.**

7.4.4 Styling

Un prodotto rivoluzionario è bene che si comunichi come tale per permettere al prodotto stesso di diffondersi e quindi avere un effetto sulla qualità della vita delle persone.

Se quindi oggi il mondo dello styling automobilistico punta, nella maggior parte dei progetti, a far sembrare qualsiasi auto sportiva e performante, il nostro progetto non intende seguire questa strada.

Intendiamo invece realizzare un prodotto che comunichi, anche all'esterno, la qualità della



Fig. 7.9 Un oggetto iperdiscusso, ha infatti segnato una svolta nel modo di progettare telefoni cellulari; l'oggetto tecnologico diventa semplicissimo.

vita al suo interno, e che tenda quindi, per forza di cose, a non somigliare eccessivamente ad un 'auto, visto che le auto offrono oggi tipicamente una qualità di vita piuttosto scarsa al loro interno.

Per meglio far comprendere al lettore la direzione che vorremmo intraprendere porteremo ad esempio l'evoluzione dello styling nei prodotti informatici e telematici.

Cellulari e computer sono stati, sino a pochi anni fa, caratterizzati, dal punto di vista dello styling, da una costante ricerca dell'apparire ipertecnologici, futuristici e complessi, tale approccio lo accomuniamo a quello attualmente diffuso nella progettazione delle auto.

Oggi il cellulare più desiderato al mondo è di una semplicità sconcertante, perché la componente innovativa è data dall'uso massiccio di tecnologie multi touch screen che permettono di eliminare completamente la tastiera, diminuendo sensibilmente la complessità dell'oggetto che è infine solo un elemento di disturbo.

Tutto questo per dire che l'estetica, lo styling del progetto che ci accingiamo a realizzare sarà basato su due fondamentali punti: la differenziazione dall'oggetto auto e la trasparenza su quella che è la reale componente innovativa del progetto stesso.

7.4.5 Credibilità

Una rivoluzione sostanziale e profonda di una buona parte del sistema dei trasporti, viste anche le dimensioni ciclopiche che lo caratterizzano, è per forza di cose una scommessa e non possiamo in alcun modo, senza peccare di imprudenza, essere certi che il futuro sarà così come noi lo stiamo andando a progettare.

Tuttavia se pensiamo che la riprogettazione del sistema si propone di avere come effetti:

- eliminazione del problema traffico a partire dalle arterie principali.
- riduzione drastica dei costi di realizzazione delle stesse.
- riduzione drastica dell'energia consumata per il trasporto di persone.
- possibilità di usare una buona parte del tempo di viaggio.
- riduzione drastica dello spazio occupato dalle vetture parcheggiate.

Se facilmente possiamo ancora una volta ribadire che il sistema attuale è vicino al collasso ed è strettamente necessario trovare un'alternativa.

Se dalla nostra analisi risulta essere improbabile un passaggio generale al trasporto intermodale così come lo si concepisce oggi, che riversa la so-

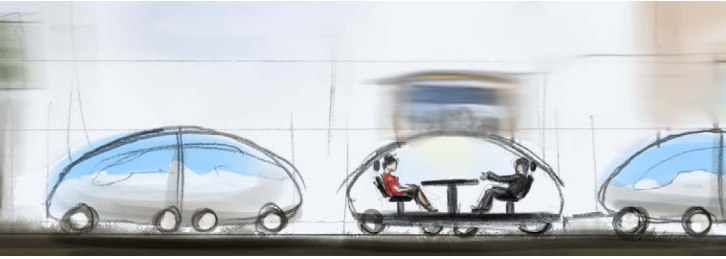
luzione alle problematiche del sistema sull'utente, rendendo il viaggio lento e pesante.

Allora la scommessa prende consistenza e diventa, a nostro parere, decisamente credibile. Troverà infatti, lo vedrete, ulteriori riscontri in fase progettuale che dimostrano che **le tecnologie necessarie alla realizzazione del progetto non solo sono già state sviluppate, ma sono già state sviluppate per soddisfare quelle esigenze che, nel realizzare questo progetto, non a caso ci troveremo ad avere.**

Il nostro lavoro sarà quindi quello di formulare un'ipotesi organica di utilizzo di molti di questi nuovi concetti e tecnologie, dalle quali il progetto trae certamente maggiore credibilità, e alle quali intendiamo dare, nel nostro piccolo, un po' di forza in più grazie ad una visione generale che permette di immaginare i vantaggi di un loro uso congiunto.



8 Il progetto



Quanto segue è il progetto di un sistema stradale nuovo che possa risolvere o ridurre le problematiche attuali più gravi, problematiche non risolvibili con la sola progettazione di un mezzo.

8.1 Il sistema

Abbiamo visto come il movimento della auto e, più in generale, dei mezzi di trasporto privato e pubblico su strada sia determinato da un insieme piuttosto complesso di regole fisiche, pratiche e legali.

L'insieme di queste regole, abbinato alla conformazione delle auto, porta il sistema stradale di oggi ad essere inefficiente e, quindi, insufficiente a smaltire una richiesta di mobilità in continua crescita.

Queste regole non sono però immutabili, anzi alcune dipendono dalla conformazione dei veicoli, dalle capacità di reazione e di guida dei piloti, o magari sono semplicemente delle convenzioni.

In tutti e tre i casi si può agire su un elemento per cambiare la regola, rendendo più efficiente il sistema.

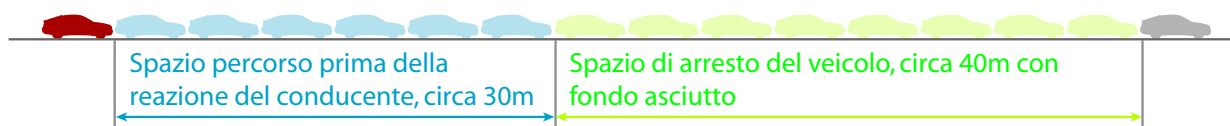
8.1.1 Come si comporta un flusso di auto in una strada

Le auto sono elementi semoventi indipendenti e scarsamente comunicanti tra loro, che si muovono seguendo delle regole comportamentali che, in linea di principio, evitano la possibilità di scontri. Tra queste quella che più ci interessa in questa sede è la distanza che questi veicoli tengono tra loro, necessaria ai piloti per reagire ad un'azione di uno dei mezzi che lo circondano.

Secondo il codice della strada la distanza di sicurezza deve essere tale "da evitare in ogni caso la collisione con il veicolo che precede". Questa frase viene tipicamente interpretata stabilendo la distanza di sicurezza minima consentita come lo spazio percorso dal veicolo in un secondo, tempo di risposta del conducente, sommato allo spazio di arresto del veicolo.

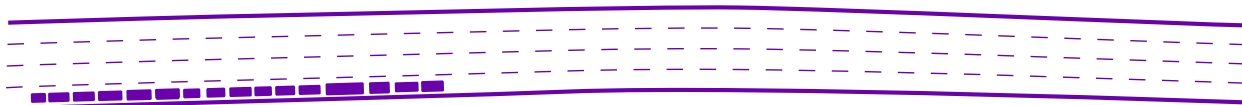
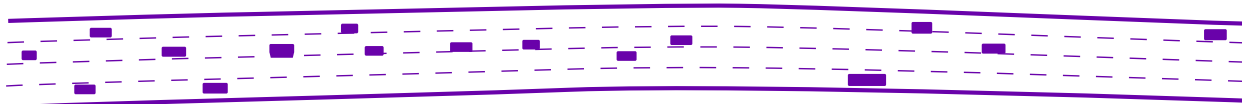
Ad una velocità di 100 km/h questo significa tenere una distanza di circa 70 m tra un veicolo

Distanza di sicurezza per il codice della strada a 100 km/h



Almeno il 93% della strada è vuoto, a velocità superiori la situazione peggiora.

Fig. 8.1 Rappresentazione grafica della distanza di sicurezza minima imposta dal codice della strada a 100 km/h.



e l'altro, il che significa avere almeno il 93% della strada vuoto, se consideriamo poi che una corsia è larga 3,70 m e un'auto intorno agli 1,7 m arriviamo ad ottenere che quasi il 97% di una strada percorsa da veicoli che viaggiano a 100 km/h è vuoto.

Nella realtà le distanze di sicurezza tenute sono inferiori a quelle indicate nel codice della strada, infatti se questa regola fosse rispettata il flusso massimo possibile per corsia sarebbe di circa 1300 v/h, invece a questa velocità si ottengono flussi di circa 1500 v/h per di più con un traffico irregolare, con veicoli che procedono a distanze pericolosamente ridotte e

zone sottoutilizzate.

Anche nella pratica le strade percorse ad alte velocità sono comunque sostanzialmente vuote (vedi figura 7.3).



Fig. 8.2 (In alto) Le strade percorse ad alta velocità sono sostanzialmente vuote.

Fig. 8.3 (In basso) Irregolarità del traffico e problemi causati.



8.1.2 La nostra soluzione

Oggi è possibile, ed è già stato fatto sperimentalmente, far viaggiare veicoli guidati automaticamente e connessi tra loro mediante sistemi di comunicazione tra veicoli a distanza ravvicinata e costante, formando di fatto dei treni di veicoli¹.

Al posto delle auto ipotizziamo l'utilizzo di piccoli moduli a due posti in modo da ottimizzare il rapporto tra persone effettivamente trasportate e lunghezza del convoglio.

Usando mezzi a due posti il fattore di occupazione scenderà leggermente, ma si riduce ben di più la lunghezza del veicolo, oltre ovviamente ad essere un vantaggio dal punto di vista di pesi, consumi, ingombri e impiego di risorse per la

produzione dei veicoli.

Abbiamo dunque cercato di capire che miglioramento ci possiamo aspettare usando il modello descritto in fase di analisi e costruito in base alle indicazioni dell'Highway Capacity Manual.

Abbiamo ipotizzato di usare veicoli da 2,5 m che viaggiano in formazioni da 20 veicoli a distanza di un metro. Per quanto riguarda la distanza tra i moduli abbiamo ipotizzato di tenere una distanza pari allo spazio di arresto più quello di reazione, considerando però il tempo di reazione pari a 0,5 sec. che per un sistema di guida automatica è moltissimo.

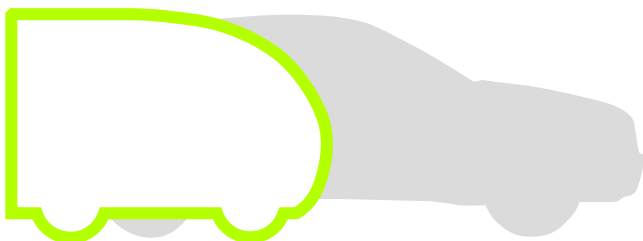
Il risultato è un flusso massimo teorico di circa 15.000/20.000 v/h per corsia, circa 10 volte quelli in grado di circolare attualmente secondo le rilevazioni riportate nell'Highway Capacity Manual. Per altro tale flusso è riportato ad una

¹ Steven Ashley, "Verso l'auto a rischio zero" in "Le scienze", marzo 2009.

Fig 8.4 Veicoli sperimentali in viaggio in formazione e senza autista a distanza ravvicinata su una strada della California.

Funzionamento di base del sistema.

Modulo a due posti, lunghezza 2,5m



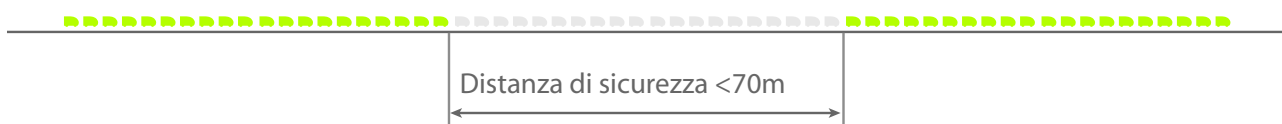
Formazione di convogli di veicoli disposti a distanza ravvicinata durante la marcia.



La distanza tra due convogli può essere minore di quella imposta ora.



All' aumentare del traffico si può aumentare la dimensione dei convogli.



velocità di 48 km/h, mentre il flusso massimo ottenibile utilizzando formazioni di veicoli di questo tipo si ottiene intorno ai 180 km/h, questo significa che non è necessario, come invece succede ora, diminuire la velocità in situazioni di flusso vicine a quello massimo consentito dall'arteria stradale.

Applicare un sistema simile alle infrastrutture di cui si dispone attualmente le renderebbe quindi ampiamente sufficienti a garantire una viabilità ottimale in qualsiasi ora del giorno, anche riducendo il numero di corsie utilizzate.

Stiamo parlando quindi di eliminare completamente il problema traffico, anche riducendo le dimensioni delle arterie stradali.



8.1.3 Come si può fare

Per realizzare un sistema simile occorrono sostanzialmente tre cose:

- auto dotate di sistemi di guida automatica.
- auto in grado di comunicare tra loro.
- un protocollo di comunicazione e comportamento standard.

Un treno di veicoli non può affidarsi alla guida di una singola persona, che potrebbe essere per altro poco qualificata o in condizioni non ottimali.

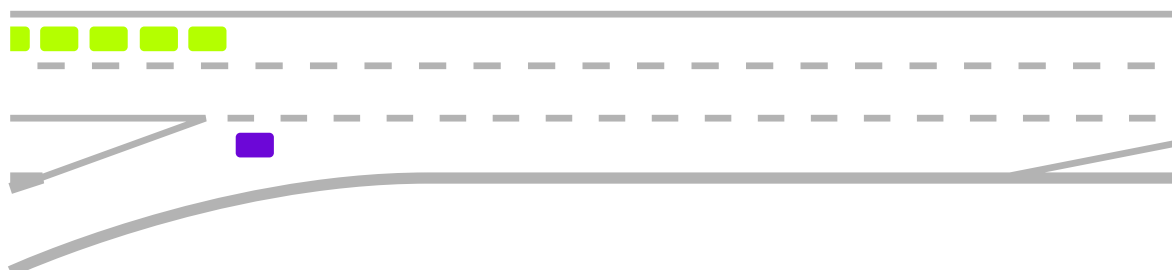
Per realizzare il sistema occorre un sistema di guida automatica, tecnologia già di fatto disponibile e in fase di graduale introduzione (frenata di emergenza assistita, controllo di stabilità, sistemi di parcheggio automatici, sistemi di frenata di emergenza automatica, cruise control di seconda generazione in grado di modulare la velocità del mezzo nel traffico).

Nel nostro progetto ipotizziamo l'uso di sistemi di guida automatica, per il momento, solo nelle arterie principali e nelle principali vie urbane, purché dotate di svincoli e prive

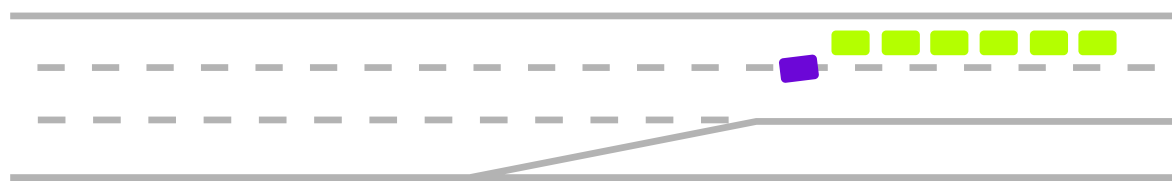
Fig. 8.5 Il veicolo sperimentale "Boss" di GM, in grado di muoversi in contesti urbani in presenza di altri veicoli.

Aggregazione e separazione da un convoglio.

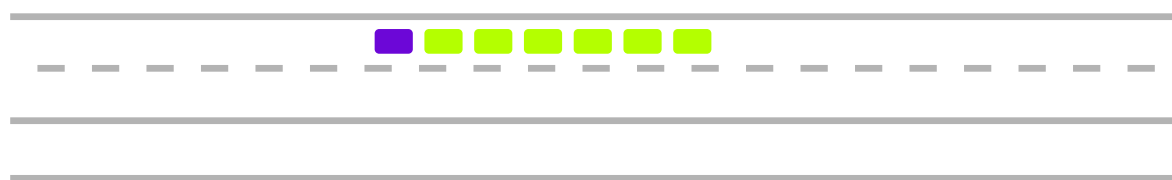
Passaggio alla guida automatica.



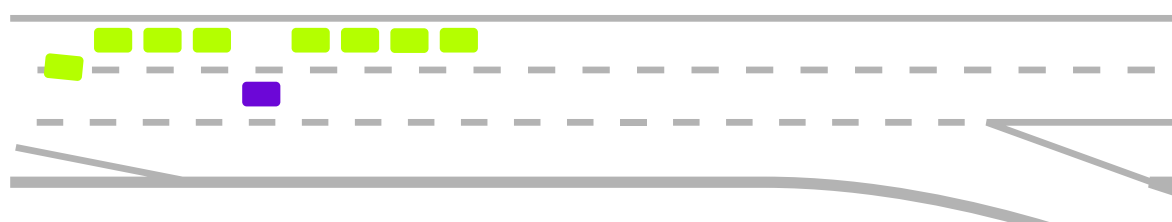
Aggregazione del modulo o di più moduli ad un convoglio in transito.



Viaggio in configurazione aggregata.



Separazione dal convoglio.



di incroci o che siano dotate di sistemi di comunicazione tra veicoli e infrastrutture, in ogni caso per questo tipo di applicazioni ipotizziamo un'introduzione più incerta e lontana.

Per quanto riguarda la comunicazione tra veicoli, si tratta di sistemi di comunicazione wireless sviluppati per mettere a conoscenza il conducente di cose che non può vedere, ma già usati sperimentalmente per far viaggiare veicoli a distanza costante (non che una cosa escluda l'altra).

Per dare un'idea della prossimità temporale di introduzione di questa tecnologia è utile sapere che l'Unione Europea ha già assegnato le frequenze da utilizzare per questo tipo di sistemi, un primo passo importante.

E infine serve un protocollo di regole e linguaggi di comunicazione.

Un po' come è avvenuto per il web, i cui linguaggi e protocolli sono studiati da un apposito consorzio, il W3C, che fornisce le direttive ufficiali ai produttori di Software e Hardware perché le possano seguire e aggiornare.

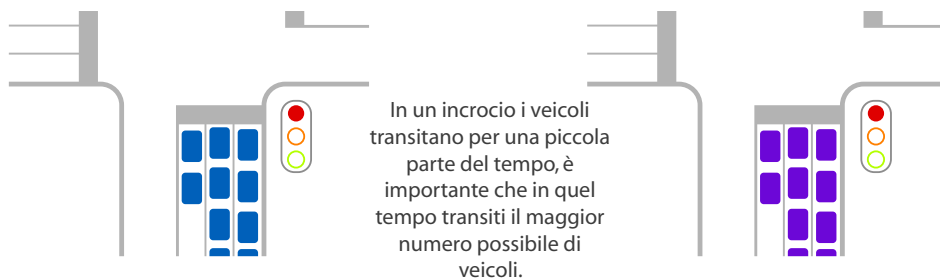
Oppure, in modo ancora più simile, come è successo con i cellulari, che hanno visto lo sviluppo di sistemi Etax, GSM, UMTS, 3G standard che consentono ad un qualsiasi cellulare di funzionare efficacemente in quasi tutto il mondo grazie ad una rete infrastrutturale dedicata predisposta per essere compatibile con lo standard definito.

Veicoli in grado di viaggiare in questo modo dovranno disporre di un sistema di comunicazione ed elaborazione delle informazioni particolarmente affidabile, in cui ci siano margini di malfunzionamento estremamente ridotti, quindi gli standard dovranno essere particolarmente rigidi e ridondanti, in modo tale da funzionare anche in caso di mal funzionamento di uno degli elementi coinvolti.

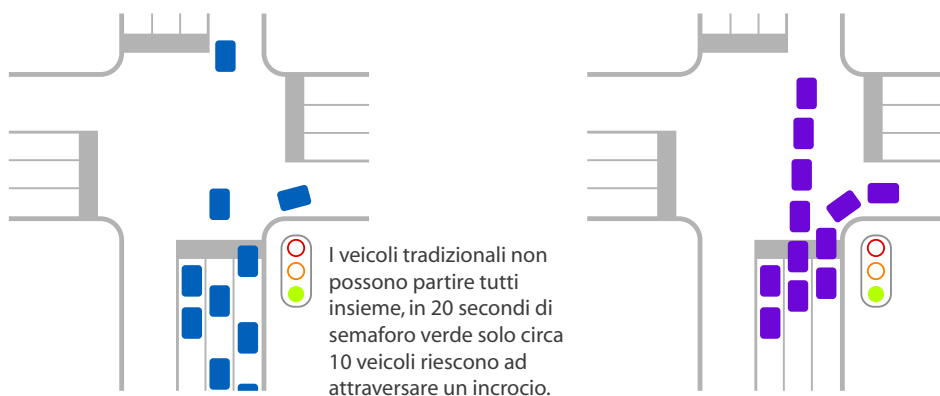
Protocolli DSRC (Dedicated Short Range Communications) sono stati sviluppati dalla FCC (Federal Communication Commission) in America, dalla European Telecommunications Standards Institute (ETSI) in Europa, i sistemi si basano su due frequenze diverse, d'altronde viaggiare tra Europa e USA in auto è per lo meno infrequente.

Per il momento tecnologie DSRC sono usate in USA, Europa e Giappone per il pagamento elettronico di pedaggi, in Italia il sistema è conosciuto con il nome di "Telepass".

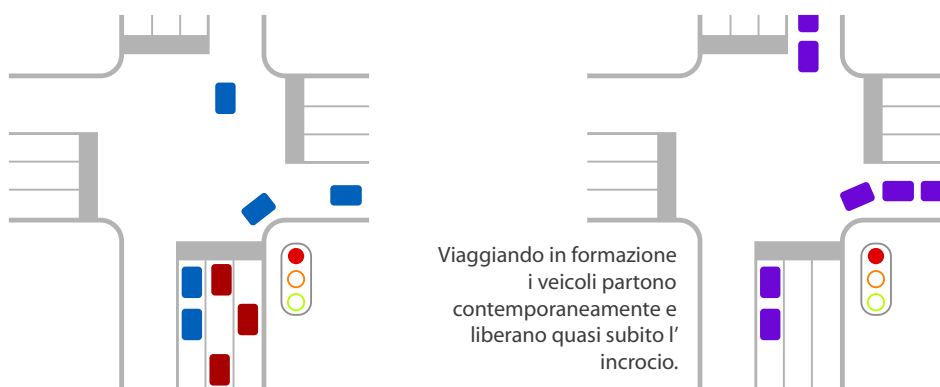
Aggregazione in contesti urbani.



A semaforo verde i veicoli cominciano la marcia.



Se quando il semaforo diventa rosso sono passati meno veicoli di quanti ne siano sopraggiunti si va verso il blocco.



8.1.4 Libertà o controllo

Possiamo dire che oggi esiste una “cultura” dell’auto fatta di spot pubblicitari, immagini, film, musica, esperienze, competizioni, racconti tra amici e conoscenze ecc... l’auto è spesso una parte importante della vita delle persone che lavorano mesi o addirittura anni per pagarla, ma che ci passano anche molte ore al giorno.

La cultura dell’auto è poliedrica, ma dove questa è dominante, dove esclude valori esterni, quindi dove la possiamo osservare al suo stato puro, si vede chiaramente una sorta di etica, a nostro pa-

rere distorta, che vede in realtà l’auto stessa come fine ultimo, insomma una sorta di etica auto celebrativa.

Il fine ultimo propagandato attraverso i mezzi di comunicazione del mondo dell’auto è la possibilità di guidare, quindi di controllare, mezzi potenti, prestazionali, tecnologici e prestanti, dove la guida del mezzo rende automaticamente potente anche il guidatore, ma questa possibilità di solito non esiste.

Nella realtà chi guida un’auto la guida all’interno di un complesso sistema di infrastrutture, ma soprattutto di codici e regole.

Questo sistema è per altro talmente sovraffollato



Fig 8.6 Il sedile di guida di un’auto di fascia alta, la progettazione dell’ambiente di guida delle auto è completamente mirata alla guida stessa.

che lo spazio di espressione della propria volontà si riduce molto spesso nel migliore dei casi alla scelta della destinazione, nel peggiore dei casi il raggiungimento della destinazione avviene in tempi poco ragionevoli a causa del traffico, o in rari casi non avviene affatto a causa di incidenti lungo il percorso.

La domanda che ci poniamo in questa sede è: “Cos’è guidare un’auto? Non è esercitare potere di controllo?”

Evidentemente no, guidare è controllo, ma non è potere, poiché il guidatore è quasi sempre non un decisore, ma un esecutore, un attuatore di indicazioni prescritte dal sistema.

Del potere gli rimane quindi solo la responsabilità di non dover sbagliare, responsabilità che in alcuni casi diventa un onere molto grave.

Per altro la guida umana, difficilmente prevedibile, poco affidabile e inefficiente dal punto di vista dell’ottimizzazione del transito all’interno della rete, comporta di fatto una grave preclusione della possibilità di spostamento in quanto è frutto di traffico inutile e incidenti.

Quello che sta succedendo è che gli automobilisti, e indirettamente un po’ tutti noi, stanno/stiamo rinunciando all’effettiva libertà di spostarsi da un luogo ad un altro in tempi ragionevoli (che è il bene primario della mobilità) per non rinunciare ad un bene non solo

accessorio, ma anche illusorio, ovvero il bene dell’esercizio di potere attraverso il controllo del mezzo di trasporto.

Una scelta simile è chiaramente assurda ed è dovuta ad una scarsa comprensione del problema, unita, ad una certa inerzia culturale e all’appeal che riesce ad esercitare l’idea di guidare, idea che poi si può realizzare solo in pista, non in strada.

In strada di fatto l’unica decisione di rilievo che può prendere un guidatore è quella di non rispettare le indicazioni che gli vengono fornite, infrangendo delle regole e mettendo a rischio la sicurezza di tutti.

Optare, come stiamo facendo nell’ambito di questo progetto, per un sistema di guida automatica significa quindi oggi lasciare un bene accessorio e illusorio per l’essenziale, scelta sostanzialmente obbligata considerando che l’attuale politica e prassi progettuale ha portato l’intero sistema sull’orlo del collasso.

8.1.5 Ipotesi di viaggio

Vediamo quindi come potrebbe avvenire un viaggio tipo in questa nuova modalità di movimento. Il viaggiatore sale sul suo veicolo e imposta la destinazione che intende raggiungere, magari l'ha già impostata precedentemente da un pc o dal cellulare, ricevendo già indicazioni sull'orario a cui partire.

Se il veicolo si trova in un punto della rete dove non è prevista la guida automatica il computer di bordo fornirà le indicazioni stradali per raggiungere la rete principale.

Giunto al punto di innesto con la rete principale il viaggiatore abbandona la guida e può dedicarsi ad altre attività o semplicemente riposarsi.

Il veicolo si immette nella rete principale, se ci sono veicoli, o convogli di veicoli, nelle vicinanze, il veicolo vi si aggregherà viaggiando a distanza ravvicinata, ottimizzando quindi il deflusso del traffico e risparmiando carburante.

Durante la marcia il veicolo mantiene una distanza ridotta dal veicolo che precede, il computer di bordo rimane connesso al computer degli altri veicoli, in modo tale da poter compiere le azioni necessarie, per esempio un rallentamento improvviso, nello stesso momento.

I convogli viaggiano a velocità standard, quin-

di non sono necessari sorpassi tra convogli, nel caso ci siano punti di particolare densità di veicoli i convogli cambiano la loro velocità in modo tale da rendere la concentrazione più omogenea e di consentire l'ingresso o l'aggregazione di altri veicoli o convogli.

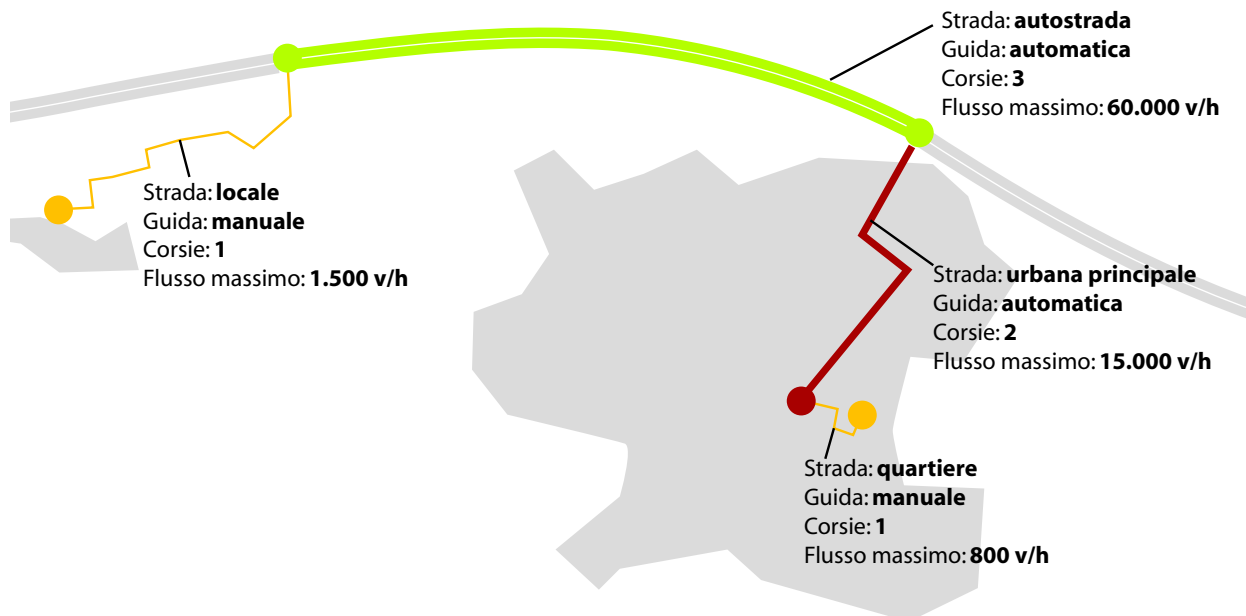
Nelle principali vie urbane i veicoli si aggregano in convogli subito prima degli incroci, l'incrocio può essere dotato di semaforo o di un più evoluto sistema di gestione e comunicazione tra infrastruttura e veicoli.

In condizioni di forte traffico il numero dei veicoli che compone ogni treno aumenta, aumentando anche l'efficienza del sistema, senza implicare lunghe attese poiché in condizioni di forte traffico lunghi convogli si formano velocemente, specialmente se gli incroci vicini consentono un deflusso molto rapido.

Giunti in prossimità del punto di uscita dalla rete principale il viaggiatore viene avvisato e si prepara a ritornare alla guida.

Al punto di uscita dalla rete principale il viaggiatore torna alla guida, il computer di bordo si assicura che il guidatore sia di nuovo vigile e alla guida e gli fornisce le indicazioni per giungere a destinazione.

Anche durante la guida manuale i veicoli, in grado di comunicare tra loro, si scambiano informazioni su ostacoli nascosti, veicoli in arrivo,



strade bloccate, lavori in corso ecc... il computer di bordo avverte il viaggiatore dei pericoli e cambia strada se necessario.

Il viaggiatore è giunto a destinazione, non ha mai guidato a velocità elevate, quindi è poco probabile che un suo errore nella guida o una distrazione possa provocare gravi danni, mentre le ridondanze del sistema, unite a controlli incrociati tra i veicoli che formano il convoglio, rendono estremamente sicuro il viaggio ad alta velocità, eliminando quella che è la causa principale della quasi totalità degli incidenti, ovvero l'errore del guidatore.

Il viaggiatore non ha trovato traffico e ha riposato durante la maggior parte del viaggio,

giunge quindi a destinazione riposato e presumibilmente in orario.

Pensare cosa questo potrebbe poter dire per i milioni di persone che ogni giorno in Italia usano l'auto per andare a lavorare nelle grandi città guidando su strade quasi perennemente intasate dal traffico per anche due o tre ore al giorno dà un'idea di quanto un sistema simile potrebbe cambiare la qualità della vita.

Vera libertà di muoversi velocemente, in sicurezza e senza fatica.

8.2 Il veicolo

Il veicolo progettato è un modulo a due posti aggregabile ad un altro modulo uguale, formando quindi, quando occorre, un veicolo capace di ospitare quattro persone in uno spazio unico.

Il sistema di propulsione è posto all'interno di un pianale dello spessore di circa 20 cm, e permette quindi di disporre di ampi spazi al-

l'interno del modulo.

Sospensioni e motori elettrici sono integrati all'interno delle ruote.

Il controllo avviene mediante un sistema "by wire" che permette di ottenere un sistema di controllo flessibile e poco ingombrante.

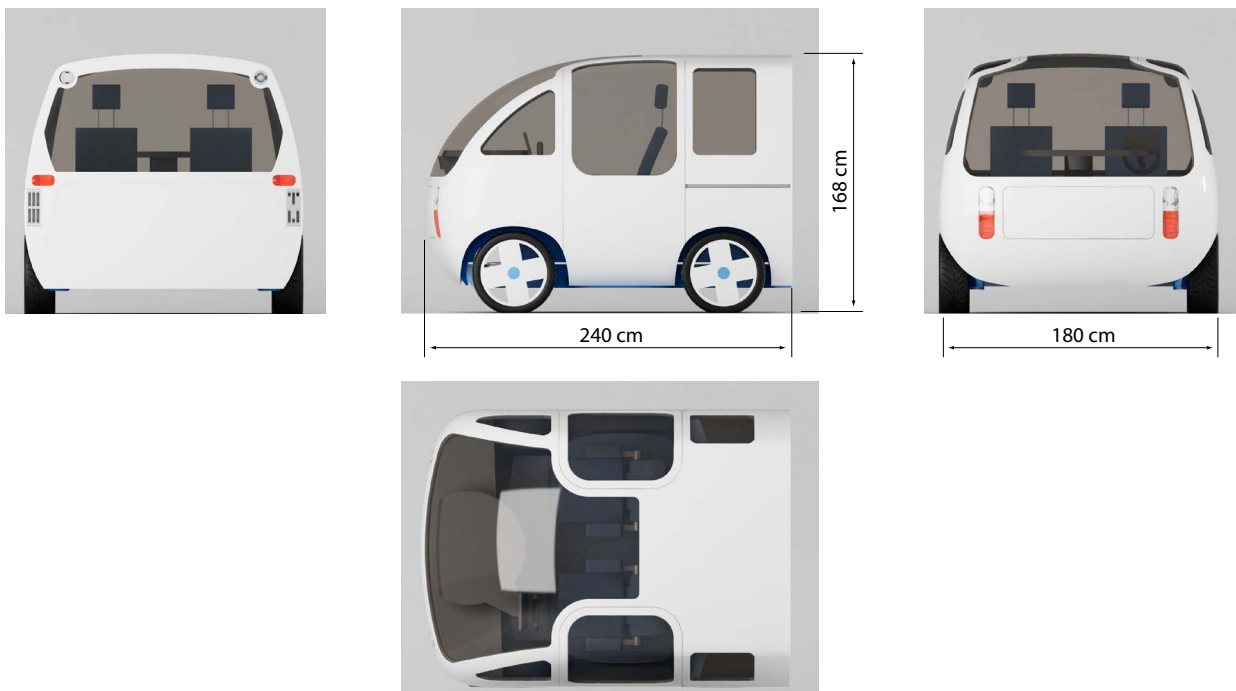


Fig 8.7 Schema di ingombri e abitabilità dei moduli accoppiati.

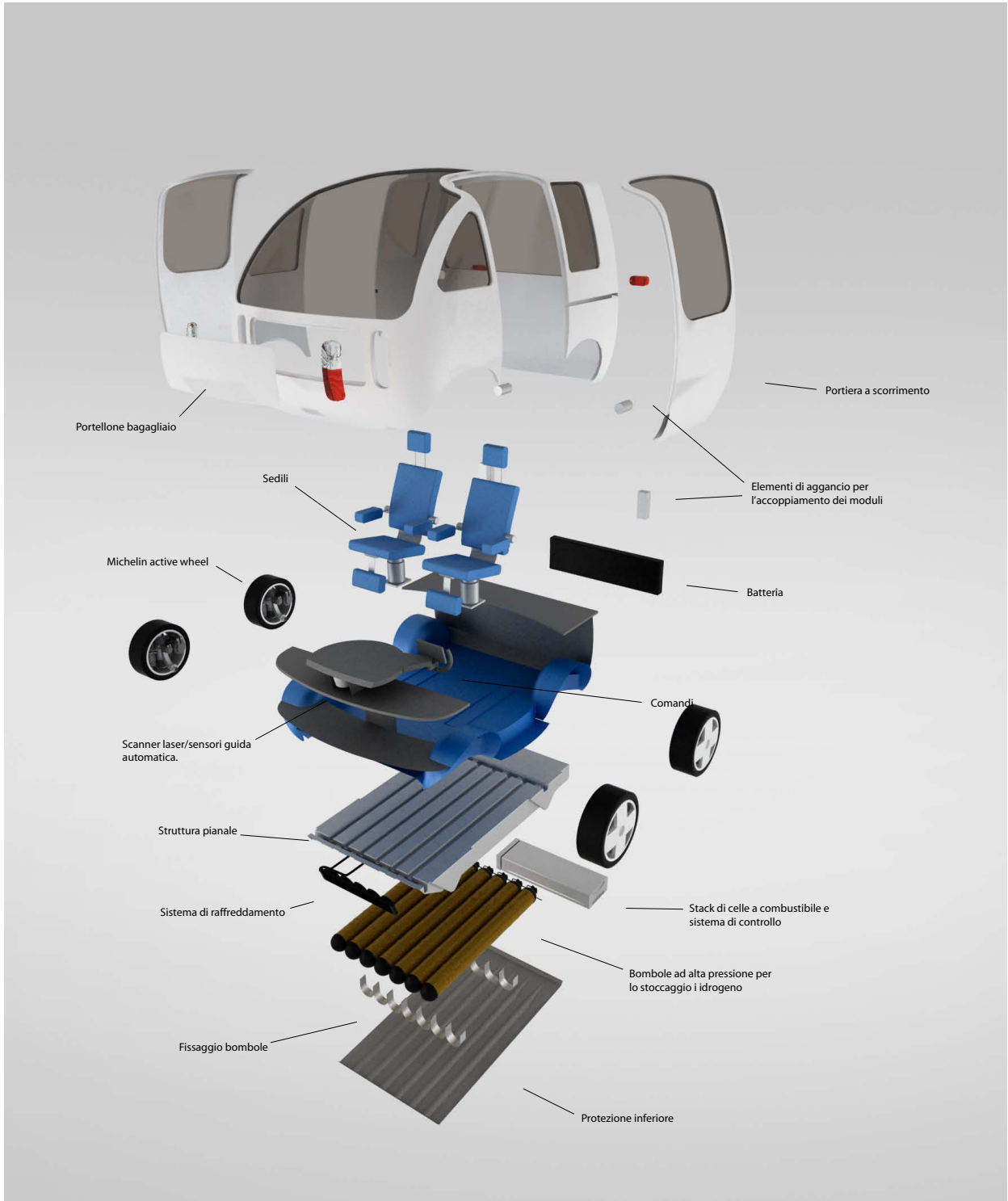


Fig 8.8 Esploso degli elementi principali che costituiscono un modulo.

8.2.1 Accoppiamento

I moduli si aggregano giuntandosi sul lato posteriore, attraverso un sistema di spinotti ed eccentrici in grado di lavorare anche in condizioni di allineamento imperfetto.

Ne risulta quindi un veicolo a otto ruote lungo 480 cm con quattro sedili, che si può guidare come una normale auto.

I due spazi vengono messi in comunicazione attraverso l'abbassamento elettrico de lunotti posteriori. I sedili possono ruotare in modo da potersi posizionare di fronte e per consentire al modulo posteriore di rivolgersi nella direzione di marcia per evitare problemi di cinetismo durante viaggi su tratti di strada particolarmente curvilinei, ma anche per poter rivolgere i sedili anteriori verso la parte posteriore formando quindi una

sorta di salotto intorno ai due piani di lavoro posteriori dei moduli.

Un problema da risolvere è stato lo sterzo, se volessimo far sterzare la coppia di moduli come una normale auto (il centro del raggio della curva è in asse con le ruote posteriori) saremmo costretti ad avere 6 ruote sterzanti (4 del modulo anteriore e due del modulo posteriore).

Se invece ipotizziamo di far curvare la coppia di moduli intorno ad un centro posto in asse con il centro dei due moduli (quindi il punto di giunzione) tutto è più semplice.

Le ruote sterzanti rimangono solo le prime e le ultime (che devono per forza di cose essere sterzanti perché servono ai moduli nel momento in cui viaggiano da soli), le ruote centrali essendo molto vicine al centro del veicolo possono rimanere fisse senza creare problemi, come accade, per esempio, per le ruote posteriori di un bilico.

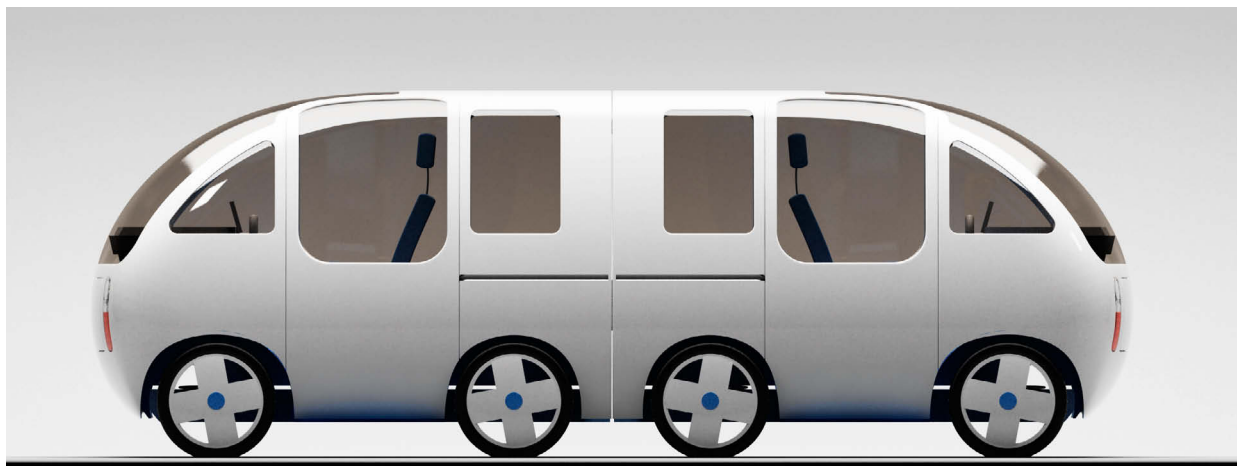
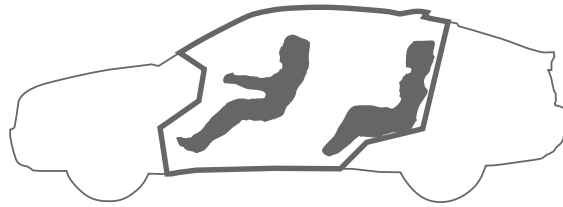
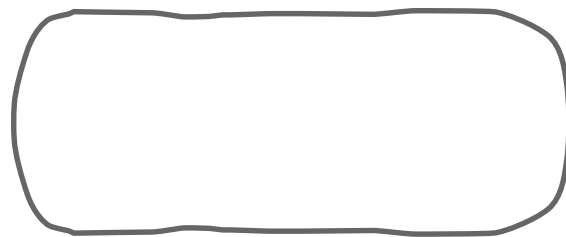
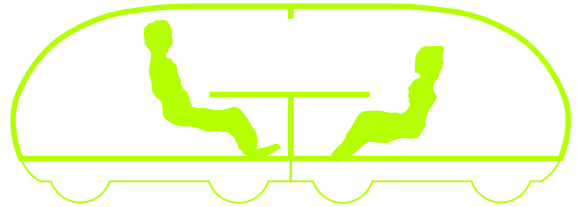


Fig 8.9 Vista laterale di due moduli accoppiati.

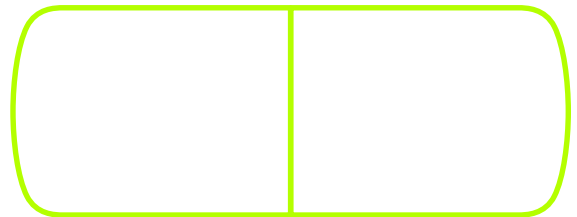
Accoppiamento, ingombri e abitabilità.



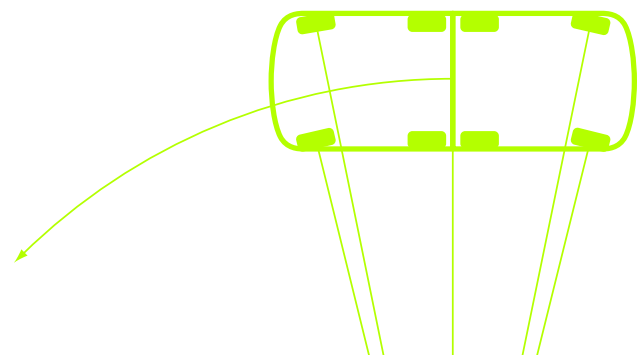
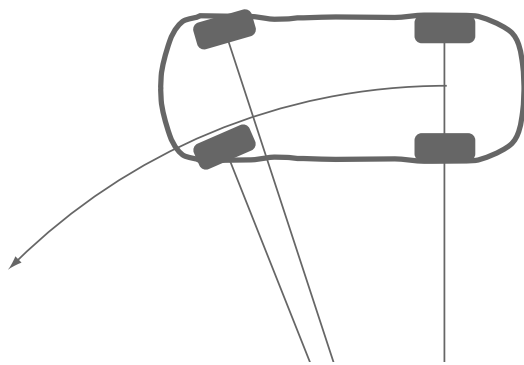
Visda laterale



Vista superiore



Sterzo





Così facendo il raggio di sterzo della coppia di moduli rimane perfettamente uguale a quello del modulo singolo, rimanendo quindi molto manovrabile.

Il sistema di aggancio è costituito da quattro punti di assemblaggio non simmetrici per consentire la compatibilità tra veicoli identici, i due componenti maschio sono posti da un lato, quelli femmina dall'altro.

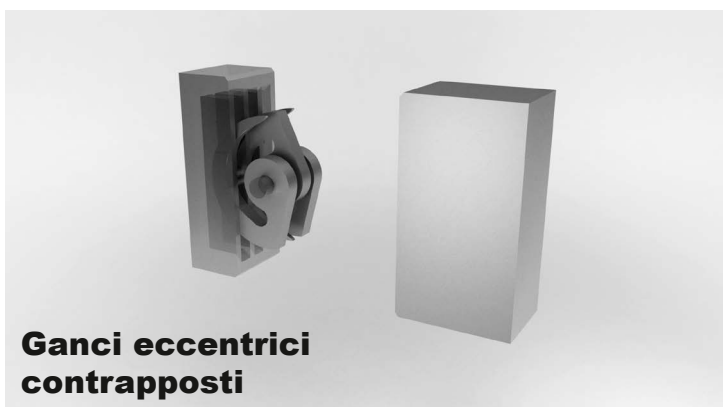
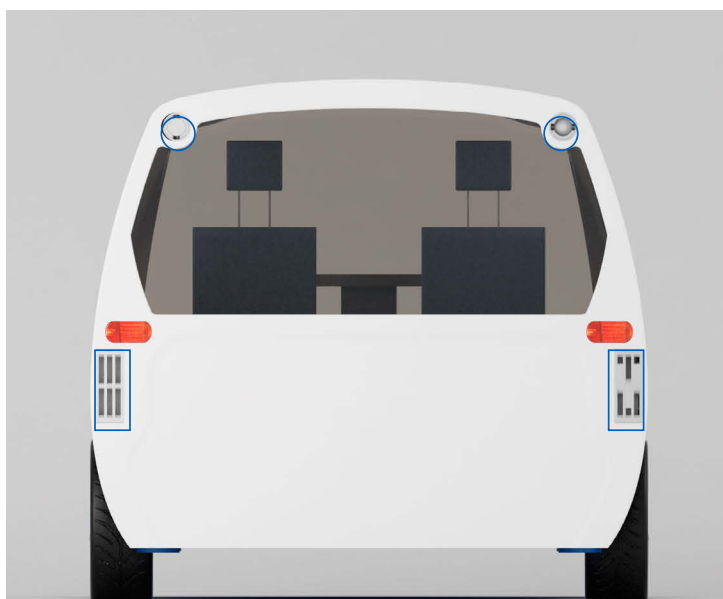
Abbiamo ipotizzato i componenti inferiori come dei ganci eccentrici, in grado di assemblarsi anche in condizioni di allineamento imperfetto e differenze di altezza o orientamento dei moduli.

I componenti superiori sono invece innesti a baionetta.

Il sistema di aggancio deve includere una connessione elettronica per controllare entrambi i veicoli durante la guida, in particolare la propulsione e lo sterzo posteriore, che deve essere sincronizzato con quello anteriore.

Fig. 8.10 Due moduli accoppiati generano uno spazio confortevole e adatto ad ospitare quattro persone durante viaggi, anche lunghi.

Posizionamento e composizione degli elementi per l'accoppiamento



8.2.2 Sistema di propulsione

Il veicolo è dotato di un sistema di propulsione a celle a combustibile alimentato ad idrogeno. Sono in molti a pensare che questo tipo di architettura sia il futuro e che l'idrogeno sia la chiave per una futura economia più sostenibile.

L'idrogeno però non si trova in natura, funziona quindi in ultima analisi come un sistema di immagazzinamento dell'energia più efficiente di una batteria, un'auto alimentata a celle a combustibile non è quindi in ultima analisi molto diversa da

un'auto elettrica. In effetti il consumo energetico di auto a idrogeno, elettriche a batterie o ibride è molto simile.

Nel grafico in basso sono paragonati i consumi energetici di alcuni veicoli, quelli che maggiormente ci interessano sono i veicoli ibridi (HEV), ibridi con collegamento alla rete elettrica (PHEV), elettrici a batteria (BEV) e a celle a combustibile a idrogeno (FCV).

Un motore a combustione interna converte in energia meccanica circa il 20/25% dell'energia chimica che consuma, la Honda FCX Clarity, un'auto a celle a combustibile alimentate a idro-

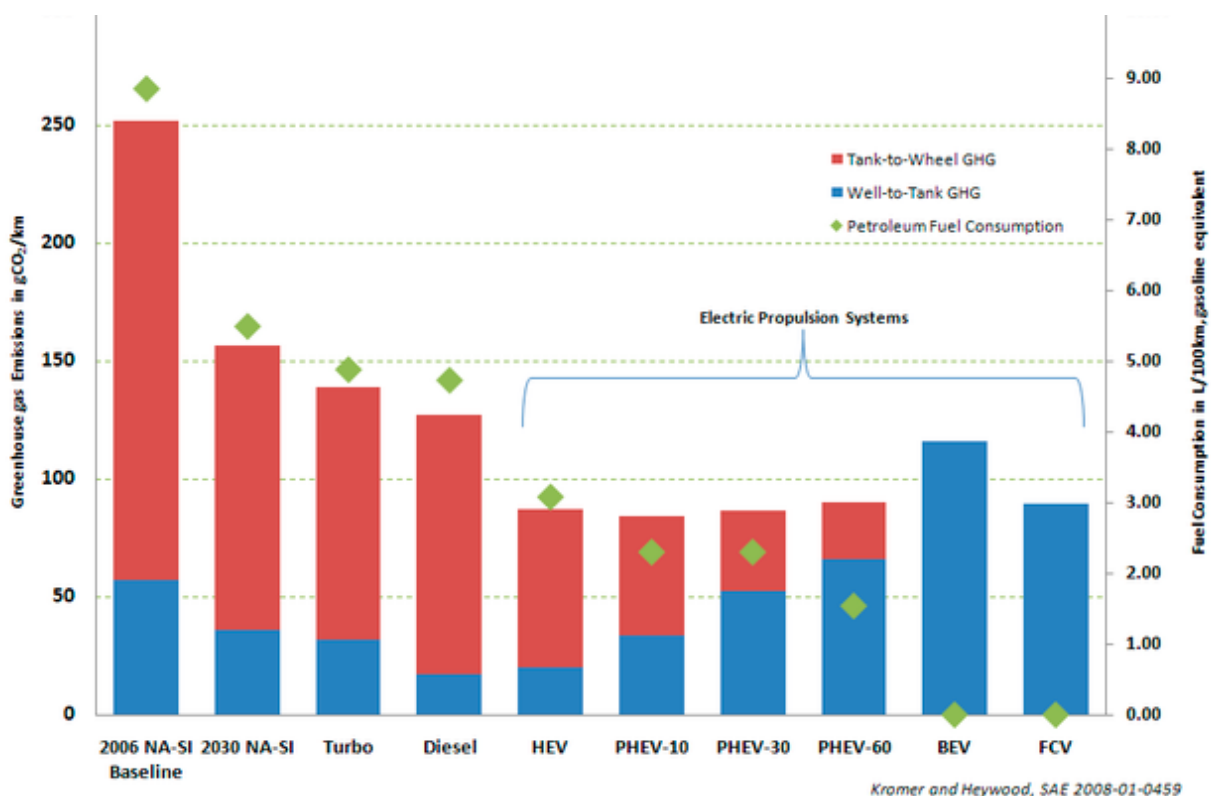


Fig. 8.11 Consumi energetici calcolati per l'intero ciclo di vita del prodotto, fonte: Matthew A. Kromer and John B. Heywood

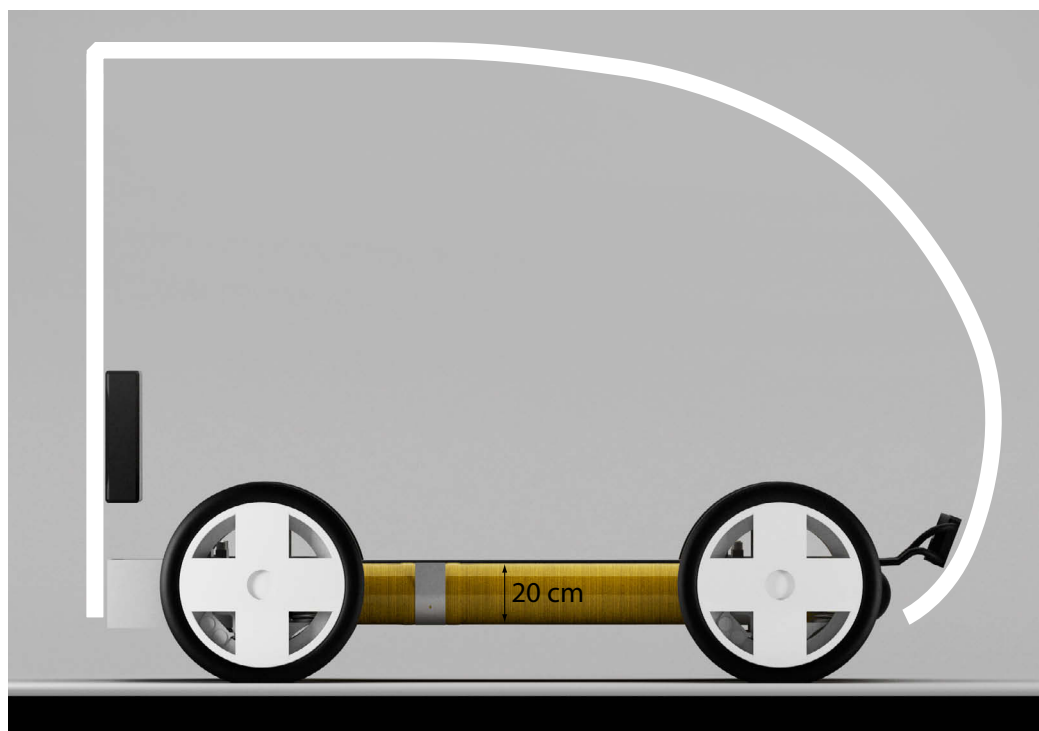
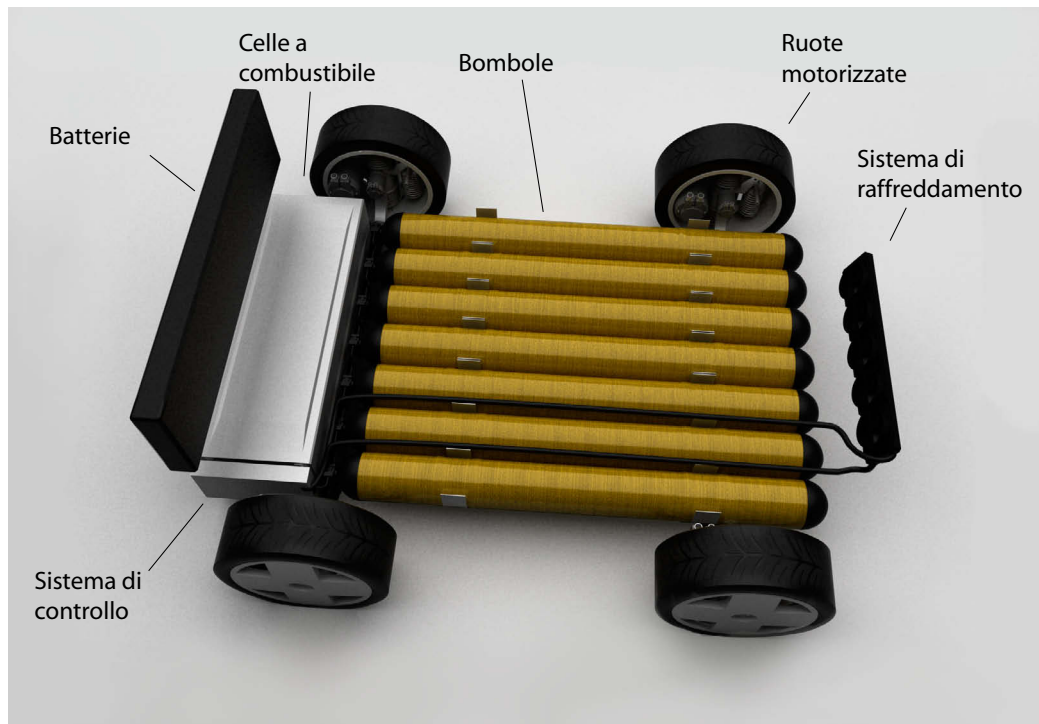


Fig. 8.12 Composizione e posizionamento del sistema di propulsione.



geno in commercio in alcune zone degli USA, ha invece un'efficienza del 60%, quasi il triplo¹. Per il futuro si prevede di poter arrivare a rendere commerciabili sistemi che raggiungano il 90% di efficienza.

Purtroppo però per produrre idrogeno attualmente serve energia elettrica, e la produzione di energia elettrica è in larga parte ottenuta con centrali termoelettriche che presentano un'efficienza del 45% circa.

Il 60% del 45% corrisponde ad un "misero" 27%, che è poco superiore al rendimento di un motore a scoppio tradizionale.

La chiave di successo dell'idrogeno non è quindi nel presente, ma nel futuro, non è un modo per risolvere il problema, ma per rendere le auto compatibili con un sistema potenzialmente in grado di risolvere il problema.

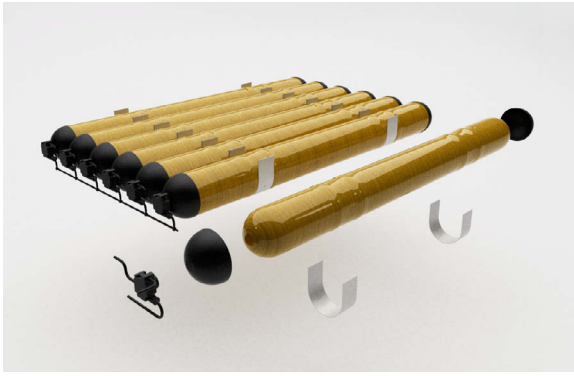
Altre speranze possono arrivare dalla produ-

zione di idrogeno; in particolare a livello sperimentale è già possibile la produzione di idrogeno attraverso l'uso di luce e batteri, come avviene per il metano, sistema che se sviluppato potrebbe essere molto più efficiente della doppia conversione solare-elettrico-idrogeno.

Riassumendo la scelta di un sistema basato su celle a combustibile a idrogeno deriva quindi da questi fattori:

- **consumi energetici tra i più bassi ottenibili.**
- **compatibilità con economie basate sulla produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.**
- **emissioni inquinanti localmente quasi nulle**
- **ingombri ridotti.**

Fig. 8.13 Il telaio studiato nell'ambito del progetto "skateboard", che in un pianale di 20cm include tutto il sistema di propulsione e un sistema di controllo "by wire"



8.2.3 Bombole

A temperatura e pressione ambientale, l'idrogeno puro ha le caratteristiche di un gas, ha una densità molto bassa (0°C e 1013mbar di pressione), mentre la benzina ha una densità superiore ai 710 kg/m^3 , l'idrogeno ha una massa specifica di soli $0,09\text{ kg/m}^3$. Per ulteriore raffronto, il metano, per il quale lo stoccaggio in auto è già relativamente critico, ha una densità di $0,72\text{ kg/m}^3$. Per unità di massa, ovvero un kg , l'idrogeno sviluppa però 120 MJ , contro i $43,5$ della benzina e i 50 del metano. Questo significa che un chilo di idrogeno sviluppa tre volte l'energia di un chilo di benzina, anche se occupa molto più spazio. In condizioni standard un m^3 di idrogeno si traduce quindi in appena $2,97\text{ MJ}$ dove la benzina ne sviluppa 31000 e il metano $3,22$.

Per aumentare la densità di un gas, o si aumenta la pressione, o si diminuisce la temperatura. Per l'idrogeno esiste anche una terza via, derivata

dalla sua capacità di legarsi con altre sostanze, ovvero l'assorbimento in materiali solidi. Le tre soluzioni hanno tutte un risvolto più o meno negativo.

L'immagazzinamento in forma gassosa, ad alta pressione, necessita di bombole capaci di sopportare pressioni di esercizio nell'ordine dei 700 bar (ca. 10145 psi). Per dare un'idea, gli attuali serbatoi di metano per autotrazione, realizzati in lamiera d'acciaio, hanno pressioni di esercizio pari a 220 bar , con una capacità di 85 litri - che equivalgono a circa $14\text{-}15\text{ kg}$ di metano immagazzinati e pesano quasi un quintale.

Un'alternativa già sviluppata scientificamente è lo stoccaggio allo stato liquido; l'idrogeno evapora a -253°C , il che vuol dire che, per mantenerlo allo stato liquido, è necessario stivarlo a temperature inferiori. Una temperatura del genere, è un traguardo non indifferente, visto che è appena 20°C sopra il cosiddetto "zero assoluto", il limite minimo di temperatura raggiungibile teoricamente. Conservare l'idrogeno a temperature di quest'ordine, dette criogeniche, implica la realizzazione di una bombola dalla particolare conformazione, concettualmente non molto diversa da un thermos: due serbatoi separati da una camera d'aria, magari rarefatta o, addirittura, sottovuoto.

Il rendimento in termini di volume occupato/idrogeno contenuto che uno stoccaggio di questo tipo garantisce, è elevatissimo: per fare un

Fig. 8.14 Le bombole installate sul modulo, prodotte da Quantum Technologies e in grado di sopportare una pressione di esercizio di 10.000 psi

raffronto, per ottenere la stessa densità di energia in caso di serbatoi ad alta pressione, sarebbero necessarie bombole capaci di lavorare a ben 1250 bar.

Altre soluzioni come lo stoccaggio in solidi metallici, sotto forma di ammoniaca o in strutture di nanotubi in carbonio o in silicio sono ancora in fase di ricerca e per il momento non possono essere prese in considerazione.

Per il modulo abbiamo deciso di optare per la soluzione più tradizionale, ovvero lo stoccaggio in bombole sotto forma di gas compresso.

La Quantum Technologies produce bombole per lo stoccaggio di idrogeno costruite con un sandwich di HDPE, fibra di carbonio e fibra di vetro. Queste bombole hanno una pressione di esercizio di ben 70 Mpa, corrispondenti a 10.000 Psi.

Sul modulo abbiamo ipotizzato l'installazione

di 7 bombole da 29 l ciascuna, per un totale di 203 l, grazie alla elevata pressione di esercizio e alla dimensione delle bombole possiamo stoccare ad una temperatura di 20° quasi 6kg di idrogeno. La Honda CFX, un'auto a 5 posti sicuramente più pesante, consente lo stoccaggio di soli 3,9 kg a 5.000 psi, il produttore afferma che l'autonomia risultante sia di 240 km.

Anche considerando consumi uguali il nostro modulo dovrebbe quindi godere di un'autonomia di circa 360 km, ma l'uso di motori elettrici alla ruota e le dimensioni inferiori del veicolo porteranno ad un vantaggio ulteriore, in particolare nel caso in cui i due moduli viaggino accoppiati. **In conclusione possiamo aspettarci un'autonomia intorno ai 450 km per il modulo che viaggia singolarmente e 600 km per due moduli che viaggino accoppiati.**

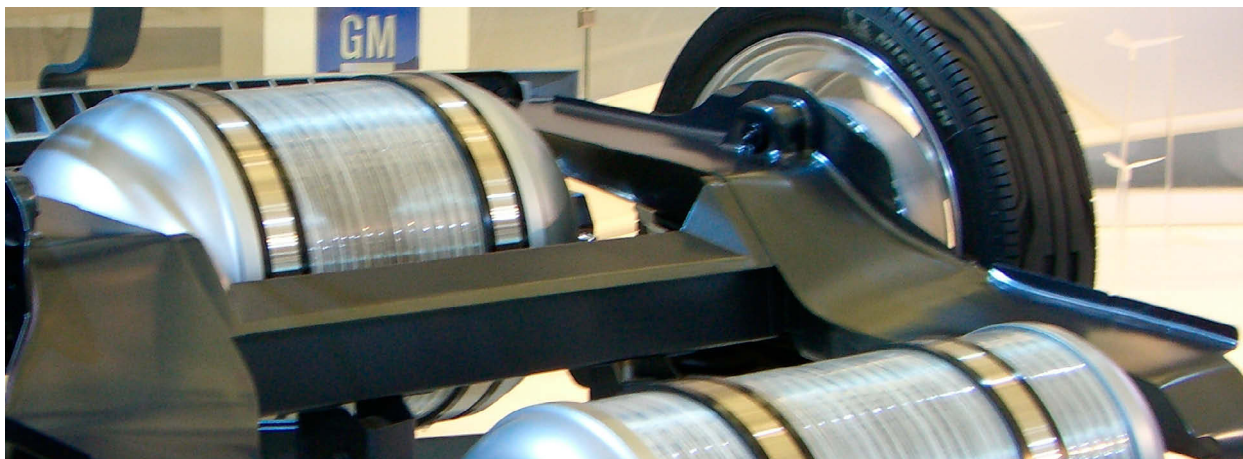


Fig. 8.15 Bombole per idrogeno installate su un veicolo prodotto da GM



8.2.4 Celle a combustibile

Esistono vari tipi di celle a combustibili, molto diversi tra loro come funzionamento e come applicazioni ideali.

Abbiamo scelto di usare celle di tipo PEM (Proton Membrane Exchange), conosciute anche come SPFC e PEFC.

Queste celle a combustibile funzionano a temperature relativamente basse (60-120 °C), hanno un'alta densità di energia e il loro rendimento può variare velocemente a seconda delle esigenze. Sono adatte per applicazioni che necessitano di un avvio veloce.

Secondo il Dipartimento di Energia Statunitense "sono le più indicate per i veicoli ad alto rendimento, per gli edifici e, potenzialmente, per piccoli strumenti, essendo utilizzabili come batterie sostituibili o ricaricabili".

La membrana di scambio dei protoni, ricoperta da entrambi i lati da una lega di particelle metalliche (in origine platino, ma ora anche altri materiali meno costosi) è un sottile foglio di plastica che permette il passaggio dell'idrogeno. Gli atomi di idrogeno vengono attirati verso l'anodo della pila a combustibile, dove, grazie al catalizzatore, sprigionano elettroni diventando ioni di idrogeno (protoni).

Gli elettroni così prodotti creano corrente elettrica, nello stesso tempo i protoni, attraverso la membrana, arrivano al catodo dove idrogeno e ossigeno hanno prodotto acqua, completando l'intero processo.

Attualmente il rendimento di questo tipo di celle è intorno al 60%, ma ci sono margini di miglioramento e la ricerca è molto attiva in questo campo.

Per il dimensionamento delle celle abbiamo fatto riferimento al veicolo prodotto da Honda.

Le celle sono state posizionate al di sotto del pianale dell'auto, dietro alle bombole per lo stoccaggio dell'idrogeno, protette da un carter, ma facilmente accessibili dal basso per operazioni di manutenzione.

Fig. 8.16 Lo stack di celle a combustibile installato sulla Honda Clarity XFX

8.2.5 Motore elettrico

Tipicamente le auto a idrogeno alimentate a celle a combustibile hanno un motore elettrico posizionato sostanzialmente nella stessa posizione di un normale motore a scoppio.

Gli altri elementi necessari alla propulsione del modulo sono stati posizionati sotto al pianale, fatta eccezione per la batteria che in ogni caso è posizionata in modo da non creare limitazioni in relazione alla conformazione degli interni ed alle possibilità di movimento dei sedili.

Abbiamo quindi deciso di usare ruote motorizzate, il che ci consente di raggiungere tre importanti risultati:

- riduzione degli attriti
- eliminazione dell'ingombro della trasmissione
- eliminazione dell'ingombro del motore elettrico

Il modulo è progettato per essere guidato "by wire", quindi lo sterzo non è collegato meccanicamente al volante, ciò ci consentirà di predisporre solo lo spazio per i bracci dello sterzo e per il servosterzo elettrico.

Le ruote motorizzate hanno però degli inconvenienti tipici, il più rilevante è l'aumento della massa non sospesa del veicolo.

Per limitarne gli effetti negativi Michelin ha di recente presentato un sistema particolarmente innovativo chiamato "Active wheel", ideato proprio per riuscire a usare ruote motorizzate, con annesso risparmio energetico e promettenti applicazioni per veicoli ibridi benzina/elettrico, senza perdite di confort o sicurezza del mezzo.

Il principio di funzionamento del sistema è l'uso di due sospensioni integrate nel cerchio, una tradizionale, l'altra gestita da un motore elettrico collegato ad un sistema elettronico che lo gestisce.

Il sistema elettronico è capace di riconoscere la spinta sulla ruota di un dosso o un'irregolarità problematica e, nel momento in cui questa spinta viene meno e c'è anzi una perdita di pressione causata dal passaggio del dosso, che causa tipicamente una perdita di aderenza, attiva la seconda sospensione generando una spinta aggiuntiva verso il basso, permettendo alla ruota di non perdere aderenza.

Il sistema unisce quindi questa importante innovazione con il vantaggio di integrare propulsione, sospensione, sospensione attiva e freno all'interno del cerchio.

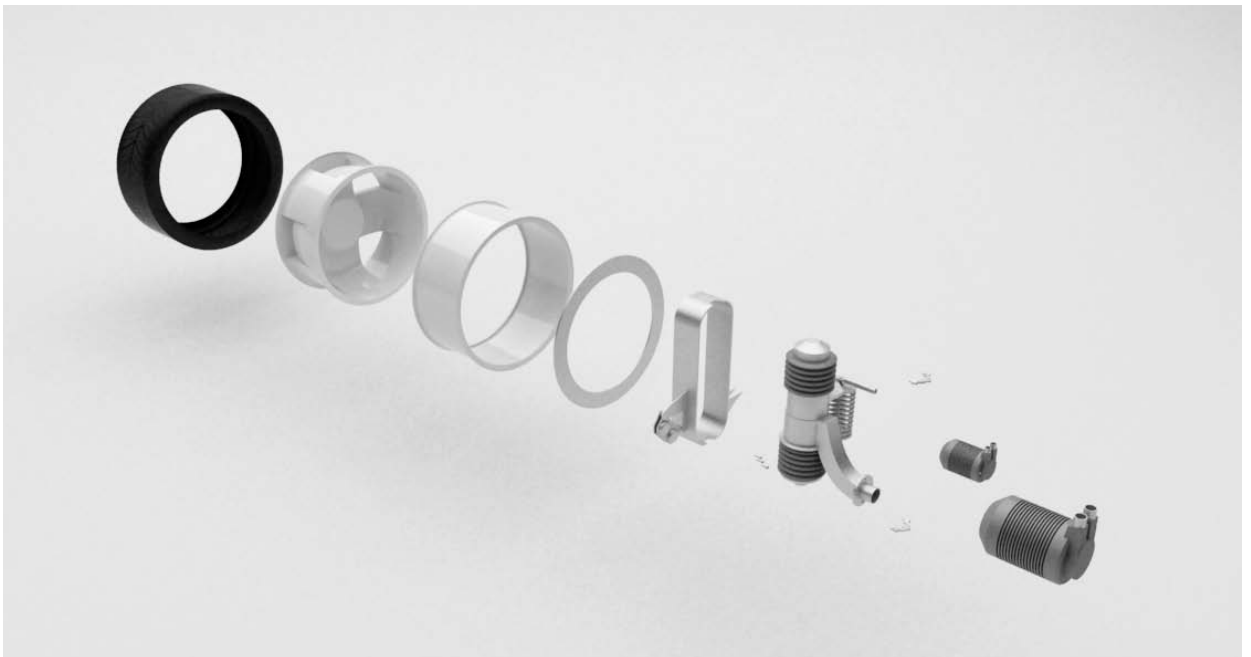
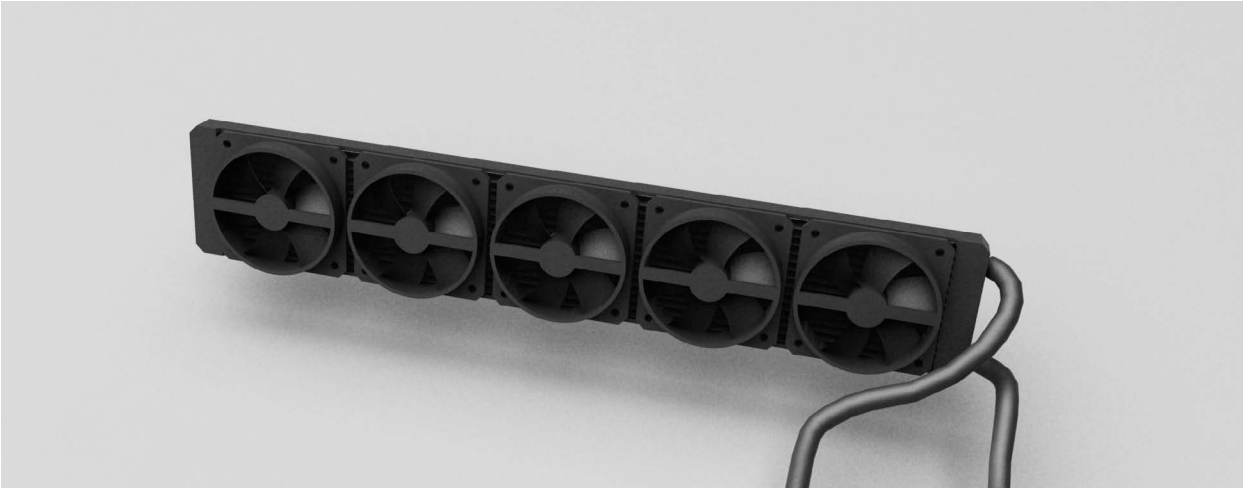


Fig. 8.17 Esploso e immagine di una Michelin Active Wheel, una ruota motorizzata che incorpora anche una sospensione attiva per far fronte all'elevata massa non sospesa.



8.2.6 Raffreddamento

Le celle a combustibile producono quantità di calore variabili a seconda, principalmente, del tipo di cella in questione.

Le celle di tipo PEM (Proton Exchange Membrane), lavorano a temperature comprese tra i 90° e i 120°, le basse temperature di esercizio consentono l'uso di materiali meno costosi e meno difficili da lavorare ed è una delle chiavi del previsto successo di questo tipo di celle nel settore dell'industria automobilistica.

Le celle PEM hanno un'efficienza molto maggiore di quella di un motore a scoppio, anche per questo producono molto meno calore, inoltre il regime di produzione di energia da parte delle celle è molto più costante grazie all'uso di batterie che accumulano l'energia e fungono da

riserva per i momenti dove si necessita di picchi di potenza, quindi non si deve far fronte a picchi di produzione di calore problematici.

Tuttavia proprio le basse temperature di esercizio rendono più lento lo scambio di calore con l'aria esterna, che può facilmente avere temperature relativamente simili.

E' quindi necessario uno scambiatore di calore simile al radiatore di un'auto, che raffreddi l'acqua da immettere nello stack di celle.

La gestione del raffreddamento nelle celle è molto importante, viene quindi gestita tramite sistemi elettronici e, in certi casi, sistemi molto precisi di monitoraggio della temperatura in più punti della cella.

Ciò permette di aumentare la durata della cella e migliorarne il rendimento.

Fig. 8.18 Sistema di raffreddamento delle celle

8.2.7 Scanner laser

La grande maggioranza dei veicoli sperimentali in grado di muoversi in modo autonomo basano la guida, oltre che su normali immagini riprese da telecamere, su scanner laser TOF (Time of Flight).

Questi dispositivi sono composti da un laser che viene riflesso da uno specchio rotante, un sensore misura il tempo che il laser impiega a tornare verso il sensore dopo aver colpito un oggetto, calcolando quindi la distanza tra il sensore

e il primo oggetto incontrato in una determinata direzione, così facendo il sistema riesce a creare una mappa bidimensionale di ciò che lo circonda.

Questi sistemi sono già molto usati in applicazioni industriali legate alla sicurezza, tipicamente per bloccare il funzionamento di macchinari in caso un addetto sia in una zona pericolosa per la sua sicurezza.

Le dimensioni, il peso, il costo e l'affidabilità non sono particolarmente problematici.

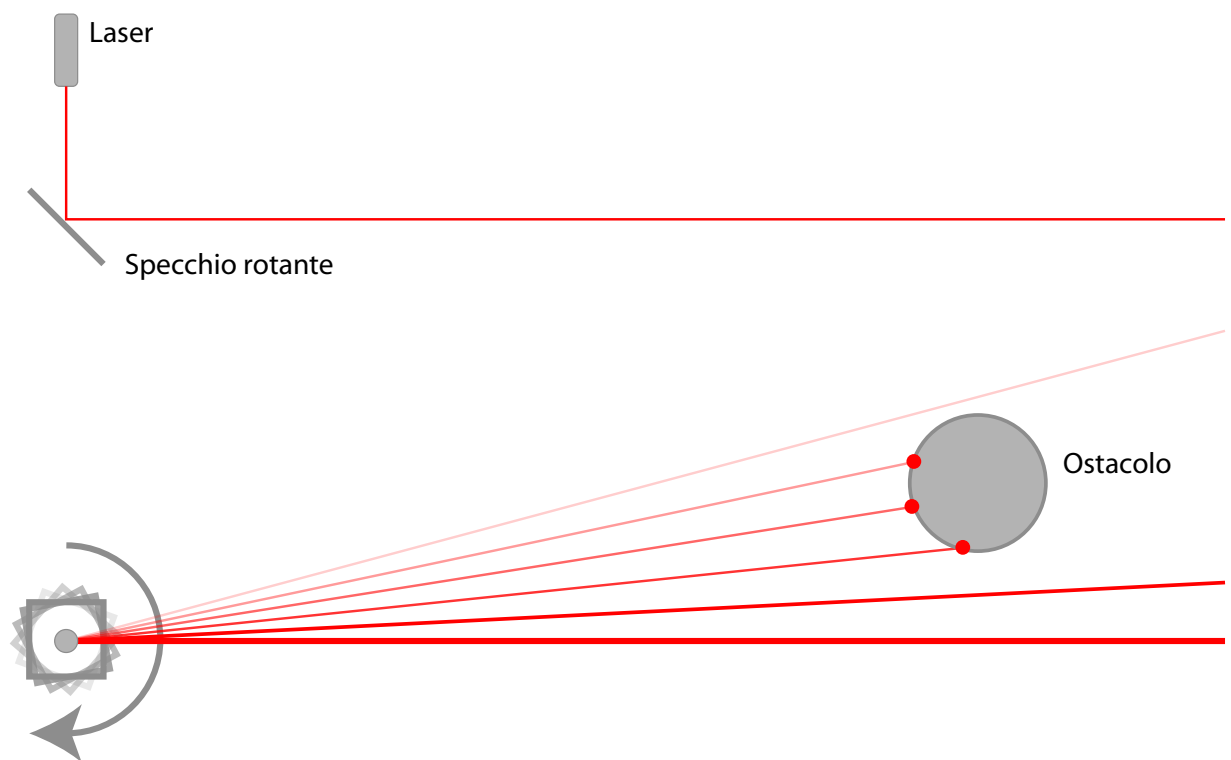


Fig. 8.19 Schema di funzionamento di uno scanner laser



8.2.8 Sedili

Il progetto ci ha portato a prevedere lo svolgimento di attività diverse, attività che fanno riferimento a configurazioni diverse che vedremo più approfonditamente in seguito.

Le sedute, oltre ad essere “trasformabili” grazie alla mobilità delle parti che le compongono, diventano anche un elemento fondamentale per muoversi comodamente all’interno del modulo, considerato anche il fatto che, come in una normale auto, l’altezza del tettuccio non consente di alzarsi in piedi e i movimenti risultano spesso

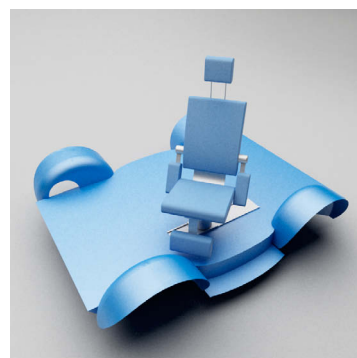
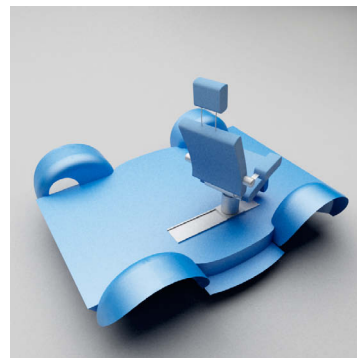
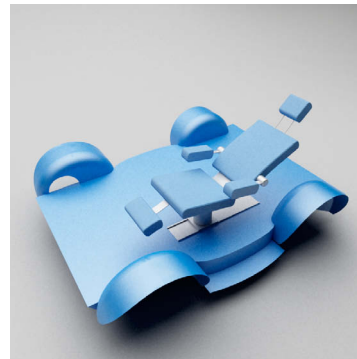
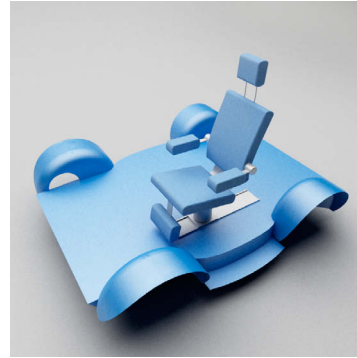
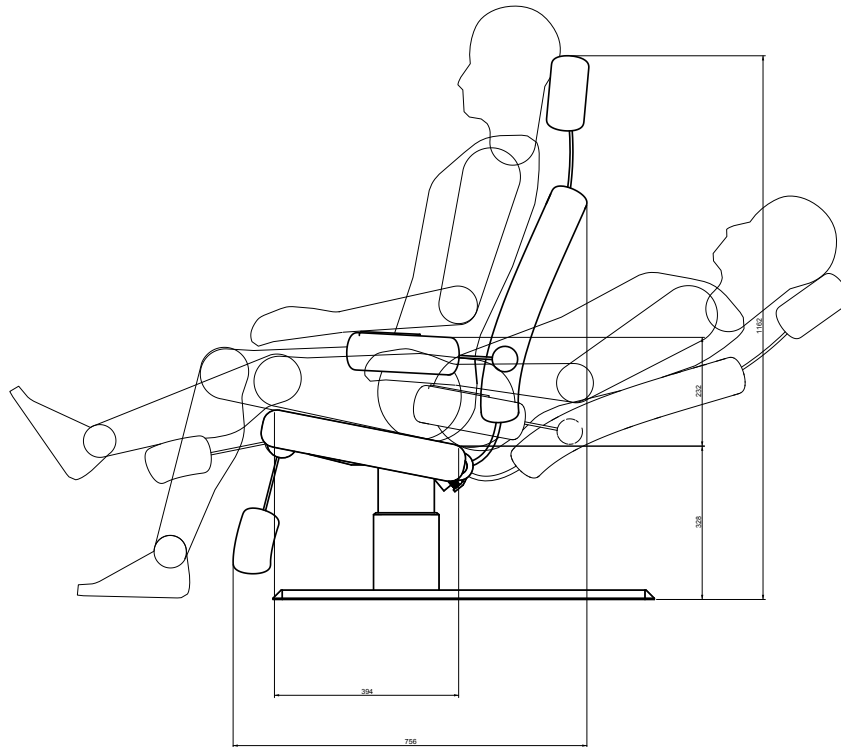


Fig. 8.20-8.24 Elementi delle sedute e alcune possibili configurazioni.



difficili

Abbiamo quindi pensato a delle poltroncine ispirate in parte ai sedili di un'auto, in parte alle poltrone usate negli aerei per le medio/lunghe percorrenze, un po' alle sedie usate negli uffici, i cui movimenti sono automatizzati e eseguiti dall'utente attraverso pulsantiere sui braccioli.

Le sedute ipotizzate sono composte da due binari particolarmente lunghi assemblati al pianale che consentono alle sedute di muoversi sull'as-

se longitudinale del veicolo, permettendo alle sedute di spostarsi dalla zona anteriore a quella posteriore.

Il sostegno principale della seduta è telescopico per la regolazione dell'altezza e consente al sedile di ruotare.

Anche lo schienale, i braccioli e il poggiatesta hanno inclinazioni regolabili in modo tale da poter adattare il sedile alle necessità dell'attività svolta.

Fig. 8.25 Schema ergonomico della seduta.

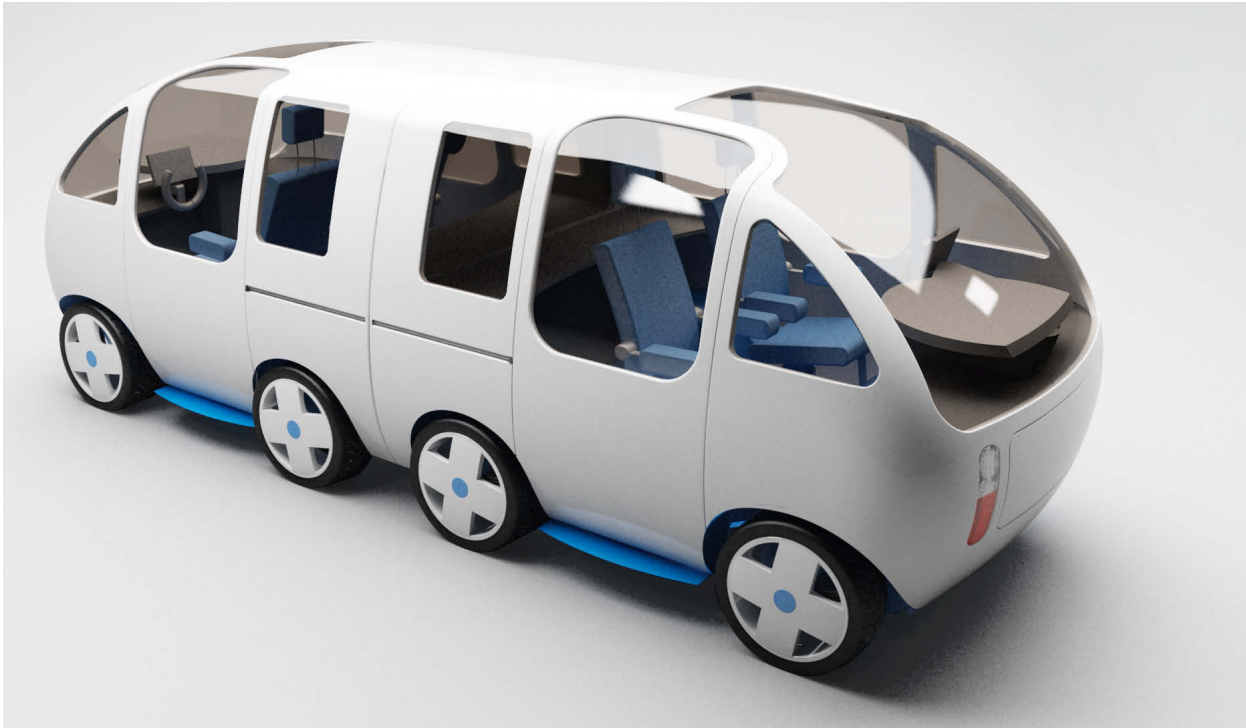


Fig. 8.26 (In alto) Due moduli assemblati.

Fig. 8.27 (In basso) Due moduli separati.



Fig. 8.28 (In alto) Due moduli assemblati, le dimensioni risultanti sono molto simili a quelle di un SUV.

Fig. 8.29 (In basso) Apertura della portiera e rotazione del sedile.

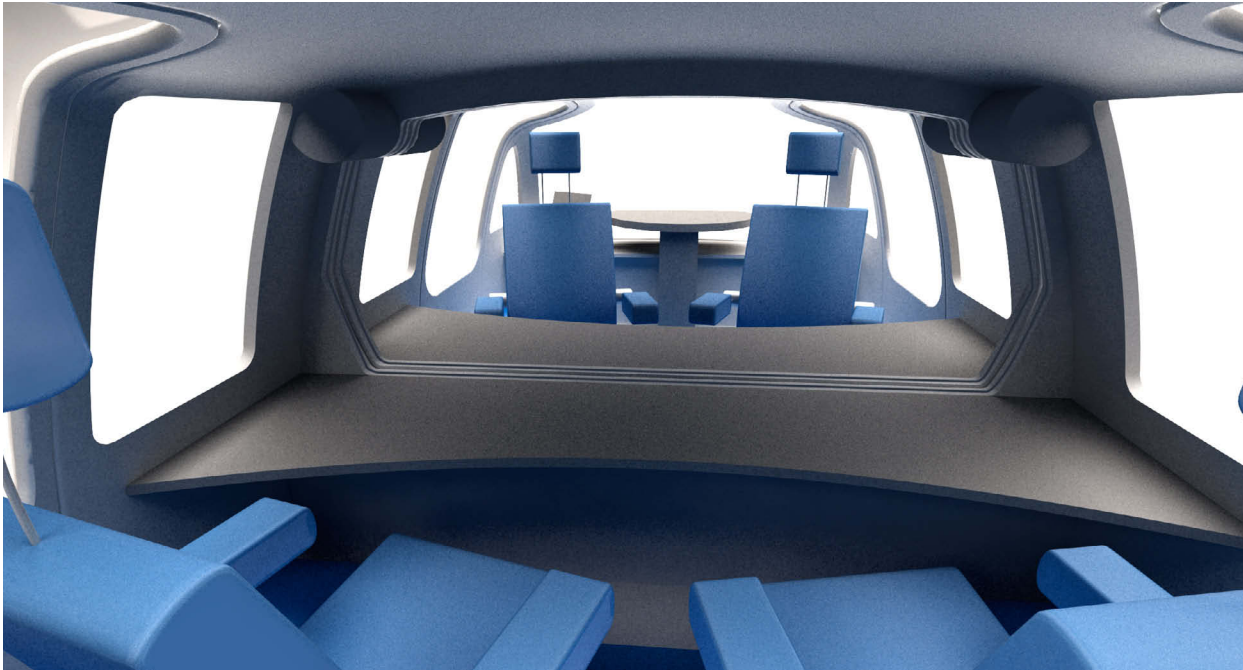


Fig. 8.30 (In alto) Interno di due moduli assemblati.

Fig. 8.31 (In basso) Comandi del modulo.

8.3 Uso

L'intero sistema che abbiamo ipotizzato in questo lavoro è pensato per dare una risposta efficace alle esigenze di trasporto personale in modo efficace, comodo ed ecosostenibile.

Ora che sappiamo com'è fatto il modulo base del sistema vediamo come questo può venire incontro a tali esigenze, in rapporto anche a come le stesse vengono soddisfatte oggi dal sistema di trasporti attuale (non solo stradale e non solo attraverso l'auto) con alcuni casi più o meno astratti che di seguito riportiamo.

8.3.1 Accesso

Un mezzo in grado di muoversi autonomamente, permettendo di guidare solo per brevi tratte, potrebbe rendere questo mezzo sfruttabile anche da persone anziane, che magari ora non si sentono in grado di guidare in strade di scorrimento nelle città o di compiere lunghi spostamenti al di fuori dei centri urbani.



Questa sarebbe anche un'opportunità per migliorare la loro indipendenza e allo stesso tempo aumentare la loro qualità della vita e renderli meno dipendenti dal sostegno delle loro famiglie.

Nel progettare il modulo abbiamo quindi ritenuto di una certa importanza la facilità di accesso allo stesso, non stiamo parlando di un mezzo per disabili, ma di un mezzo più comodo

Fig. 8.32 Sistema per facilitare l'accesso alle auto, il sedile viene fatto ruotare rivolgendolo verso il lato del veicolo.

rispetto a quelli diffusi oggi, che costringono a movimenti spesso gravosi per accedervi e per scendere., movimenti la cui problematicità può non essere sentita da persone normali, ma che per un anziano, o anche un giovane infortunato, possono diventare problematici.

Il posizionamento del sistema di propulsione al di sotto del pianale gioca a nostro sfavore, perchè di fatto ci costringe ad alzare il piano su cui poggiano i sedili.

Adottare un posizionamento diverso del sistema di propulsione è certamente possibile, ma andrebbe a danneggiare fortemente le caratteristiche di abitabilità, di bilanciamento del modulo e di accesso per la manutenzione delle bombole, che di norma vengono revisionate regolarmente.

L'altezza da terra del piano è di circa 32 cm, abbiamo quindi introdotto un gradino a 17 cm di altezza con una profondità di 15 cm, che non sporge dal profilo esterno dell'auto e che quindi non diventa un ostacolo in fase di marcia o manovra.

Così facendo salire a bordo non dovrebbe essere un problema anche per un anziano che sia in grado di salire e scendere le scale.

Le portiere sono progettate per facilitare l'accesso liberando, nell'aprirsi, anche un porzione del tettuccio del veicolo, in modo tale che l'utente possa salire sui gradini con facilità, chinandosi

per entrare nell'apertura solo in un secondo momento.

L'ultimo elemento di facilitazione dell'accesso riguarda invece i sedili ed è già stato proposto per l'introduzione su auto di serie per esempio da Renault, mentre è già usato da alcuni disabili facendo installare appositi sistemi su auto di serie; nel nostro caso però diventa di facile introduzione, perchè i sedili sono completamente regolabili elettricamente per consentire la mobilità all'interno del modulo.

Nel momento in cui l'utente apre la portiera, se il sedile è vuoto esso si posiziona autonomamente in modo tale da facilitare l'accesso, rivolgendosi verso la portiera e abbassando il bracciolo sul lato esterno.

Per scendere è invece presente un apposito controller che muove il sedile sino alla posizione ideale per la discesa.

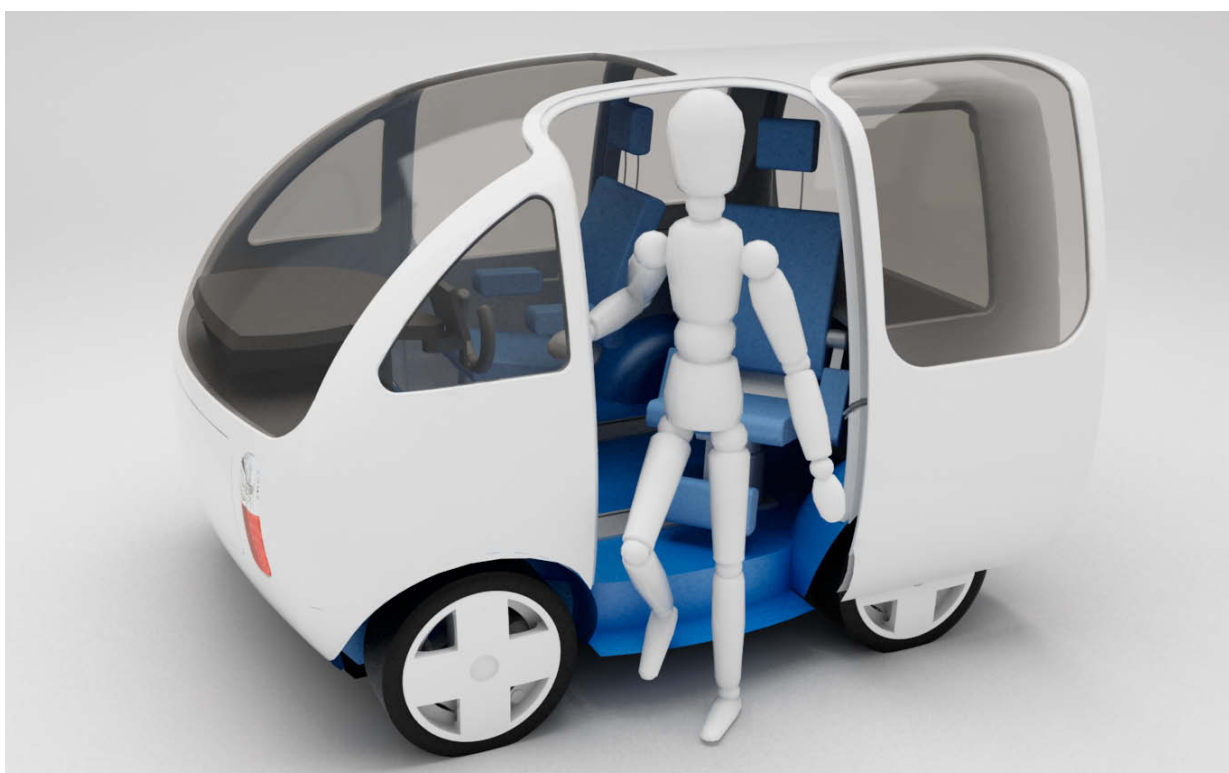
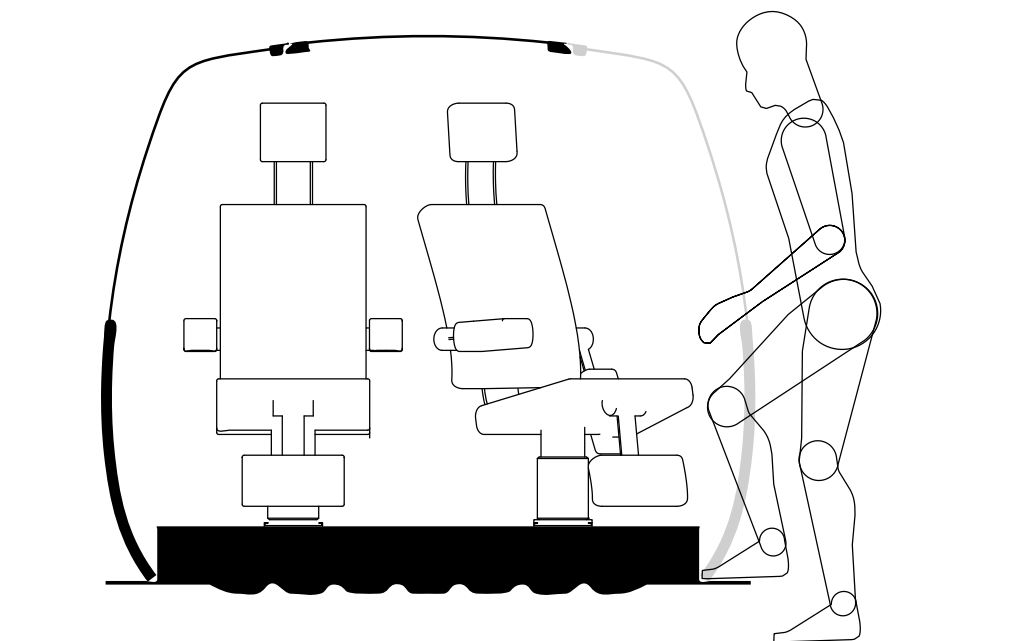
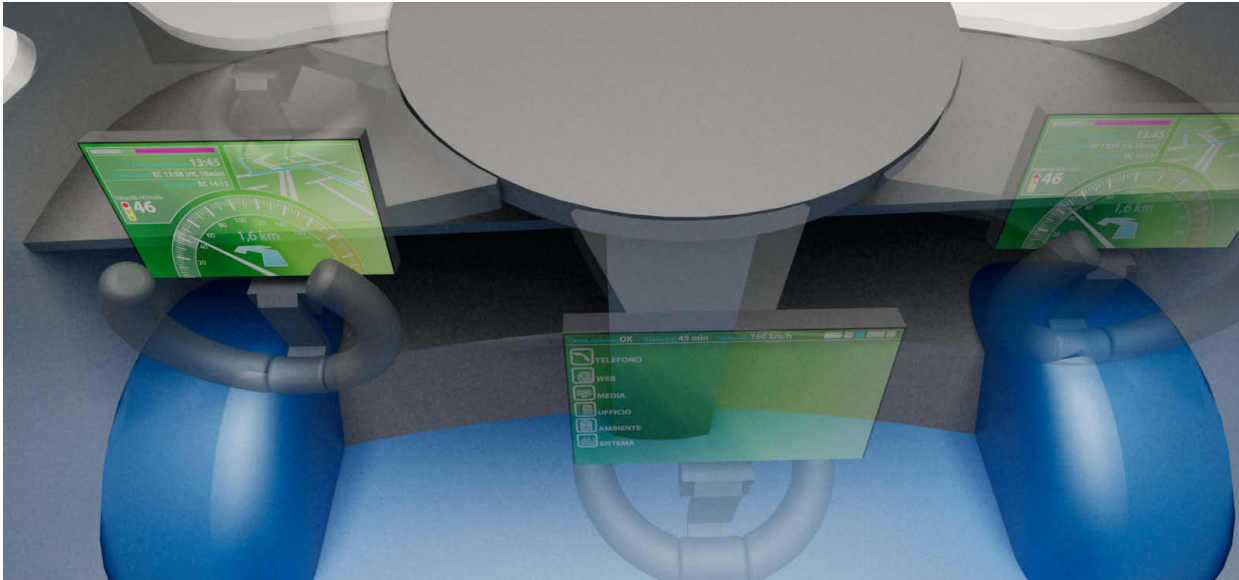
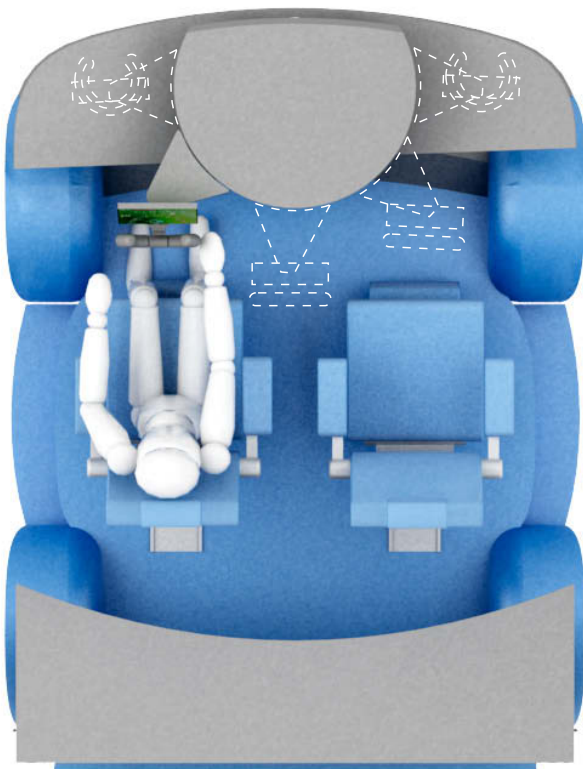


Fig. 8.33 (In alto) Rapporti dimensionali tra una persona e l'apertura per l'accesso al veicolo.

Fig. 8.34 (In basso) Discesa dal modulo.



8.3.2 Guida



Il modulo è dotato di un sistema di controllo “by wire”, ovvero i comandi non vengono trasmessi meccanicamente, ma elettronicamente.

Questo approccio può diventare conveniente vista la sempre maggiore presenza di sistemi di controllo elettronici nelle auto, come il servosterzo o il servofreno con abs, o come il cosiddetto esp, che interviene sulla trazione delle ruote per mantenere la stabilità del veicolo.

Il vantaggio principale è dato dal mancato ingombro dell'apparato di guida, costituito da volante, pedaliera e controlli aggiuntivi, ingombro che sarebbe stato particolarmente

Fig. 8.35 e 8.36 Posizionamenti degli elementi di guida del veicolo.

gravoso nel nostro caso, in cui si prevede il non utilizzo di questo apparato per lunghi periodi di tempo.

Il sistema da noi progettato è composto da una semplice pedaliera costituita da acceleratore e freno; mentre il volante è posizionato su un braccio in grado di ruotare spostandosi all'interno dell'abitacolo, ciò consente di cambiare il posto di guida, che può essere a sinistra o a destra, e di eliminare l'ingombro dell'apparato durante la guida automatica.

Consente inoltre di usare il display della strumentazione per visionare film o altro con una buona visibilità da parte di entrambi le persone a bordo.

Infatti il pannello dietro al volante è costituito da un display lcd touch screen che durante la guida mostra gli indicatori di velocità, e il livello del carburante e indica eventuali anomalie.

Quando non c'è la necessità di guidare, invece, il volante si ribalta al di sotto del display, che può essere usato come un piccolo pc portatile per navigare su internet, visionare orari dei treni, leggere il giornale o guardare un film.

8.3.3 Interfaccia

Al di là degli aspetti ergonomici intesi come fisiologici e antropometrici nei rapporti formali tra utente e modulo un progetto come questo comporta necessariamente uno stravolgimento anche del modo in cui utente e modulo comunicano, comunicazione che avviene, a differenza di una normale auto, in modo significativo in entrambi i sensi e in modi molto diversi.

Per esempio se in una normale auto possiamo abbassare i finestrini premendo un tasto questa non si può definire comunicazione in senso stretto, è piuttosto una forma di controllo, questo perchè non c'è un feedback se non attraverso l'osservazione visiva.

Una forma di comunicazione è invece quando l'auto ci fornisce informazioni sul mondo esterno, per esempio quando avverte il guidatore che la temperatura esterna è molto bassa e potrebbe compromettere quindi l'aderenza.

Il modulo che abbiamo ipotizzato deve essere invece in grado di comunicare in modo decisamente più evoluto e diversificato se confrontato con una spia dedicata alla temperatura esterna.

Per esempio l'utente potrebbe apprezzare indicazioni sull'orario di arrivo, necessita

di sapere quando sarà necessaria la guida manuale, il modulo potrebbe aver bisogno di fermarsi per fare rifornimento durante un viaggio automatico e l'utente dovrà essere avvertito, anche prima di cominciare il viaggio magari.

In un'ottica di mobilità intermodale e car-sharing sarebbe molto utile che il modulo informasse l'utente sulle coincidenze o su eventuali ritardi di un treno o di un volo, avendo la possibilità di trovare soluzioni alternative, anche geograficamente, in caso di imprevisto durante il viaggio su strada.

Per fare ciò occorre sviluppare un'interfaccia efficace e intuitiva che abbiamo evocato nelle immagini di queste pagine. Un'interfaccia così complessa è possibile solo grazie all'uso di uno strumento estremamente versatile, che nel nostro caso è composto da un monitor lcd touchscreen, monitor che fornirà anche indicazioni più tipicamente automobilistiche durante la guida manuale.



Fig. 8.37-8.39 Ipotesi di aspetto del display.

8.3.4 Rotazione sedile

Uno degli aspetti più particolari del modulo progettato è la possibilità di movimento dei sedili, in particolare per il fatto che i sedili possono ruotare sino a invertire completamente il loro orientamento, affacciandosi all'indietro verso il piano di lavoro e, eventualmente, verso un secondo modulo assemblato al primo.

Questo aspetto cambia completamente la fruibilità dello spazio dal punto di vista pratico del poter compiere azioni in modo più comodo e dal punto di vista prossemico di poter adattare lo spazio alle esigenze sociali del gruppo ospitato dal modulo.

Ci sono però ovviamente dei problemi di spazio, sedendosi a bordo di una normale auto sembra impossibile poter invertire completamente l'orientamento dei sedili, in particolare a causa della ridotta larghezza delle auto.

La lunghezza di uno scompartimento di una carrozza ferroviaria è intorno ai 180cm, quindi, considerato anche lo spessore dello schienale, sono concessi 90 cm per seduta e spazio per le gambe di una persona.

Considerando che le poltrone del modulo hanno dimensioni maggiori a quelle di un treno di

quel tipo e che ai 180 cm di larghezza del modulo vanno sottratti gli spessori della scocca autoportante, che ha funzioni strutturali, risulta evidente che non c'è spazio a sufficienza perchè nello stesso momento entrambe le poltrone possano essere orientate trasversalmente.

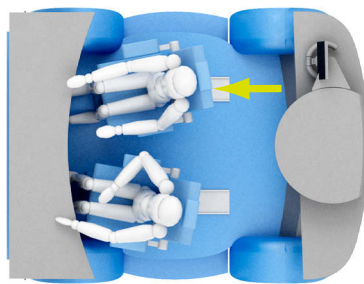
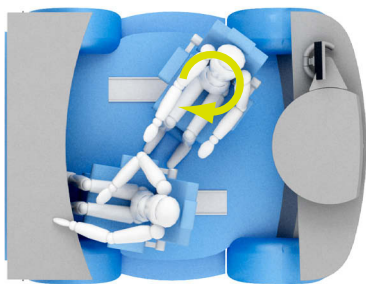
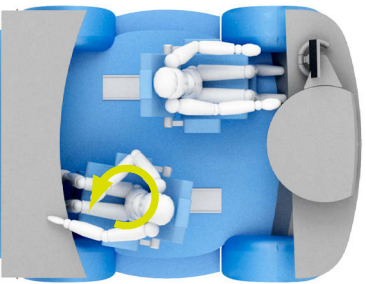
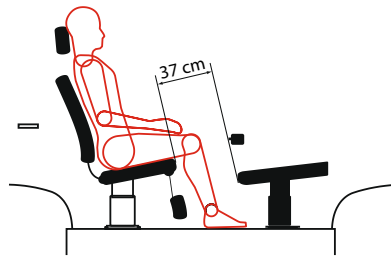
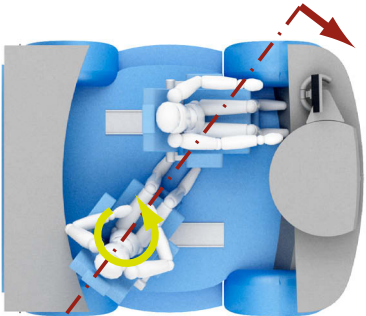
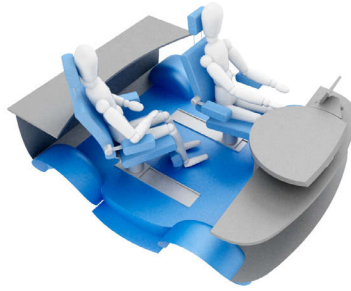
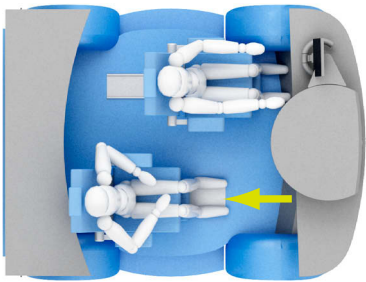
Considerando la loro disposizione all'interno dell'auto anche uno solo dei due sedili comporterebbe la mancanza di spazio per le gambe dell'utente seduto sul sedile in rotazione, che sarebbe di soli 16 cm tra la fine della seduta in rotazione e il bracciolo di quella ferma, situazione che non sarebbe sicuramente coerente con il confort garantito da tutti gli altri aspetti della vettura.

Abbiamo quindi deciso di sfruttare la possibilità di forte avanzamento e arretramento dei sedili, facendoli ruotare sfalsati sull'asse longitudinale del modulo.

Così facendo lo spazio per le gambe non scende al di sotto dei 37 cm, valore che riteniamo assolutamente sufficiente e confortevole, considerando anche il fatto che è una situazione transitoria che dura pochi secondi.

La cosa è possibile grazie alla completa automazione dei movimenti dei sedili, infatti per ottenere questo risultato bisogna seguire una serie di "regole" che sarebbero spiacevoli e fastidiose per l'utente, mentre applicate direttamente dal sistema non rappresenteranno un problema.

Sequenza di rotazione del sedile.



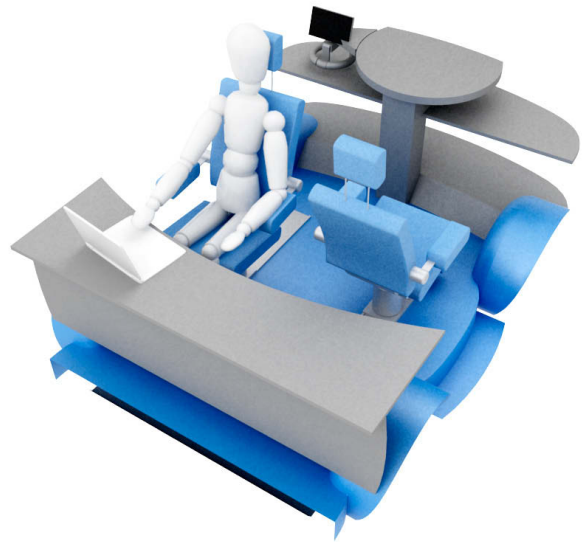
Nel momento in cui i due ospiti volessero invertire l'orientamento dei sedili il sistema provvederà ad arretrare il primo dei due sedili, poi a invertirne l'orientamento, invertire l'orientamento del secondo sedile e infine arretrare anche quest'ultimo.

Se uno dei due sedili fosse in posizione non avanzata questo sarà il primo a invertire orientamento.

Se entrambi i sedili fossero in posizione non avanzata (cosa per altro piuttosto improbabile, perchè presumibilmente si invertirà l'orientamento dei sedili dopo aver smesso di guidare, quindi con almeno un sedile in posizione avanzata), il sistema sposterà uno dei due sedili in avanti per consentire all'altro di invertire l'orientamento.

Questa operazione potrebbe presentare problematiche di sicurezza in quanto un comando di un utente comporterebbe il movimento del sedile dell'altro utente, sarà quindi necessaria una conferma da parte di quest'ultimo, mentre il movimento sarà interrotto se la conferma dovesse venire a mancare, ovvero uno dei due utenti dovesse rilasciare il tasto di comando durante il movimento dei sedili.

Saranno comunque necessari sistemi di sicurezza capaci di bloccare il movimento dei sedili per prevenire danni a cose o a persone, così come avviene, per esempio, per le porte degli ascensori.



8.3.5 Lavorare

Il modulo è dotato di uno spazio di lavoro confortevole e adatto a svolgere lavoro di ufficio durante il viaggio quando non è necessario guidare.

Lo spazio è costituito da un piano di lavoro profondo 55 cm, che diventano circa 125 in caso di due moduli accoppiati, cablato per la connessione a internet e al sistema e per la fornitura di corrente elettrica.

Il piano può essere utilizzato efficacemente anche per svolgere piccole riunioni o incontri.

Per periodi più brevi o lavori che richiedono meno spazio e l'uso di applicazioni più semplici, di cui è dotato il computer di bordo, è possibile

Fig. 8.40 Uso del piano di lavoro posteriore per lavorare.

usare i piani di appoggio anteriori senza dover invertire l'orientamento del sedile.

La possibilità di lavorare durante gli spostamenti può rappresentare un cambiamento radicale nella vita di molte persone, che per lavoro sono costrette a muoversi molto, quasi sempre in auto, e che durante gli spostamenti non possono né riposare né svolgere attività di ufficio che, anche se in piccola parte, coinvolgono praticamente tutte le professioni.

Categorie che potrebbero trarre grandi benefici da questa possibilità sono per esempio artigiani, rappresentanti, agenti, dirigenti ecc...

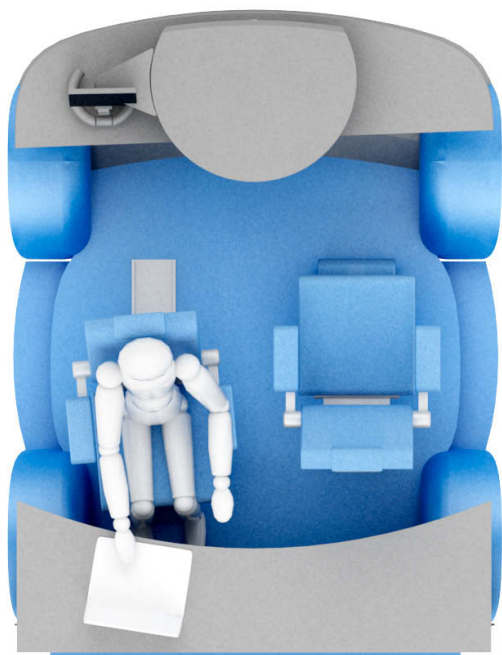
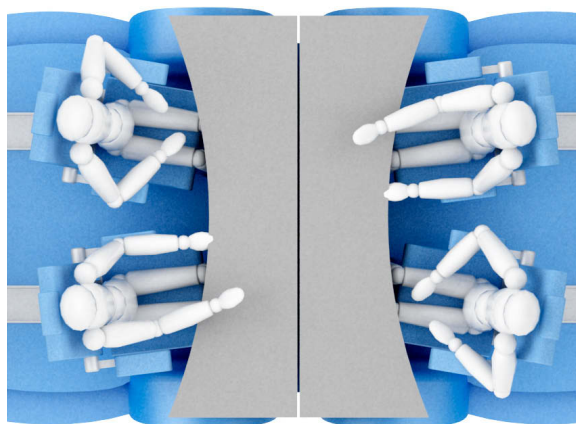
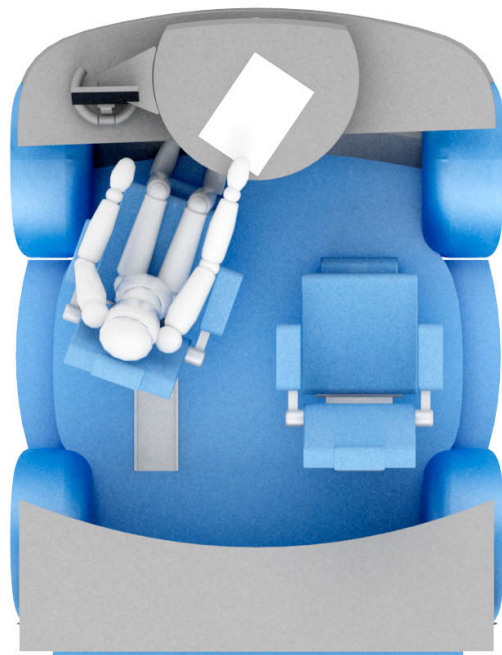


Fig. 8.41-43 Varie modalità di lavoro, per brevi periodi (In alto), per periodi più lunghi (In basso), piccole riunioni (A sinistra).

8.3.6 Svegliarsi

Sono oggi sempre più diffusi sistemi di entertainment per le autovetture.

Il fenomeno non stupisce, tuttavia la maggior parte delle auto ospitano un solo viaggiatore che, dovendo guidare, non ne può godere senza correre gravi rischi.

Nel nostro caso, in particolare per i viaggi molto lunghi, ci saranno lunghi periodi dove non occorre guidare, quindi anche la possibilità di svago merita maggiore interesse.

La strumentazione del modulo è costituita da

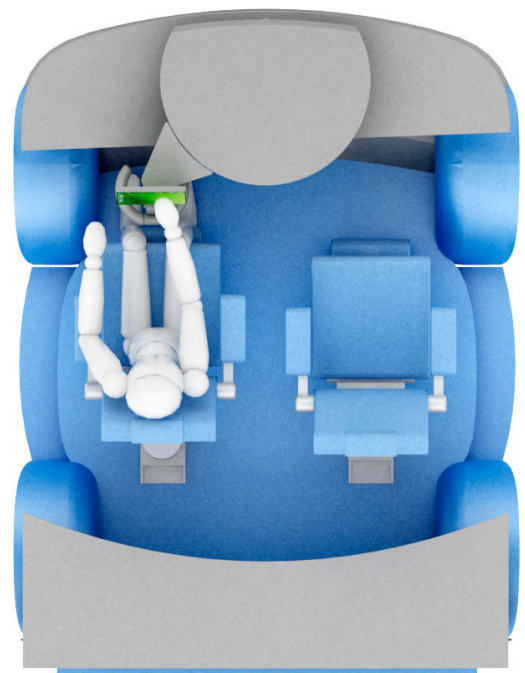
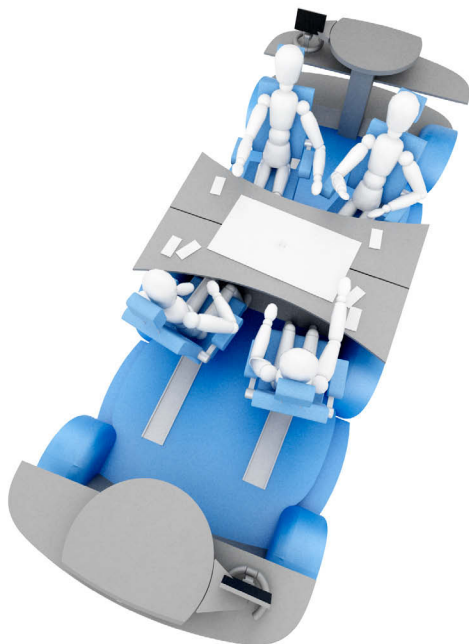
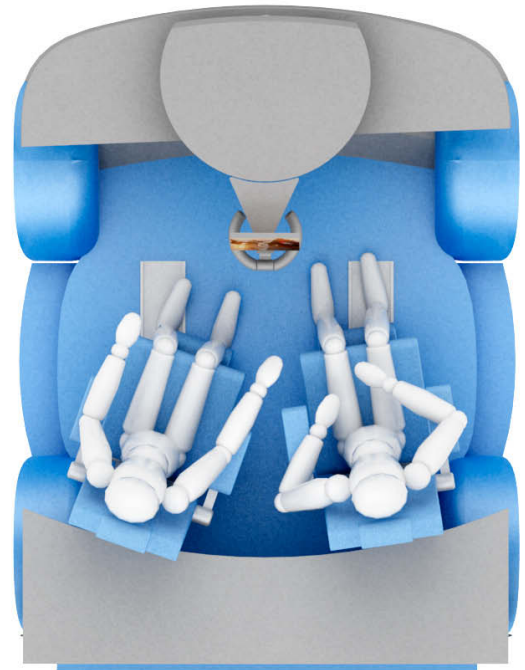
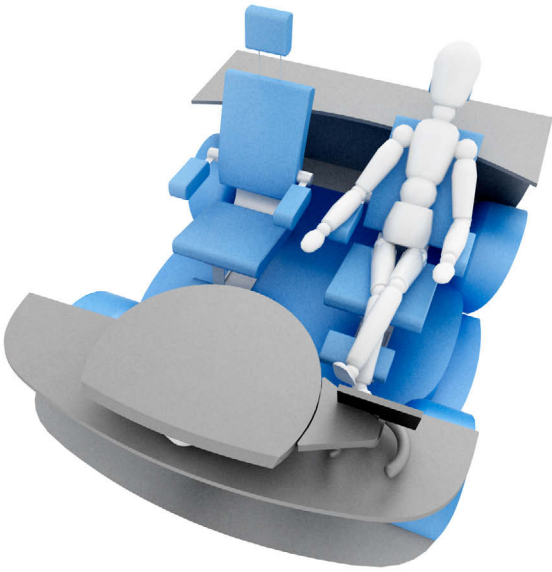


Fig. 8.44-46 Varie modalità di svago, visione di un film (In alto), navigazione in internet, chat, videogiochi (In basso), giochi di società (A sinistra).

8.3.7 Riposo



un monitor lcd che, nei momenti di guida automatica, può facilmente diventare un televisore ed essere disposto in modo da essere guardato da uno o due ospiti del modulo.

Altrimenti il piano di lavoro e la possibilità di disporre i sedili affacciati rendono possibili molti altri tipi di gioco o di svago come i giochi di carte, da tavolo e semplicemente sfruttando la compagnia di amici o parenti per dialogare in un ambiente confortevole al pari del tavolo di un bar.

Come quelle che troviamo negli aerei per i lunghi viaggi, i sedili del modulo sono concepiti anche per permettere al viaggiatore di riposarsi durante il viaggio.

Ogni modulo può ospitare entrambi i passeggeri in posizione reclinata e gambe quasi distese sfruttando gran parte della lunghezza del modulo stesso.

In questa posizione l'utente si può riposare e magari dormire per brevi periodi di tempo, certo dormire per una notte non si può considerare affatto confortevole, tuttavia per tutte quelle persone che si recano al lavoro in auto tutte le mattine, sicuramente dormire mezz'ora o un'ora in più durante il viaggio renderà la giornata meno pesante rispetto al dover guidare l'auto nel pesante traffico cittadino.

Fig. 8.47 Riposo a bordo del modulo.

8.3.8 Coprire le esigenze di trasporto di una famiglia

Sebbene all'interno della struttura sociale attuale la famiglia non ricopra un ruolo tanto fondamentale quanto quello che ha ricoperto in passato, i gruppi famigliari continuano a contenere la maggioranza della popolazione e ne costituiscono quindi una parte estremamente importante.

Se una persona vive da sola e vuole potersi muovere in auto le soluzioni sono due, o ha un'auto tutta per sé e la usa muovendosi prevalentemente da solo o usa un servizio di car-sharing e usa un'auto condivisa con altri muovendosi sempre

prevalentemente da solo.

Progettualmente l'unico modo per aiutare questa categoria di persone a muoversi in auto in modo più efficiente ed ecologico è fare auto piccole, il che è già stato fatto.

Invece **per quanto riguarda le famiglie, o comunque gruppi di più di due persone che convivono abitazione e uso di cose come arredamento e auto, il discorso è diverso, infatti esistono due esigenze che devono essere coperte:**

- **trasportare la famiglia su un unico mezzo.**
- **permettere a più membri della famiglia di muoversi separatamente.**

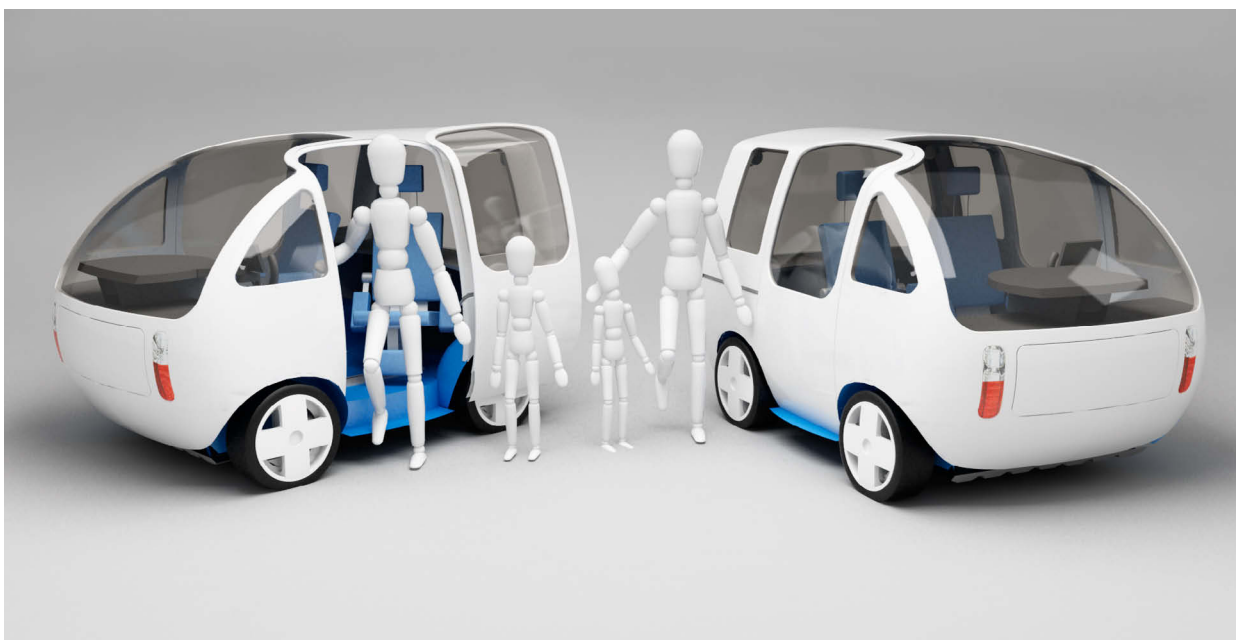


Fig. 8.48 Due piccoli moduli da due posti possono risolvere tutte le esigenze di trasporto di un'intera famiglia.

Di solito per coprire tali esigenze si usano almeno due auto capaci, ciascuna, di trasportare l'intera famiglia.

Il nostro progetto prevede invece che con due moduli uguali si possano coprire le esigenze di una famiglia di tre o quattro persone, avendo due veicoli in grado di muoversi indipendentemente, ma anche di viaggiare uniti in un unico veicolo.

Così facendo si ottengono tre importanti risultati:

- diminuzione dell'uso di materie prime per la produzione dei veicoli
- diminuzione dell'ingombro dei veicoli durante la loro vita utile
- diminuzione dei consumi dei veicoli

Bisogna dire che l'efficacia di questa soluzione dipende da alcuni fattori, per esempio dal numero dei componenti del gruppo e dalle loro abitudini, ma anche dal numero di persone in grado di guidare.

Per esempio un gruppo di tre persone con due patentati attraverso l'uso di due moduli accorpabili risparmia parecchio su ingombri e consumi delle auto e non ha nessuna limitazione nei movimenti.

Se nello stesso gruppo i patentati fossero tre le limitazioni ci sarebbero, ma ci sarebbero anche ipotizzando l'uso di due auto tradizionali.

In gruppi di quattro persone con due patentati, situazione abbastanza tipica, il risparmio è notevole come per il gruppo da tre persone, tuttavia si può delineare qualche limitazione se c'è la necessità da parte di uno dei due patentati di trasportare entrambi i non patentati.

La situazione sarebbe facilmente risolvibile con l'introduzione di un modulo a tre posti, compatibile con quello a due posti da noi progettato.

Abbiamo infatti scelto di non introdurre un terzo posto sul modulo progettato, questo perché, nell'ottica di una realtà differente da quella attuale, ci saranno più prodotti sul mercato e non possiamo pensare di coprire l'intero mercato dei trasporti con un singolo prodotto.

Quello che vi stiamo presentando è un punto di partenza che riteniamo essere il miglior modo per rendere appetibile la nuova modalità di trasporto e coprire i bisogni di una importante fascia di utenza, ma ci sono senz'altro molte esigenze che saranno coperte da prodotti strutturati diversamente.

In particolare il progetto non risulta conveniente per gruppi di persone molto numerosi con poche persone in grado di guidare.

8.3.9 Sicurezza

Svolgere tutte queste attività a bordo di un'auto creerebbe problemi di sicurezza enormi e forse difficilmente risolvibili.

A bordo delle auto attualmente in circolazione siamo ormai abituati ad avere sistemi di airbag e cinture di sicurezza pensati per lavorare insieme e che impongono una posizione del viaggiatore al momento dell'urto estremamente definita.

Eppure autobus e pullman non hanno airbag né cinture di sicurezza e come loro anche i treni sono privi di qualsiasi sistema di sicurezza

per i passeggeri in caso di scontro e nonostante questo viaggiare in treno è comunque più sicuro che viaggiare in auto.

Questo ovviamente accade perché ci sono, in linea di massima, due strategie per aumentare la sicurezza nel viaggiare in auto: il primo consiste nel rendere le auto più "protettive", il secondo consiste nell'evitare che le auto abbiano incidenti e, a ben vedere, è con tutta probabilità la strategia preferibile.

Il problema è che è anche una strategia difficilmente perseguibile dal momento che la guida del mezzo è in mano ad un essere umano che, l'esperienza ci insegna, è estremamente poco affidabile.

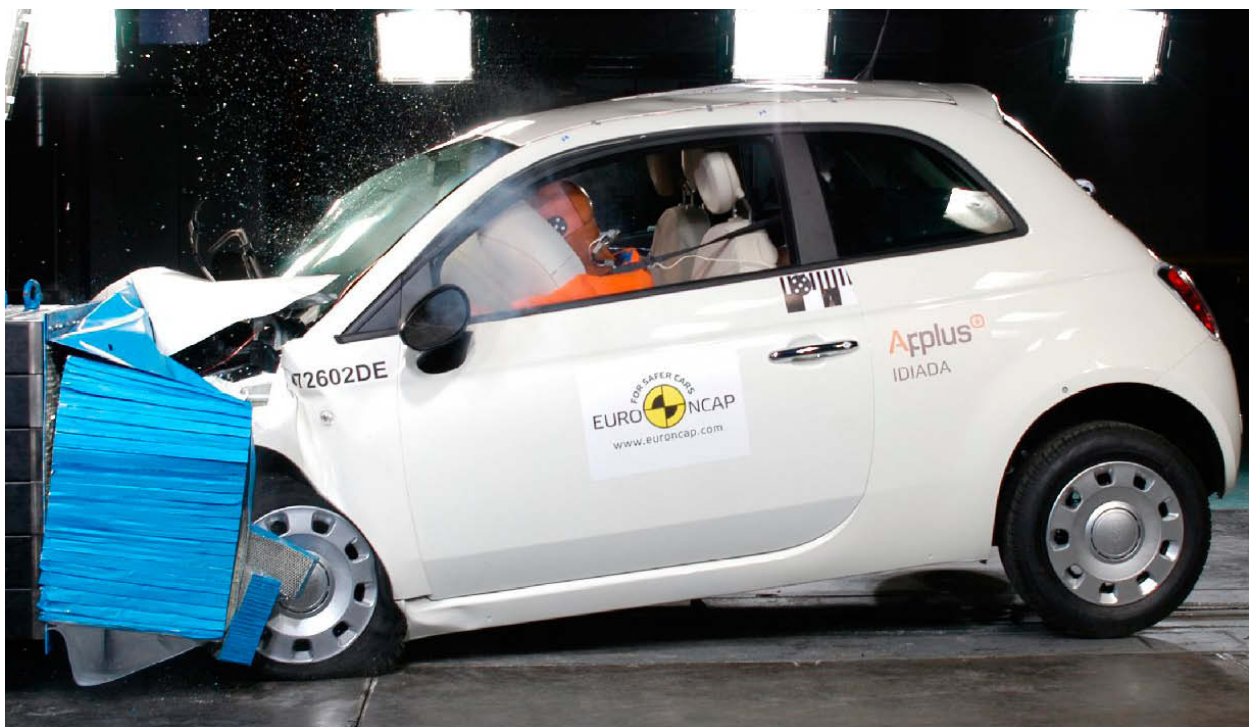


Fig. 8.49 Il crash test di una Fiat 500.

La quasi totalità degli incidenti stradali sono causati, o concausati, da errori del conducente che, tipicamente, viaggia a velocità elevata, non rispetta le distanze di sicurezza necessarie ecc... gli incidenti che avvengono a causa di cedimenti strutturali del mezzo o a causa di ostacoli improvvisi e inevitabili sono una piccola minoranza.¹

Quindi in treno possiamo permetterci di non usare cinture di sicurezza perché le possibilità di avere un incidente in treno sono ridottissime.

Anche in pullman non si usano le cinture di sicurezza, eppure la sicurezza di non avere incidenti, rispetto ad un viaggio in auto, è affidata esclusivamente alla maggior professionalità e attenzione che l'autista, si spera, impieghi durante la guida sapendo di essere responsabile della vita di molte persone, ma quando un pullman subisce un incidente spesso i risultati sono molto gravi sia per le persone ospitate sia per gli altri veicoli eventualmente coinvolti.

Quindi se sicuramente lo svolgimento di attività e la possibilità di potersi muovere durante il viaggio a bordo del modulo rende il modulo stesso meno sicuro in caso di incidente, tale rischio può essere ampiamente recuperato in condizioni di guida automatica.

In ogni caso è possibile prevedere l'introduzione di sistemi di sicurezza passiva anche all'interno

del modulo progettato, la differenza principale è che la posizione reciproca del sedile, e quindi dell'utente, rispetto al veicolo non è fissa.

Una strategia per risolvere il problema potrebbe essere quella di installare sistemi solidali con il sedile, invece che con il veicolo, in modo tale da consentire l'installazione di cinture di sicurezza e di air bag, che però dovranno essere molto grandi per fornire protezione intorno all'intero sedile, inoltre le configurazioni del sedile possono essere molte e sarebbe difficile studiare un sistema di air bag solidale al sedile senza sapere in che posizione sarà al momento dell'urto, certo anche quelli delle attuali auto sono regolabili, tuttavia i



Fig. 8.50 Una pubblicità che cerca di sensibilizzare sulla pericolosità delle distrazioni durante la guida.

range di regolazione sono molto inferiori.

Un'altra strategia potrebbe essere invece quella di installare sistemi di sicurezza attivati dal sistema in base alla posizione dei sedili, che il sistema "conosce".

In ogni caso non abbiamo ritenuto di essere in grado di dare risposte a queste problematiche in questa sede e riteniamo che la strategia migliore per l'aumento della sicurezza sulle strade sia evitare che accadano gli incidenti, creando sistemi automatici di guida affidabili e in grado di dialogare con altri mezzi e infrastrutture per prevedere ciò che succederà e per controllarsi a vicenda.

8.3.10 Car-sharing

Un fenomeno molto interessante riguardo al settore trasporti è quello del car-sharing, che in alcuni paesi è una realtà funzionante che ha trovato una sua utenza in alcune città, anche se rimane ancora un fenomeno di nicchia.

Il concetto base è questo: le persone non possiedono auto, ma pagano un servizio fornito da una società che possiede molte auto.

Quando un utente del servizio deve compiere

uno spostamento il servizio gli indica la posizione del veicolo più vicino a lui.

I vantaggi di questo approccio sono chiari, serve un numero molto limitato di auto per soddisfare le necessità di spostamento delle persone, inoltre si può usare un veicolo per spostarsi senza avere la necessità di ricominciare il viaggio da dove si è lasciato il veicolo.

Il problema principale di questo approccio è invece che il veicolo più vicino potrebbe essere anche molto lontano, questo succede in particolare modo se il servizio è poco diffuso e quindi sono in circolazione un numero limitato di veicoli, ma anche inevitabilmente in regioni con densità abitativa limitata.

Un altro problema è che gli spostamenti all'interno delle città non sono casuali, ma ci sono dei flussi e degli orari precisi che corrispondono a spostamenti di massa, per esempio da zone prevalentemente residenziali ad altre industriali o commerciali, tipicamente dall'interland residenziale alla zona centrale di uffici e servizi.

Ipotizzando l'uso di questo servizio in una realtà modulare e all'interno di un sistema basato sulla guida automatica il car-sharing troverebbe nuove e importanti opportunità per migliorare il proprio servizio, permettendo ai moduli di muoversi da soli per venire in contro alle esigenze dei propri clienti.

8.6 Tempistiche di introduzione del sistema

Abbiamo progettato prima di tutto un sistema e ciò implica nuove regole, nuove infrastrutture e un nuovo modo di vivere il viaggio da parte dell'utenza.

Un cambiamento così radicale non può che avvenire per gradi e ci sembra sensato pensare già in questa sede come questi passaggi possano avvenire e in che modo possano risultare da subito accettabili per il pubblico.

Ecco le fasi che ipotizziamo potrebbero con-

sentire il passaggio dal sistema attuale a quello progettato.

Sviluppo di standard e norme (in parte già in atto)

Occorre certamente sviluppare regole standard di "comportamento" dei veicoli durante la guida automatica.

Normare in modo uniforme le caratteristiche delle infrastrutture e della segnaletica che il computer deve individuare e comprendere.

Sviluppare i protocolli di comunicazione tra veicoli e assegnare le frequenze.

L'Europa in tal senso si è mostrata lungimirante e ha già assegnato le frequenze per la comunicazione tra veicoli, ma c'è indubbia-

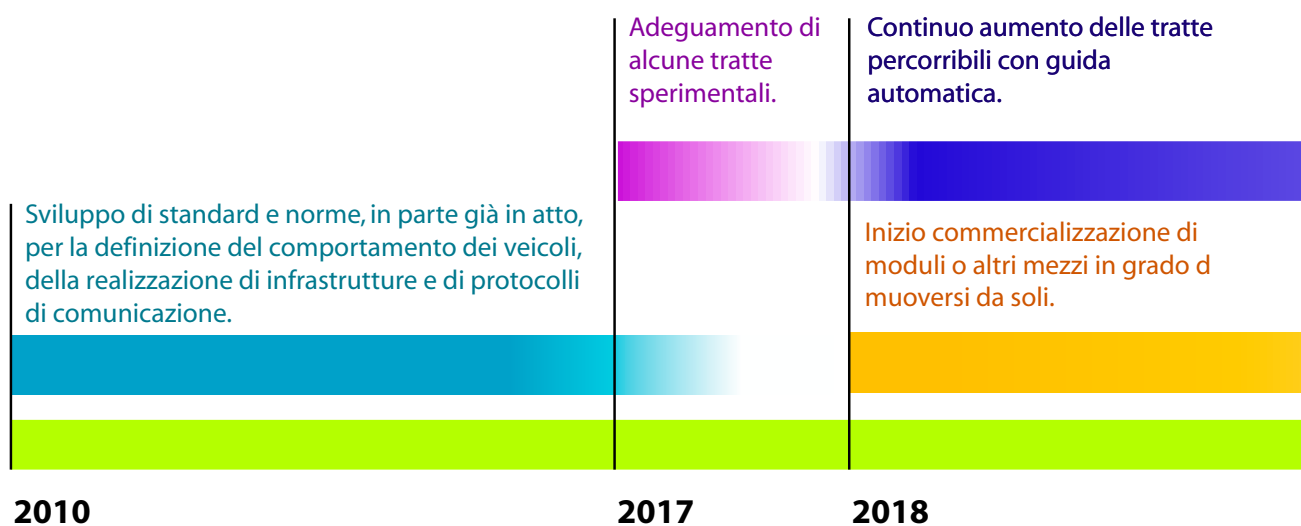


Fig. 8.51 Schema rappresentativo del processo di introduzione del sistema nel contesto attuale.

mente ancora molto da fare.

Adeguamento agli standard di alcune tratte sperimentali adatte (2017)

Una volta decisi gli standard per le infrastrutture vanno adibite alcune tratte alla prima fase sperimentale, predisponendole per la guida automatica.

Inizio distribuzione dei moduli (2018)

Al momento del lancio sul mercato i potenziali primi acquirenti avranno come stimolo quindi sin da subito la possibilità di non guidare nelle tratte sperimentali, il prodotto sarà quindi molto appetibile tra coloro che le frequentano regolarmente. La data è stabilita secondo le dichiarazioni dell'amministratore delegato di General Motors,

che è probabilmente la casa più attiva in questo tipo di innovazione.

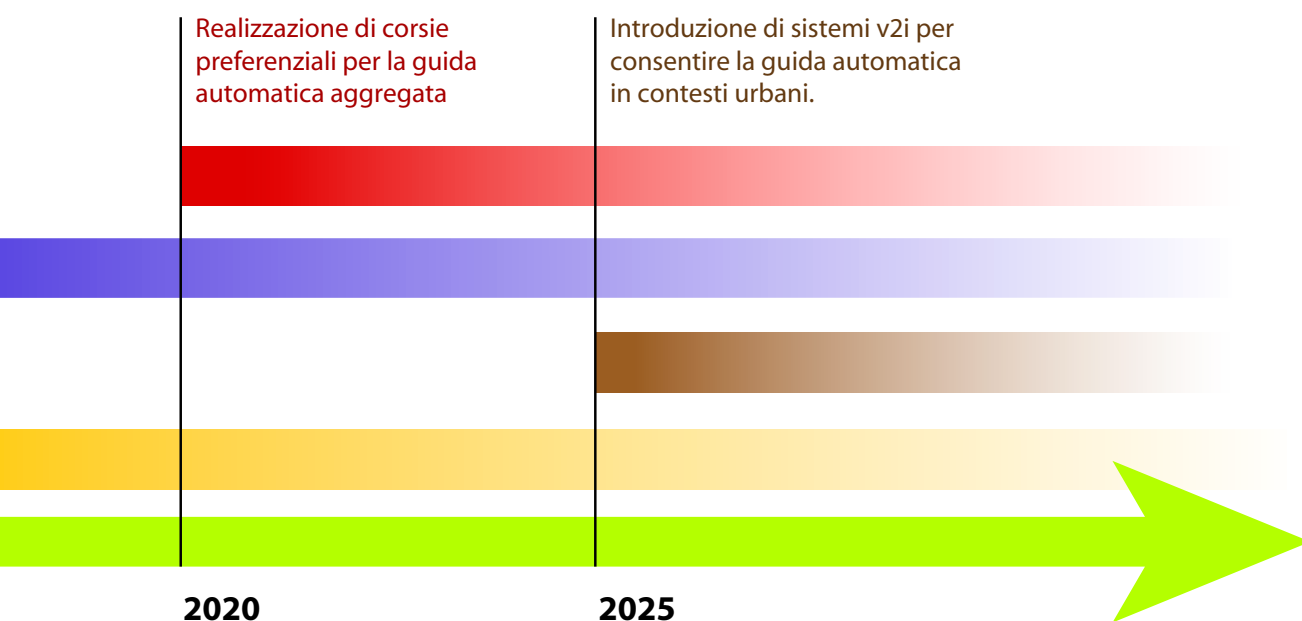
Aumento delle tratte percorribili con guida automatica (2018-2020)

Creazione di corsie preferenziali per la guida automatica aggregata (2020)

Per finalmente arrivare alla creazione di corsie riservate alla guida automatica aggregata, che consentiranno di percorrere le tratte adatte non solo senza guidare, ma anche con maggiore sicurezza e in tempi rapidi e non dipendenti dai flussi di punta.

Introduzione di sistemi di comunicazione tra veicolo e infrastrutture.

Consentirebbero di estendere la guida automa-



tica alle principali arterie cittadine, che presentano incroci, immissioni ecc... se gli incroci comunicassero con i veicoli guidati automaticamente questi potrebbero viaggiare in sicurezza e adeguando la propria velocità lungo il percorso alle esigenze di smaltimento del traffico, di confort e di risparmio energetico limitando al massimo accelerazioni e frenate.

Adattamento alla guida automatica aggregata delle principali arterie stradali, anche cittadine.

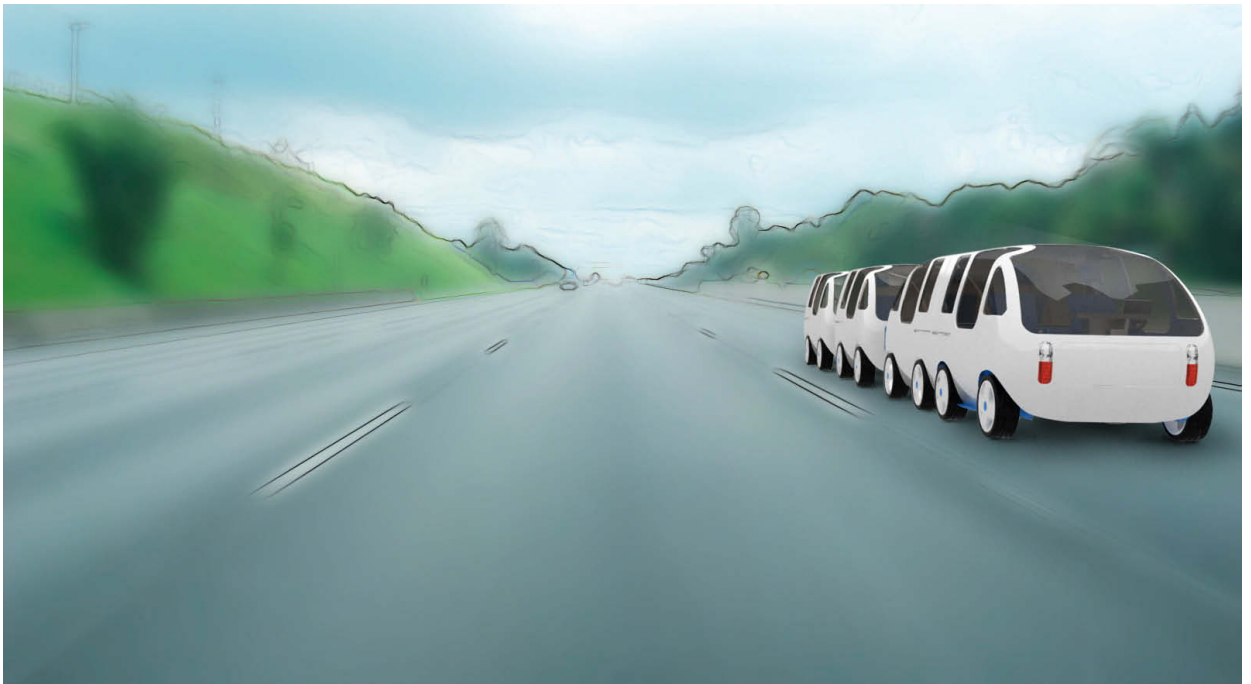
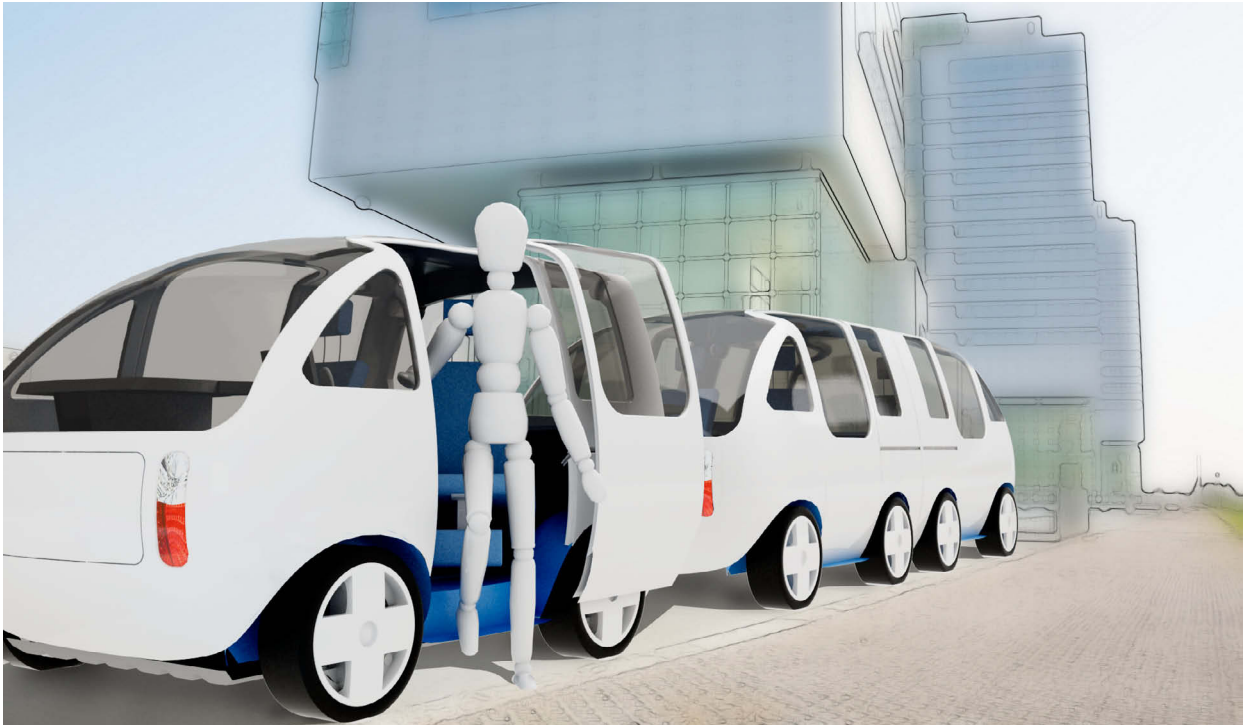


Fig. 8.52 (In alto) Rendering: discesa dal modulo.

Fig. 8.53 (In basso) Rendering: viaggio in autostrada.

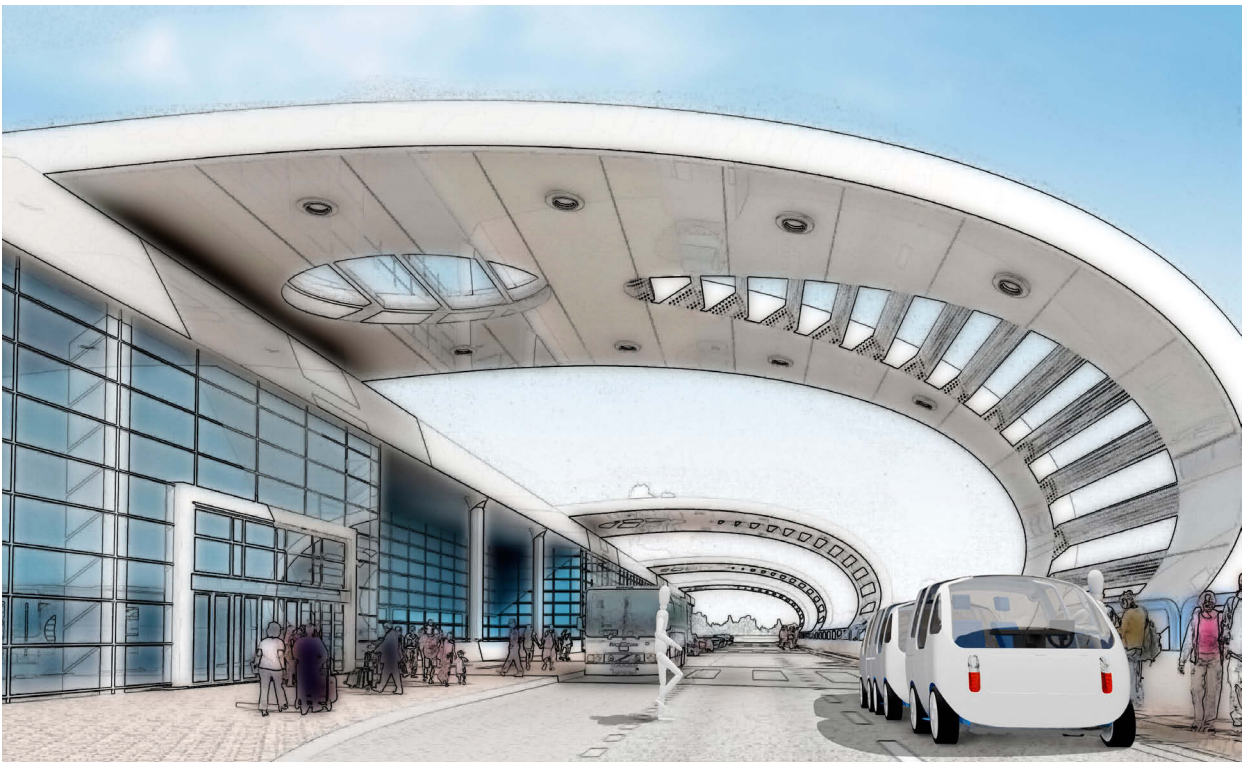
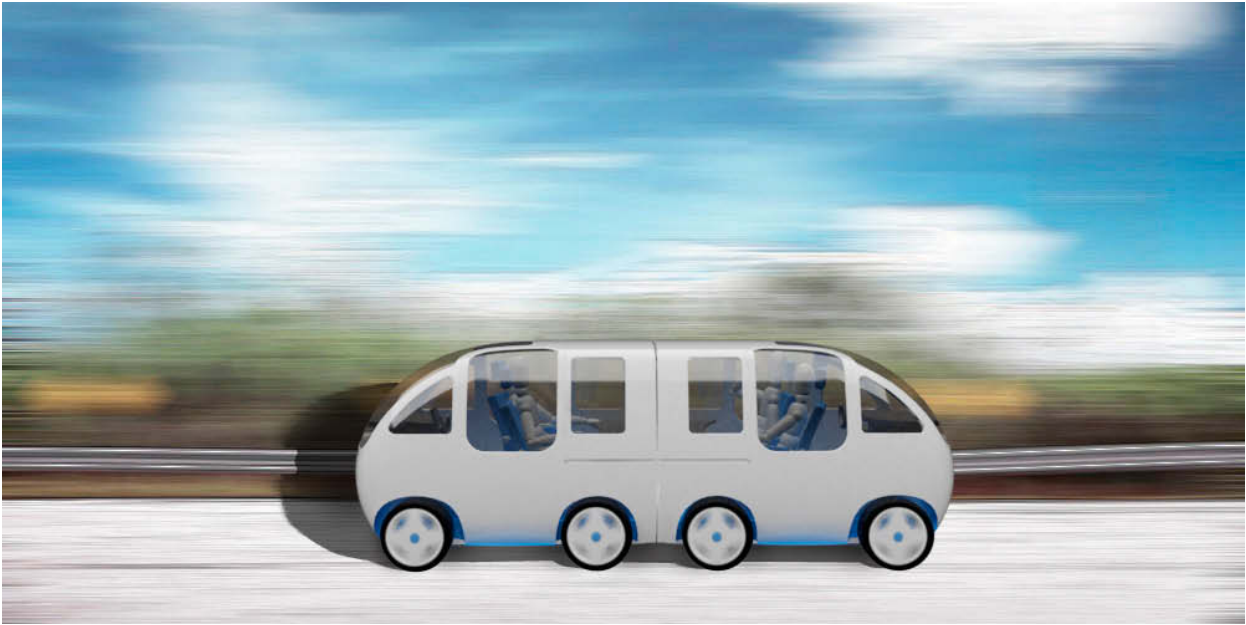


Fig. 8.53 (In alto) Rendering: viaggio con guida automatica.

Fig. 8.54 (In basso) Rendering: Integrazione con un aeroporto, il modulo può muoversi autonomamente per "parcheggiarsi".

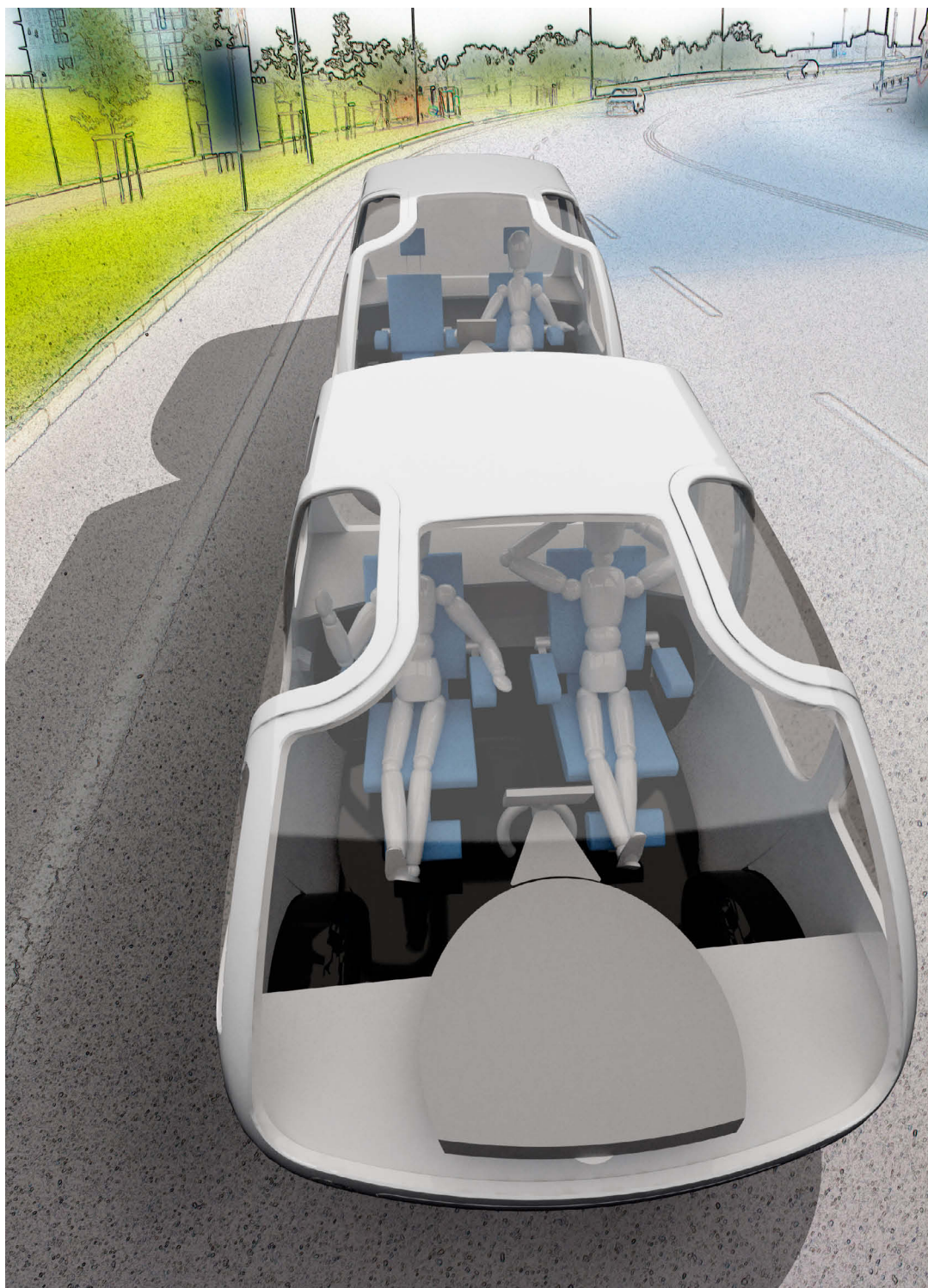


Fig. 8.55 Rendering: Riposo durante un viaggio.

Conclusioni



All'inizio di questo lavoro di tesi progettuale la convinzione era quella di lavorare ad un'idea un po' folle e rivoluzionaria, anche perché l'idea originale non era quella presentata, ma prevedeva treni di moduli uniti meccanicamente tra loro, non ci si è quindi stupiti che ancora nessuno avesse realizzato qualcosa di simile, considerando i problemi tecnici che una soluzione simile comporta.

Durante il lavoro di ricerca ci si è poi imbattuti in tecnologie, studi, prototipi, dichiarazioni delle case automobilistiche, notizie, video e immagini che hanno completamente cambiato le cose.

Il nuovo modo di muoversi su strada che vi abbiamo presentato in questa tesi non è un'idea ardita nè certamente geniale, è semplicemente la logica conseguenza dell'introduzione di tecnologie già in commercio o in avanzata fase sperimentale.

Se quindi forse nessuno, di cui siamo a conoscenza, si è preso la briga di formulare un progetto sistemico che sfrutti l'uso massiccio di queste tecnologie, certamente chi le sta sviluppando e chi ci sta investendo tempo e soldi ha anche quantificato i vantaggi che le singole tecnologie potrebbero apportare.

Certo potrebbero variare i dettagli, ma il succo è che siamo sicuri che a breve i veicoli guideranno da soli, almeno in certi tipi di strade, comunicheranno tra loro e con le infrastrutture e viaggeran-

no a distanze e velocità che sarebbero altrimenti pericolosissime, consentendo l'aumento dei flussi di veicoli in grado di percorrere una strada.

Il progetto ha così perso una parte del fascino pionieristico, guadagnando però moltissimo in credibilità, visto che le tecnologie usate come la guida automatica o i sistemi di comunicazione tra veicoli sono supportati da aziende come GM, il cui amministratore delegato ha dichiarato di progettarne l'introduzione per il 2018, il governo degli USA che ha avviato studi per prevenire il costo dell'introduzione di sistemi di comunicazione veicolo-infrastruttura sulla rete stradale americana, o l'UE che ha già assegnato delle frequenze radio appositamente adibite alla comunicazione tra veicoli.

Progettare un sistema e dichiarare che la sua introduzione è inevitabile, una conseguenza di ciò che già esiste ed è in atto, potrebbe sembrare inutile, poiché se è inevitabile vuol dire che questo progetto non darà alcun contributo al suo raggiungimento.

Eppure quanti sanno che una realtà simile è possibile e "a portata di mano"? Che entro uno o due decenni il modo principale di muoversi sarà completamente diverso, che ci saranno pochissimi incidenti, non ci sarà mai traffico e forse i veicoli saranno meno ingombranti, ma più comodi e spaziosi?

Forse se fosse opinione diffusa, se le persone avessero in testa quest'idea di futuro, un sistema stradale in grado di risolvere i veri problemi, non si dividerebbero tra chi predica il treno e chi si ostina a mettere da parte i soldi per una decina di cavalli in più da sfoggiare il sabato sera.

Forse si creerebbe una spinta di innovazione mirata a quei settori di ricerca e sviluppo che hanno così tanto potenziale e di cui raramente si sente parlare.

Non ha grande utilità spingere per l'auto a idrogeno o elettrica se non si cambia il modo di produrre elettricità e non avrà successo se non si cambia il modo di concepire il muoversi in auto, perché ora il mercato vuole più che altro cavalli, prestazioni, stile e prezzi ridotti e li vuole perché sono la conseguenza di un modo di concepire l'auto e gli spostamenti stradali.

Il veicolo che abbiamo ipotizzato per dare concretezza al sistema è a idrogeno, ma questa non è la chiave innovativa, anzi l'idrogeno è stato scelto anche e soprattutto per le possibilità di gestione degli spazi, spazi che vengono valorizzati attraverso la possibilità di non guidare, quindi di usarli per fare altro.

Forse qualcuno proverà meno soddisfazione sfoggiando il proprio potente veicolo alle

sei di mattina in coda per andare a lavorare mentre sul veicolo a fianco qualcuno legge comodamente il giornale, riposa, gioca o fa colazione senza doversi preoccupare di nulla.

Ma la cosa migliore è che quando una parte significativa dell'utenza sarà passata al nuovo sistema, il traffico non sarà più un problema per nessuno.

Un sistema di trasporto allo stesso tempo meno invadente, più sostenibile, più sicuro e più comodo; non è un sogno, non è la fantasia di un ecologista o un racconto di fantascienza, ma un progetto concreto che si può costruire...

a partire da adesso.

Bibliografia



Sostenibilità

- R. Paolo, *Trasformazione urbana e mobilità. Una guida alla valutazione dei progetti*, Angeli, 2003
- V. Guido, *Tutti in taxi. Demonologia dell'automobile*, Feltrinelli, 1996
- S. Ashlei, *Verso l'auto a rischio zero*, in LE SCIENZE, marzo 2009
- Nation Master Energy Statistics "<http://www.nationmaster.com>"
- B. Knight *Più chilometri con un litro* in Le Scienze Giugno 2010
- Swedish Institute for Transport, *External Effects of Transports*, SIKa Report 2003
- P- Lombard e A. Molocchi, *I costi ambientali e sociali della mobilità in Italia*, FrancoAngeli, 1999
- I. Illich, *Elogio della bicicletta*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2006
- ENEA, *Noi per lo sviluppo sostenibile*, Roma 2003
- Commissione UE, *Competitività, sviluppo sostenibile e coesione in Europa*, commissione europea, Lussemburgo 2003.
- M. Richiardi, *I costi esterni dei trasporti nell'area metropolitana di Torino*
- T. Francesco, *Se i bambini dicono: adesso basta!*, Laterza, 2002
- La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte. Libro bianco*, Ufficio delle pubblicazioni delle Comunità Europee, 2001
- IRPET, *I costi ambientali e sociali della mobilità*, a cura di P. Lattarulo, Angeli, 2003
- L. Antonio, *La pedonabilità urbana. Percezione extra-visiva, orientamento, mobilità*, Maggioli, 1994

Dinamiche e analisi flussi

Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual*, Washington D.C., 2000

G.E. Cantarella, *Introduzione alla tecnica dei trasporti e del traffico con elementi di economia dei trasporti*, UTET

V. Torrieri, *Rilievi e modellizzazione del traffico veicolare*

S. Pallottino e A. Sciomachen, *Scienze delle decisioni dei trasporti*, FrancoAngeli, 1999

G. Andreatta, L. Brunetta, L. Righi *An Operations Research Model For The Evaluation Of An Airport Terminal*: SLAM, Journal of Air Transport Management, 1999, Vol. 5, 161-175

A. Vitetta *Il deflusso nei sistemi di trasporto*

L. Mayer *Impianti ferroviari*

N. Bellomo e M. Delitala *On the mathematical theory of vehicular traffic flow*

dynamic and kinetic modelling. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*,

V. Messina *Aspetti generali e criticità nella rete ferroviaria italiana*, World Scientific Publishing, 2002

Storia

A. Giuntini, *Il paese che si muove. Le ferrovie in Italia fra '800 e '900*, Milano, Franco Angeli, 2001.

J. H. PARRY, *Le vie dei trasporti e dei commerci*, Einaudi, Torino, 1975

F. Melis, *I trasporti e le comunicazioni nel medioevo* Le monnier 1984

Nuove tecnologie

F. Rossi, M. Filippini, N. Corsi, M. Giuliobello, C. Amelio *Reforming dell'etanolo per l'alimentazione di celle a combustibile a carbonati fusi*, Torino 2004

ASTM, *Telecommunications and information exchange between roadside and vehicle systems*, in ASTM International, 2001

Richard T. Meyer and Bin Yao *Control of a PEM fuel cell cooling system*, 2005

N. Di Giusto, *L'innovazione sui veicoli e sulle infrastrutture per una mobilità sostenibile*, Centro Ricerche FIAT

P. Adcock, A. Kells and C. Jackson *PEM Fuel Cells for Road Vehicles*

Ing. A. Kleber *Simulation of Air Flow Around an OPEL ASTRA Vehicle*

California PATH Research Report *Drag Forces Experienced by Two, Full-Scale Vehicles at Close Spacing*

F. Browand, M. Zabat e P. Tokumaru *Aerodynamic Benefits from Close Following. Automated Highway Systems*, ed. P Ioannou, Plenum Press, 1997.

E. Rossi, *Andare a idrogeno. I motivi, la tecnologia e i prototipi delle auto che guideremo*, Media 3000, 2006

P. Hoffmann, *Tomorrow's Energy: Hydrogen, Fuel Cells, and the Prospects for a Cleaner Planet*, The MIT Press, 2002

Statistiche

ISTAT *Statistiche trasporti 2004*

ISTAT *Il trasporto in Italia Anno 2005*

ISTAT *Il trasporto in Italia Anno 2008*

ISTAT *Incidenti stradali anno 2008*

Federal Aviation Administration, *New York J. F. Kennedy international airports*, New York, 2007

Nation Master Energy Statistics “<http://www.nationmaster.com>”

ACI, *I Costi Sociali degli Incidenti Stradali*, 2004

ACI, *I Costi Sociali degli Incidenti Stradali Anno 2008*

Economia

A. Coppola e A. Terzulli *Shipping e settore navale, strutture, performance e operatività*, SACE

R. Giordano, *Politica ed economia dei trasporti e della logistica*”, Giordano editore, Napoli, 2006

A. C. Caputo *Problematiche logistico-economiche nella gestione dei combustibili alternativi*

Indice delle immagini

- 19 Figura 1.1 Uno svincolo autostradale in California, è una buona rappresentazione della strutturazione logica della rete stradale in più livelli sovrapposti, a volte anche fisicamente.
- 20 Fig. 1.2 La Highway 401 nei pressi di Toronto.
- 21 Fig. 1.3 Ferrovia per l'alta velocità accanto alla Torino-Venezia.
- 22 Figura 1.4 Rappresentazione istantanea dell'attività di internet sul nostro pianeta.
- 23 Fig. 1.5 Rappresentazione dei tempi di percorrenza tipici in relazione al mezzo usato e alla distanza in un contesto urbano.
- 24 Figura 1.6 Ferrovie e strade spesso coabitano e coprono percorsi identici, sono due sistemi in concorrenza commerciale per il trasporto sia di merci che di persone.
- 25 Fig. 1.7 Istantanea dell'attività di internet.
- 26 Fig 1.18 L'interfaccia di un navigatore satellitare, un sistema in grado di calcolare il percorso ottimale per raggiungere la destinazione in base alla posizione del veicolo.
- 30 Fig. 2.1 Traffico congestionato in un contesto urbano.
- 31 Fig. 2.2 Simulazione del traffico veicolare sulla rete stradale nel nord Italia
- 32 Fig. 2.3 Pullman bloccati nel traffico veicolare, i mezzi privati ostacolano i mezzi pubblici rendendone l'uso sconveniente in termini di tempi di percorrenza.
- 33 Fig. 2.4 Illustrazione di un sistema di misurazione radar per il controllo della distanza di sicurezza del veicolo che precede.
- 36 Fig. 2.5 Rappresentazione della funzione tra velocità e flusso veicolare possibile per ogni corsia, valori stabiliti ipotizzando il pieno rispetto del codice della strada.
- 38 Fig. 2.6 Rappresentazione della funzione tra velocità e flusso veicolare possibile per ogni corsia, valori aderenti al reale comportamento tipico degli automobilisti.
- 39 Fig. 2.7 Rappresentazione della funzione tra velocità e flusso veicolare possibile per ogni corsia, valori ottenuti ipotizzando la riduzione dei tempi di reazione mediante l'introduzione

di sistemi di frenata automatici.

- 40 Fig. 2.8 Rappresentazione della funzione tra velocità e flusso veicolare possibile per ogni corsia, valori ottenuti ipotizzando l'uso di moduli aggregabili in treni di 10 moduli.
- 42 Fig. 2.9 Rappresentazione provocatoria di una forchetta "efficiente" come un'auto.
- 42 2.10 Concept Mazda per lo styling di un'auto supersportiva.
- 43 Fig. 2.11 Concept di citycar sviluppata appostamente per servizi di car-sharing
- 44 Fig. 2.12 Frequenza della scoperta di nuovi giacimenti petroliferi, in calo da tempo, confrontata con la produzione mondiale, in crescita.
- 45 Fig. 2.13 Miniera di bitume a cielo aperto in Canada, ricavare petrolio in questo modo, oltre a causare la deforestazione di aree immense, provoca emissioni di CO₂ 4 volte superiori a quelle di petrolio estratto.
- 46 Fig. 2.14 Schema rappresentativo delle dissipazioni dell'energia consumata da un'auto con motore a scoppio.
- 47 Fig. 2.15 Studio in galleria del vento del comportamento aerodinamico di un'auto.
- 48 Fig. 2.16 e 2.17 La scia generata dai veicoli può essere usata per ridurre l'attrito dell'aria, la tecnica è utilizzata nelle competizioni, ma alcuni scienziati ne hanno studiato l'efficacia su veicoli normali.
- 49 Fig 2.18 Pirelli Cinturato P7 è un pneumatico studiato per diminuire la resistenza al rotolamento riducendo i consumi.
- 50 Fig 2.19 (in alto) Venturi Volage è una vettura sportiva alimentata da quattro motori elettrici integrati nelle ruote.
- 50 Fig 2.20 (in basso) Esploso di una ruota con motore elettrico integrato.
- 51 Fig. 2.21 Un freno tradizionale.
- 52 Fig. 2.22 (in alto) Rappresentazione artistica del recupero di energia in fase di frenata.
- 52 Fig. 2.23 (In basso) Un KERS usato in Formula 1.
- 53 Fig. 2.24 RunWise™ Advanced Series Hybrid Drive system
- 54 Fig 2.25 Motore ibrido elettrico-benzina
- 54 Fig 2.26 Schema di funzionamento della propulsione a celle a combustibile a idrogeno della Cx-Clarity di Honda.

- 55 Fig. 2.27 Tecnologie disponibili per ottimizzare il funzionamento di un motore a scoppio e potenziale apporto nella riduzione dei consumi, fonte "Le Scienze".
- 56 Fig. 2.28 Immissione di gas in atmosfera.
- 57 Fig. 2.29 Smog visibile dal satellite sulle coste cinesi.
- 58 Fig 2.30 (in alto) Concentrazione di CO in atmosfera
- 58 Fig 2.31 (in basso) Il benzene, è cancerogeno e può provocare l'insorgere della leucemia.
- 59 Fig. 2.32 Smog fotochimico.
- 60 Fig. 2.33 Particolato visto al microscopio.
- 61 Fig. 2.34 Schema della dinamica dell'effetto serra
- 62 Fig. 2.35 Andamento delle temperature nel mondo.
- 63 Fig. 2.36 Oscillazioni dell'irraggiamento solare nel tempo.
- 64 Fig. 2.37 Andamento della temperatura globale.
- 65 Fig. 2.38 Emissioni inquinanti di gpl, diesel e benzina e rilevanza dei trasporti sul totale delle principali sostanze nocive.
- 66 Fig 2.39 Il motore di una zafira 1.6 a metano sovralimentato, capace di generare la più che dignitosa potenza di 150cv.
- 67 Fig. 2.40 La ciminiera di unacetrace elettrica.
- 69 Fig 2.41 Una pubblicità Fiat.
- 70 Fig 2.42 Diagramma di Edward T. Hall con i raggi espressi in piedi.
- 71 Fig 2.43 Immagine pubblicitaria che evidenzia il senso di protezione e raggruppamento all'interno di un'auto.
- 72 Fig. 2.44 Sono sempre più diffuse edizioni speciali, allestimenti particolari, ma anche modifiche successive alla produzione fatte realizzare dall'utente.
- 73 Fig. 2.45 L'auto come presentazione di se cerca di distinguersi dalla produzione di massa per comunicare.
- 74 Fig. 2.46 Immagine pubblicitaria che evidenzia la possibilità di uso di un'auto per trasportare ovunque attrezzatura sportiva.
- 74 Fig. 2.47 Un bizzarro incidente.

- 75 Fig 2.46 Nell'ottobre 1895 un treno della SNCF, proveniente da Granville entrò nella stazione di Parigi Montparnasse senza frenare.
- 78 Fig. 5.1 Due treni FS in stazione.
- 79 Fig. 5.2 La prima ferrovia in Italia, realizzata nel 1839, collegava a Napoli a Nocera Inferiore.
- 80 Fig. 3.3 Ponte ferroviario in America in una foto d'epoca.
- 81 Fig 3.4 Un Etr 610 Cisalpino
- 82 Fig 3.5 Particolare del sistema di aggancio all'estremo di un vagone.
- 82 Fig 3.6 Punto di innesto in un treno a composizione fissa.
- 83 Fig 3.7 Costruita nel 1938, la Maillard raggiunse i 203 km/h di velocità.
- 84 Fig 3.8 Una locomotiva Americana ibrida Diesel - Elettrica.
- 85 Fig 3.9 Pannello di controllo di unamotrice.
- 86 Fig 3.10 (in alto) Una carrozza UIC - Z1
- 86 Fig 3.11 (in basso)Prospetto e pianta di una carrozza UIC-Y.
- 87 Fig 3.12 Carrozza Ciz 39117 tipo 1928
- 88 Fig 3.13 Grafico di transito dei trani su una linea.
- 89 Fig. 3.14 Una stazione americana nel 1831
- 90 Fig. 5.15 Strumenti di gestione del traffico ferroviario prima dell'po sviluppo di sistemi computerizzati.
- 91 Fig 3.16 Sistema di gestione computerizzato di una linea ferroviaria.
- 92 Fig. 3.17 Binari e scambi prima di Stazione Centrale a Milano
- 97 Fig. 3.19 La zona dopo il disastro del Vajont, che costò la vita a quasi duemila persone.
- 98 Fig. 3.20 Superficie incidente di un treno e di 120 auto, necessari per spostare 600 persone tramite i sistemi ferroviario e stradale.
- 99 Fig. 5.22 Schema delle forze che agiscono sulla ruota di un treno e diagramma dell'attrito al variare della velocità, la possibilità di decelerare di un treno sono molto inferiori rispetto a quella di un'auto.
- 100 3.23 Un treno a levitazione magnetica (Maglev)

- 101 3.24 Un treno giapponese MLX01
- 102 3.25 Schema degli apparati necessari al funzionamento di un treno a levitazione magnetica.
- 103 Fig. 3.26 Interno di un Etr 500
- 104 Fig. 3.27 Interno della stazione centrale a Milano.
- 106 Fig 3.28 (In alto) Progetto di un vagone per bambini.
- 106 Fig. 3.29 (In basso) Interno di un treno giapponese, le coppie di sedili si possono ruotare per cambiare la configurazione delle sedute.
- 111 Fig. 4.1 Metropolitana di Città del Messico, la più estesa d'America Latina e una delle più estese del mondo
- 112 Fig. 4.2 Lavori per la costruzione della metropolitana di Londra in una stampa dell'epoca.
- 113 Fig. 4.3 Una stazione della metropolitana di Parigi.
- 114 Fig. 4.4 Una stazione della metropolitana di Mosca.
- 115 Fig. 4.5 La "Elevated" di Chicago.
- 117 Fig. 4.6 Una TBM all'opera.
- 118 Fig. 4.7 (In alto) La testa di una grossa TBM
- 118 Fig. 4.8 (In basso) Schema della TBM usata per la realizzazione della metropolitana a Brescia.
- 119 Fig. 4.9 La vecchia ferrovia sopraelevata a New York
- 120 Fig. 4.10 Una moderna sopraelevata a Bangkok
- 121 Fig. 4.11 Un progetto dello studio newyorchese Fxfole per un ponte a Dubai.
- 122 Fig. 4.12 Un cantiere con il foro di ingresso della TBM.
- 124 Fig. 4.12 L'interno di una galleria durante i lavori di realizzazione.
- 127 Fig. 4.13 Schema di funzionamento di un sistema ATC.
- 129 Fig. 4.14 Il quadro di controllo di una linea metropolitana.
- 130 Fig. 4.15 Una postazione centrale.
- 131 Fig 4.16 Il sistema integrato VAL

- 132 Fig. 4.17 Motore e relativo indotto di un elettromotrice serie MA 100.
- 133 Fig 4.18 Il carrello di una MA 200 con trasmissione ad anello danzante per favorire il confort durante le operazioni di partenza del treno
- 134 4.19 Un carrello con ruote gommate.
- 135 4.20 Interno di un treno della metropolitana di Copenhagen.
- 137 4.21 Estensioni delle principali reti meropolitane in km.
- 138 4.22 Schema della rete metropolitana di Londra, la più antica ed estesa al mondo.
- 142 Fig 7.1 Un aereo di linea in volo.
- 143 Fig. 5.2 Grafico della crescita del trasporto aereo nel mondo, fonte Boeing
- 144 Fig. 5.3 Mappa di corridoi e zone di volo del nord-est italiano.
- 145 Fig. 5.4 Aerei di linea in “coda” sulle pste di rollaggio del J.F.Kennedy di New York
- 147 Fig. 5.5. Una tore di controllo, gli operatori di torre controllano le operazioni di avvicinamento e atterraggio di tutti i velivoli.
- 148 Fig. 5.6 Il motore di un Boeing 737.
- 149 Fig. 7.8 Alcuni ricercatori sostengono che il trasporto aereo sia direttamente responsabile del 10% del global warming.
- 150 Fig. 5.9. La sede dell’unone europea a Bruxelles, l’unione europea sta ultimamente spingendo per rimuovere gli squilibri politici ed economici in favore del trasporto aereo.
- 151 Fig. 5.10 Operazioni di rifornimentodi un aereo di linea, gli aerei con motori a getto sono di norma alimentati a cherosene, un derivato del petrolio.
- 152 Fig. 5.11 Un Boeing 737 della flotta di RyanAir, la compagnia inglese usa aereomobili moderni, pur riducendo al massimo i costi di esercizio.
- 154 Fig. 5.12 I passeggeri che ogni anno scelgono di volare con RyanAir sono in costante crescita.
- 156 Fig. 5.13 Sistemazioni su un volo RyanAir, la compagnia progetta di introdurre la possibilità di volare in piedi a prezzi ancora più bassi.
- 158 Fig. 5.14 Coefficiente di stagionalizzazione di aeroporti periferici prima e dopo la diffusione

di voli low-cost.

- 160 Fig. 5.15 Operazioni di check-in
- 162 Fig 5.16 Un aereo della Fuerza Aérea Uruguaya precipitato sulle Ande, nell' incidente persero la vita 26 persone e le altre 16 vennero recuperate dopo quaranta giorni.
- 163 Fig. 5.17 I resti di un aereo della Turkish Airlines precipitato.
- 165 Fig. 5.18 L'areoporto di Genova.
- 168 Fig. 6.1 La Turbo Nave Raffaello varata nel 1969.
- 169 Fig. 6.2 Una grande nave da crociera in costruzione in un cantiere italiano.
- 170 Fig. 6.3 Un traghetto di linea con servizio passeggeri e trasporto veicoli dotato di carena planante.
- 171 Fig. 6.4 Una nave da crociera in navigazione.
- 173 Fig.6.5 Il Maltese Falcon, un moderno veliero a tre alberi che manota un sistema dynarig con gestione delle vele completamente automatica.
- 175 Fig. 6.6 Una nave dotata di sistema skysail
- 176 Fig. 6.7 La nave sperimentale E-Ship in costruzione, dotata di quattro rotori flettner.
- 177 Fig. 6.8 Un'imbarcazione Solar Sailor.
- 180 Fig. 7.1 Immagine del tragico incidente del 2003 dove persero la vita tutti i passeggeri e l'equipaggio di un concord, l'aereo di linea più veloce mai realizzato, oggi in disuso.
- 182 Fig 7.2 Il grafico mostra i tempi di percorrenza in aereo, maglev e TAV al variare della distanza da percorrere, evidenziando il limite di concorrenzialità in termini di tempi di percorrenza tra trasporto aereo e maglev.
- 183 Fig. 7.3 Utreno a levitazione magnetica giapponese.
- 184 Fig. 7.4 Concept innovativo di auto a ridotto ingombro.
- 186 Fig. 7.5 Esperimento di guida in formazione a distanze ridotte con uso di tecnologie di comunicazione tra veicoli.
- 188 Fig. 7.6 Schema di funzionamento ipotetico di un sistema di comunicazione v2i
- 190 Fig. 7.7 "Suite" di prima classe di Japan Airlines.
- 192 Fig. 7.8 Una delle direzioni di sviluppo della robotica è la creazione di piccoli robot in grado

di cooperare.

- 193 Fig. 7.9 Un oggetto iperdiscusso, ha infatti segnato una svolta nel modo di progettare telefoni cellulari; l'oggetto tecnologico diventa semplicissimo.
- 198 Fig. 8.1 Rappresentazione grafica della distanza di sicurezza minima imposta dal codice della strada a 100 km/h.
- 199 Fig. 8.2 (In alto) Le strade percorse ad alta velocità sono sostanzialmente vuote.
- 199 Fig 8.3 (In basso) Irregolarità del traffico e problemi causati.
- 200 Fig 7.4 Veicoli sperimentali in viaggio in formazione e senza autista a distanza ravvicinata su una strada della California.
- 202 Fig. 7.5 Il veicolo sperimentale "Boss" di GM, in grado di muoversi in contesti urbani in presenza di altri veicoli.
- 206 Fig 8.6 Il sedile di guida di un'auto di fascia alta, la progettazione dell'ambiente di guida delle auto è completamente mirata alla guida stessa.
- 210 Fig 8.7 Schema di ingombri e abitabilità dei moduli accoppiati.
- 211 Fig 8.8 Esploso degli elementi principali che costituiscono un modulo.
- 212 Fig 8.9 Vista laterale di due moduli accoppiati.
- 216 Fig. 8.11 Consumi energetici calcolati per l'intero ciclo di vita del prodotto, fonte: Matthew A. Kromer and John B. Heywood
- 217 Fig. 8.12 Composizione e posizionamento del sistema di propulsione.
- 218 Fig. 8.13 Il telaio studiato nell'ambito del progetto "skateboard", che in un pianale di 20cm include tutto il sistema di propulsione e un sistema di controllo "by wire"
- 219 Fig. 8.14 Le bombole installate sul modulo, prodotte da Quantum Technologies e in grado di sopportare una pressione di esercizio di 10.000 psi
- 220 Fig. 8.15 Bombole per idrogeno installate su un veicolo prodotto da GM
- 221 Fig. 8.16 Lo stack di celle a combustibile installato sulla Hoda Clarity XFX
- 223 Fig. 8.17 Esploso e immagine di una Michelin Active Wheel, una ruota motorizzata che incorpora anche una sospensione attiva per far fronte all'elevata massa non sospesa.
- 224 Fig. 8.18 Sistema di raffreddamento delle celle

- 225 Fig. 8.19 Schema di funzionamento di uno scanner laser
- 226 Fig. 8.20-8.24 Elementi delle sedute e alcune possibili configurazioni.
- 227 Fig. 8.25 Schema ergonomico della seduta.
- 228 Fig. 8.26 (In alto) Due moduli assemblati.
- 228 Fig. 8.27 (In basso) Due moduli separati.
- 229 Fig. 8.28 (In alto) Due moduli assemblati, le dimensioni risultanti sono molto simili a quelle di un SUV.
- 229 Fig. 8.29 (In basso) Apertura della portiera e rotazione del sedile.
- 230 Fig. 8.30 (In alto) Interno di due moduli assemblati.
- 230 Fig. 8.31 (In basso) Comandi del modulo.
- 231 Fig. 8.32 Sistema per facilitare l'accesso alle auto, il sedile viene fatto ruotare rivolgendolo verso il lato del veicolo.
- 233 Fig. 8.33 (In alto) Rapporti dimensionali tra una persona e l'apertura per l'accesso al veicolo.
- 233 Fig. 8.34 (In basso) Discesa dal modulo.
- 234 Fig. 8.35 e 8.36 Posizionamenti degli elementi di guida del veicolo.
- 236 Fig. 8.37-8.39 Ipotesi di aspetto del display.
- 239 Fig. 8.40 Uso del piano di lavoro posteriore per lavorare.
- 240 Fig. 8.41-43 Varie modalità di lavoro, per brevi periodi (In alto), per periodi più lunghi (In basso), piccole riunioni (A sinistra).
- 241 Fig. 8.44-46 Varie modalità di svago, visione di un film (In alto), navigazione in internet, chat, videogiochi (In basso), giochi di società (A sinistra).
- 242 Fig. 8.47 Riposo a bordo del modulo.
- 243 Fig. 8.48 Due piccoli moduli da due posti possono risolvere tutte le esigenze di trasporto di un'intera famiglia.
- 245 Fig. 8.49 Il crash test di una Fiat 500.
- 246 Fig. 8.50 Una pubblicità che cerca di sensibilizzare sulla pericolosità delle distrazioni durante la guida.

- 248 Fig. 8.51 Schema rappresentativo del processo di introduzione del sistema nel contesto attuale.
- 251 Fig. 8.52 (In alto) Rendering: discesa dal modulo.
- 251 Fig. 8.53 (In basso) Rendering: viaggio in autostrada.
- 252 Fig. 8.53 (In alto) Rendering: viaggio con guida automatica.
- 252 Fig. 8.54 (In basso) Rendering: Integrazione con un aeroporto, il modulo può muoversi autonomamente per “parcheggiarsi”.
- 253 Fig. 8.55 Rendering: Riposo durante un viaggio.

Ringraziamenti

Ringrazio prima di tutto i prof. Arnaldi, Pasini e Ramponi che hanno accettato di aiutarmi nello sviluppo di questo progetto.

Ringrazio tutta la mia famiglia, in particolare mia nonna Carla che mi ha ospitato per tutto il corso di studi evitandomi un numero astronomico di lunghi e incerti spostamenti in treno.

I miei genitori che mi hanno dato la possibilità di studiare e allo stesso tempo di portare avanti tante altre passioni lamentandosi moderatamente, nonostante questo lavoro si sia prolungato per più tempo del previsto.

Mio fratello Federico che ha creato un brand di maschere da sci/snowboard che ci sta dando grandissime soddisfazioni crescendo ogni anno più delle aspettative nonostante la partenza da zero.

Mia sorella Laura che se la sta spassando in Canada, spero mi porti un po' di neve al ritorno.

La mia ragazza Lara che mi fa sentire sempre giovane, anche se ho la testa molto più a posto di un tempo, perché lei avendo un lavoro "normale", una macchina e due conti correnti è messa molto peggio di me.

Ringrazio tutti miei amici per i bei momenti passati sulla neve, sull'acqua, sulla roccia, nel fango o semplicemente in giro.

Infine ringrazio chi ha letto questo lavoro... sì anche chi non lo ha letto tutto, spero che le innumerevoli ore passate davanti ad un monitor siano valse qualcosa, in caso contrario vi chiederei di fare finta di niente e dirmi comunque di sì.

Grazie a tutti

Ringrazio Società Autostrade per la collaborazione.

