

**LA RIVOLUZIONE
DELLA MOBILITÀ
SOSTENIBILE
PARTE DALLE
AUTOSTRADE
SICURE
DIGITALI
DECARBONIZZATE**

Il Sole 24 ORE

Progetto grafico copertina: Francesco Narracci

ISSN 977 1826380 331 30003

Il Sole 24 Ore – Business

Registrazione in Tribunale n. 542 - 08.07.05

Direttore responsabile: Fabio Tamburini

Proprietario ed Editore: Il Sole 24 ORE S.p.A.

Sede legale, redazione e direzione: Viale Sarca, 223 - 20126 Milano

Mensile n. 3/2023

GRUPPO  ORE

© 2023 Il Sole 24 ORE S.p.A.

Sede legale, redazione e amministrazione: Viale Sarca, 223 - 20126 Milano

Per informazioni: Servizio Clienti 02.30300600

Realizzazione editoriale: Netphilo Publishing, Milano

Stampa: GRAFICA VENETA, via Malcanton, 2 – Trebaseleghe (PD)

Prima edizione: novembre 2023

Tutti i diritti sono riservati.

I testi e l'elaborazione dei testi, anche se curati con scrupolosa attenzione, non possono comportare specifiche responsabilità dell'Editore per involontari errori e/o inesattezze; pertanto, il lettore è tenuto a controllare l'esattezza e la completezza del materiale utilizzato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941, n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da EDISER Sri, Società di servizi dell'Associazione Italiana Editori, attraverso il marchio CLEARedi, Centro licenze e Autorizzazioni Riproduzioni Editoriali, Corso di Porta Romana n. 108 - 20122 Milano. Informazioni: www.clearedi.org.

Sommario

| | |
|---|----|
| Prefazione di <i>Fabio Tamburini</i> | 7 |
| L'importanza delle infrastrutture autostradali di <i>Marco Morino</i> | 11 |
| Ringraziamenti | 17 |
| Introduzione | 21 |
| Finalità e sintesi | 27 |
| | |
| 1. Domanda e modalità di trasporto in Italia e in Europa | 35 |
| 1.1 Differenti modalità di trasporto e i relativi campi di utilizzazione | 37 |
| 1.2 Gli spostamenti di persone e merci in Italia | 40 |
| | |
| 2. Le autostrade per la mobilità dei passeggeri e la logistica delle merci | 49 |
| 2.1 L'andamento storico del traffico di passeggeri e merci | 52 |
| 2.2 Le autostrade e il trasporto dei viaggiatori | 55 |
| 2.3 Le autostrade e le merci | 61 |

| | |
|---|-----|
| 3. Limiti e peculiarità delle autostrade italiane | 65 |
| 3.1 La storia delle autostrade italiane | 68 |
| 3.2 Le autostrade più vecchie, complesse e trafficate d'Europa | 74 |
| 3.3 Una rete satura | 78 |
| 3.4 La resilienza di una rete vulnerabile | 80 |
| 3.5 Impatto dei cambiamenti climatici | 85 |
| 3.6 Le criticità strutturali e la manutenzione rigenerativa | 88 |
| 3.7 Le risorse necessarie per ammodernare e le ricadute sull'economia degli investimenti | 93 |
| 3.8 Realizzare opere sostenibili | 95 |
| 3.9 Un problema non solo nostro: rigenerazione delle reti nel mondo | 97 |
| | |
| 4. Innovazioni tecnologiche e la rivoluzione del trasporto su gomma | 101 |
| 4.1 La digitalizzazione delle infrastrutture autostradali | 103 |
| 4.2 Evoluzione dell'auto, la guida assistita e autonoma | 111 |
| 4.3 Sicurezza stradale e Vision Zero | 114 |
| 4.4 Digitalizzazione e nuove catene del valore nella mobilità su strada | 117 |
| | |
| 5. I vettori energetici per la decarbonizzazione del trasporto su gomma | 121 |
| 5.1 Evoluzione del parco veicoli | 127 |
| 5.2 Il quadro normativo e regolatorio di riferimento (veicoli e combustibili) | 132 |
| 5.3 Caratteri distintivi dei vettori energetici | 142 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 5.4 | Investimenti nazionali | 160 |
| 5.5 | Sintesi e confronto delle fonti e dei vettori energetici | 162 |
| 6. | Azioni e scenari di decarbonizzazione del trasporto su gomma | 173 |
| 6.1 | Il contributo attuale del trasporto stradale alle emissioni di gas serra | 176 |
| 6.2 | L'approccio Evita-Cambia-Migliora e le politiche in atto per la decarbonizzazione (scenari tendenziali) | 182 |
| 6.3 | Effetti degli scenari tendenziali su consumi energetici ed emissioni climalteranti al 2030 | 189 |
| 6.4 | Alcuni scenari accelerati di decarbonizzazione al 2030 | 199 |
| 6.5 | Contributo del trasporto autostradale negli scenari al 2030 | 205 |
| 7. | Nuove regole per un nuovo modello di mobilità | 207 |
| 7.1 | Innovazione e fattori abilitanti per un nuovo modello di mobilità | 208 |
| 7.2 | L'attuale sistema concessorio e tariffario | 211 |
| 7.3 | La necessità di confronto per una nuova regolamentazione | 214 |
| | Glossario dei termini e degli acronimi | 217 |
| | Note | 229 |

Prefazione

di Fabio Tamburini

Una delle caratteristiche dell'epoca che stiamo vivendo è avere perso la capacità di analisi e di riflessione. Ogni giorno dobbiamo fare i conti con una valanga d'informazioni, senza che ci siano le condizioni per contestualizzarle, per inserirle in scenari di più ampia portata che permettano di capire verso quale direzione si sta andando, qual è la meta da raggiungere e quali sono le priorità da affrontare. Questo vale a tutti i livelli e per tutti gli aspetti della quotidianità: dalle scelte di vita alla geopolitica. È un peccato grave, che si traduce anche nell'aver sostituito il confronto basato sulla ricostruzione dei fatti e sulla loro analisi critica agli scontri che hanno come caratteristica l'insulto più gridato o la rissa a uso e consumo dei social network.

Così è stata persa la capacità di affrontare per tempo i problemi veri del Paese e dell'umanità. Il risultato è che l'attenzione diventa alta solo quando eventi catastrofici lo impongono. E la storia si ripete inesorabile. Il significato di questo libro è un contributo affinché cresca la consapevolezza su un aspetto chiave per il Paese: l'efficienza

della rete autostradale, collegata con la rivoluzione della mobilità e la necessità inderogabile di una transizione energetica e della decarbonizzazione della mobilità. Una transizione che non passa solo per l'elettrico a batteria, ma richiede anche di far leva su vettori alternativi come i biocarburanti e, più a lungo termine, l'idrogeno. La necessità è di considerare una priorità gli interventi da realizzare perché la natura stessa dell'Italia lo richiede. Siamo un Paese lungo e stretto, di cui il trasporto su gomma resta l'architrave. Può piacere oppure no, ma certamente continua a essere così.

Non a caso un simbolo dello sviluppo economico degli anni Sessanta, seguito al dopoguerra, è proprio l'autostrada del Sole, che accorciò drasticamente tempi di collegamento e prezzi di consumo delle merci, con la prima parte inaugurata nel dicembre 1958 e l'apertura definitiva nell'ottobre 1964. Il problema però è che l'intera rete autostradale italiana, che anche i Paesi più avanzati dell'Occidente ci invidiano, è ormai un'anziana signora che festeggia il centesimo anno di età. Continua a rappresentare il cardine dello sviluppo economico, ma sente il peso degli anni.

Due aspetti, in particolare, vanno considerati: l'usura delle strutture e l'opportunità d'interventi su larga scala che tengano conto della progressione tecnologica dell'era moderna. A partire dalle rivoluzioni della sostenibilità, della sicurezza, del contrasto all'inquinamento ambientale. Sono sfide epocali, da cui dipende il futuro del Paese. Da una parte occorre intervenire per allungare la vita delle strutture esistenti evitando disastri provocati dall'usu-

ra dei ponti, delle gallerie, del manto autostradale. Anche considerando che devono essere adattati alle caratteristiche dei nuovi veicoli alimentati da vettori energetici alternativi. Dall'altra sono necessari nuovi progetti in grado di supportare volumi di traffico che negli ultimi trenta anni sono aumentati in misura esponenziale ma che aumenteranno ancora di più. E dobbiamo sperare che sia davvero così perché rappresentano l'indicatore di uno sviluppo economico adeguato, unico rimedio all'indebitamento elevato dei bilanci pubblici.

Una variabile chiave della rivoluzione dei trasporti su strada è rappresentata dalle scelte europee sull'ambiente e per contrastare i cambiamenti climatici. Gli obiettivi in alcuni casi sono ampiamente condivisibili, in altri lasciano qualche dubbio per la mancanza di neutralità tecnologica e le tempistiche. Di sicuro pongono l'urgenza d'interventi adeguati per l'aggiornamento delle reti infrastrutturali. I sette capitoli del libro documentano e forniscono dati preziosi sulla fotografia dei trasporti in Italia e in Europa, sui limiti e peculiarità delle autostrade italiane, sui contributi delle innovazioni tecnologiche, sugli obiettivi di sostenibilità ambientale, sui nuovi modelli di mobilità.

È una documentazione che come Sole 24 Ore siamo orgogliosi di pubblicare e promuovere perché rappresenta prima di tutto uno strumento di riflessione e di lavoro su una realtà, la rete dei trasporti autostradali, con cui facciamo i conti quotidianamente e di cui diamo per scontata l'adeguatezza. Troppo spesso senza renderci conto che, al contrario, richiede interventi urgenti e progettualità adeguata.

L'importanza delle infrastrutture autostradali

di Marco Morino

Una nazione moderna esige infrastrutture moderne, a partire dalle strade. Autostrade per l'Italia (Aspi), principale operatore autostradale del Paese, ha mobilitato, ad esempio, 21,5 miliardi di investimenti per l'ammodernamento e il potenziamento della rete. Ma il principio è antico. Anzi, antichissimo. Lo conoscevano bene gli antichi romani, che misero in piedi un sistema capillare di viabilità per scopi militari, politici e commerciali. Lo sanno bene quei Paesi che hanno dato vita a straordinarie opere infrastrutturali, cambiando per sempre la morfologia dei continenti. La Via Reale di Persia, una rete fatta costruire nel V secolo a.C. da Dario I che attraversava tutta l'attuale Turchia e permetteva ai corrieri del re di percorrere oltre duemila chilometri in sette giorni. La Via della Seta, dove per ottomila chilometri transitavano i commerci tra l'Impero cinese e quello romano. La Via Siberiana (iniziata nel 1730 e terminata solo alla metà del XIX secolo) che collegava la Russia europea alla Siberia e alla Cina. E ancora più recentemente la Panamericana. Un sistema integrato lungo circa ventiseimi-

la chilometri, che si sviluppa da Nord a Sud per tutto il continente americano, dal gelo dell'Alaska agli oceani di Capo Horn. Quattro esempi che attraversano i secoli e conducono direttamente alla storia contemporanea. Perché dai selciati della via Aurelia alle affollate highway statunitensi il valore della strada rimane invariato e, oggi come allora, rappresenta un simbolo indiscusso dello sviluppo umano.

Prendiamo il caso dell'Italia. Il dopoguerra segnò un periodo di rapida espansione della rete autostradale, che favorì il miracolo economico e la coesione del Paese. L'autostrada del Sole (A1) divenne il simbolo di questa espansione, un'opera audace e innovativa realizzata in un tempo relativamente breve. Il tracciato collega Milano, Bologna, Firenze, Roma e Napoli, ed è il più lungo ancora oggi in esercizio. Per la prima volta il Nord, il Centro e il Sud dell'Italia diventano interconnessi e facilmente raggiungibili in un'unica giornata. La costruzione durò appena otto anni, con la posa della prima pietra nel 1956 e l'inaugurazione nel 1964. Per dare un'idea dell'entità dell'opera: in 8 anni si realizzarono circa 760 chilometri di tracciato, con oltre 850 ponti/viadotti e 38 gallerie. Ben presto le autostrade divennero simbolo di progresso, modernità e libertà, facilitando la mobilità delle persone e delle merci, soprattutto tra il Nord e il Sud del Paese e dando impulso alla motorizzazione del popolo italiano. Quasi sessant'anni dopo, quei 760 chilometri di autostrada sono parte di una delle reti stradali più capillari d'Europa. 7000 chilometri di autostrade, 20.000 chilometri di strade a interesse nazionale e 150.000 chi-

lometri di strade a interesse regionale, con oltre 1000 chilometri di gallerie e 16.000 tra ponti e viadotti. Un patrimonio che va protetto e tutelato in nome di due principi: la sicurezza e l'efficienza. Il crollo del ponte Morandi di Genova nell'agosto 2018, da cui è nata la corsa alla costruzione del ponte San Giorgio, è ancora oggi un monito per ricordare costantemente l'importanza necessaria della manutenzione di strade e ponti.

E proprio la modernizzazione della rete infrastrutturale italiana è una delle sfide più grandi che il Paese sarà chiamato ad affrontare negli anni a venire, in vista di una ripresa che sia anche economica e sociale.

L'Italia di oggi guarda alla manutenzione della rete autostradale nazionale come una delle maggiori opportunità di sviluppo, che dovrà procedere di pari passo con un ripensamento strategico della produzione di vettori energetici (l'elettrico, forse la tecnologia in stadio più avanzato ma in ogni caso non priva di controindicazioni in chiave ambientale, l'idrogeno e i biocarburanti, per citare solo quelli più promettenti) e i sistemi di produzione e distribuzione che essi richiedono. Una rivoluzione collettiva, anche comportamentale, che punti da un lato all'ammodernamento delle infrastrutture in chiave sostenibile e dall'altro alla creazione di nuovi posti di lavoro. E, nella produzione di soluzioni green e tech per lo sviluppo e la gestione della rete autostradale, Aspi ancora una volta fa da apripista, con le stazioni di servizio alimentate dall'energia cinetica delle auto. Questa tecnologia è stata sviluppata da Movyon, società hi-tech del gruppo Autostrade per l'Italia. Un'innovazione che

parte dalla Toscana. I test sono partiti in A1 nell'area di servizio di Arno Est e proseguiranno nei prossimi mesi anche con la sperimentazione in una pista di esazione. L'obiettivo di Autostrade per l'Italia è realizzare una piattaforma, integrata con i principali sistemi di gestione e monitoraggio dell'infrastruttura autostradale, che possa produrre energia pulita oltre a quella tipica del fotovoltaico. Secondo le prime stime, grazie al passaggio medio giornaliero di 9000 veicoli, con un unico modulo sarà possibile produrre 30 MWh/anno pari a una riduzione di 11 tonnellate di CO₂. Un valore che corrisponde al consumo annuo di elettricità di un condominio composto da 10 famiglie. In una barriera autostradale come Firenze Ovest, ad esempio, il consumo di elettricità è pari a circa 60 MWh/anno. Grazie all'installazione di due impianti sarà quindi possibile azzerare completamente il fabbisogno energetico della stazione.

Infine, un cenno al trasporto pesante (Tir), grande fruitore della rete autostradale. La sostenibilità del trasporto non potrà prescindere dal rinnovo del parco circolante, che in Italia presenta un'età media tra le più anziane d'Europa (14,3 anni). Per questa ragione, tutte le associazioni che rappresentano la filiera nazionale dell'autotrasporto (Anfia, Anita, Federauto, Unrae e Unatras) concordano nel ritenere necessario un piano di efficientamento del parco circolante che incentivi le imprese alla graduale ed effettiva transizione del settore, in direzione di una trasformazione sostenibile, innovativa e competitiva dei servizi di trasporto merci. Il fabbisogno finanziario per la transizione viene stimato dalle

L'importanza delle infrastrutture autostradali

organizzazioni in circa 700 milioni di euro, che dovranno supportare gli investimenti fino al 2026 in veicoli a emissioni zero, loro infrastrutture e carburanti rinnovabili. La proposta sarà presentata a breve al ministero delle Infrastrutture e trasporti.

Ringraziamenti

Il seguente lavoro è stato **redatto da un team multidisciplinare** composto da **esperti del mondo accademico, della ricerca, nonché di primari operatori del settore, attori del sistema economico**, che hanno preso parte al progetto costituendo uno specifico Advisory Board e un Comitato di redazione.

L'**Advisory Board** di seguito rappresentato, coordinato da esponenti del mondo accademico e della ricerca e supportato dai referenti delle società partecipanti, ha definito le linee di indirizzo e monitorato l'avanzamento dei lavori:

- **Ennio Cascetta** (*coordinatore*), Professore Ordinario di Infrastrutture e Sistemi di trasporto presso Universitas Mercatorum e Presidente Cluster Tecnologico Nazionale Trasporti;
- **Ferruccio Resta**, Professore Ordinario di Meccanica Applicata alle Macchine presso il Politecnico di Milano e Presidente del Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile MOST;

- **Bernardo G. Mattarella**, Professore Ordinario di Diritto amministrativo presso il Dipartimento di Giurisprudenza della Luiss Guido Carli;
- **Armando Carteni**, Professore di Pianificazione delle infrastrutture e della mobilità sostenibili presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli";
- **Alessandro Perego**, Professore Ordinario di Logistics Management presso il Politecnico di Milano;
- **Vittorio Marzano**, Professore in Ingegneria dei Trasporti presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II;
- **Carlo Beatrice**, Dirigente di ricerca dell'Istituto di Scienze e Tecnologia per l'Energia e la Mobilità sostenibili del CNR STEMS;
- **Roberto Tomasi**, CEO e Direttore Generale di Autostrade per l'Italia;
- **Gianluigi Iacobone**, Direttore Studi & Strategie e CEO Office di Autostrade per l'Italia;
- **Riccardo Pugnalin**, Direttore Relazioni Esterne e Affari Istituzionali di Autostrade per l'Italia;
- **Marilisa Conte**, Direttrice Engineering & Technical Coordinator di Autostrade per l'Italia;
- **Stefano Susani**, CEO Amplia Infrastructures, Gruppo Autostrade per l'Italia;
- **Andrea Montanino**, Chief Economist and Director Strategie Settoriali e Impatto CDP;
- **Simona Camerano**, Responsabile dell'Area Scenari Economici e Strategie Settoriali CDP;

Ringraziamenti

- **Claudio Bonomi Savignon**, Responsabile Infrastrutture, Mobilità e Territorio CDP;
- **Cristina Dell’Aquila**, Responsabile Monitoraggio e dell’analisi d’impatto per l’industria e le infrastrutture CDP;
- **Gilberto Dialuce**, Presidente ENEA;
- **Giorgio Graditi**, Direttore Generale ENEA;
- **Giuseppe Ricci**, Chief Operating Officer Energy Evolution di ENI;
- **Maurizio Maugeri**, Head Sustainable B2B coordination, Energy Evolution di ENI;
- **Franco Cotana**, CEO RSE;
- **Michele Benini**, Director Energy Systems Development department RSE;
- **Alessio Torelli**, Chairman & Managing Director di Greenture, SNAM.

Il Comitato di redazione, coordinato da Gianluigi Iacobone, ha curato la stesura dei singoli capitoli. Si ringraziano in particolare:

- **Antonio Liccardo**, Responsabile Transformation Office e CEO Office di Autostrade per l’Italia;
- **Giacomo Cuciniello**, Professional Ingegneria e Coordinamento Tecnico di Autostrade per l’Italia;
- **Federico Di Gennaro**, Responsabile Centro Studi e Progetti Europei di Autostrade per l’Italia;
- **Flavia Sciscirot**, Direttore tecnico Sistemi di Trasporto e Mobilità Sostenibile di Tecne, Gruppo Autostrade per l’Italia;

- **Francesca Paudice**, Progettista Soluzioni di Mobilità Sostenibile di Tecne, Gruppo Autostrade per l'Italia;
- **Domenico Zagari**, Program Manager Mercury e Partnership Strategiche di Autostrade per l'Italia;
- **Teresa Dina Valentini**, Head Sustainable B2B coordination for Associations and PA, Energy Evolution di ENI;
- **Marco Borgarello**, Head Energy Efficiency Research Group RSE;
- **Nicola Riccio**, Senior Manager BI & Advocacy di Greenture, SNAM;
- **Armando Carteni**, Professore di Pianificazione delle infrastrutture e della mobilità sostenibili presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi della Campania "L. Vanvitelli";
- **Carlo Beatrice**, Dirigente di ricerca dell'Istituto di Scienze e Tecnologia per l'Energia e la Mobilità sostenibili del CNR STEMS.

Si ringraziano, infine, tutti coloro che a vario titolo e come colleghi delle realtà partner del progetto hanno collaborato offrendo contributi teorici, tecnici, spunti di riflessioni ed elaborazioni specifiche.

Introduzione

Il prossimo anno ricorre il centesimo anniversario della nascita della rete autostradale italiana. Un secolo nella progressione tecnologica moderna è un'era. Il mondo di allora era solo una promessa di quello che sarebbe venuto. Il secolo dell'automobile deve molto, moltissimo, all'iniziativa concettuale dell'autostrada: sviluppo economico, stili di vita, opportunità di spostamento per persone e merci, automobili, autobus, autocarri. **Tutto è cambiato qualitativamente e quantitativamente.** Nel 1924 le automobili circolanti in Italia erano poco più di 50.000. Oggi, ogni giorno circa 5 milioni di veicoli entrano nel sistema autostradale producendo un flusso medio sulle tratte superiore ai 40.000 veicoli con punte di oltre 100.000 veicoli al giorno.

Il parco auto italiano è di circa 40 milioni di veicoli. Quello europeo di 250 milioni. L'impatto della mobilità su gomma è stato fondante per la nostra cultura economica e sociale. Si tratta di cambiamenti tanto profondi che nella storia dei trasporti sono stati indicati come **la quinta rivoluzione:** quella conseguente alla **innovazio-**

ne tecnologica dei motori a combustione interna e le autostrade ne sono state fra i protagonisti.

La rivoluzione collegata alla introduzione dei motori a combustione interna non è stata la prima, né sarà l'ultima nella storia. Le **rivoluzioni dei trasporti** corrispondono alla introduzione di innovazioni tecnologiche (nei veicoli, nei vettori e nelle infrastrutture) che in tempi relativamente brevi modificano non solo le prestazioni e le possibilità di muovere persone e cose, ma **hanno un effetto più ampio sulla organizzazione della società e dell'economia** nel loro complesso. Le innovazioni rivoluzionarie nella storia sono state relativamente poche: la trazione animale, la vela, la ruota, la macchina a vapore. Fra di esse secoli di evoluzioni, perfezionamenti, in attesa della rivoluzione successiva.

La rivoluzione del motore a combustione interna, come tutte le rivoluzioni, ha anche avuto conseguenze non desiderabili, in particolare sulla sostenibilità ambientale di lungo periodo, che cent'anni fa non potevano essere previste. Nel 2019, ultimo anno prepandemia, il sistema di trasporto europeo ha contribuito per circa il 26% alle emissioni totali di gas serra, seguito dall'industria energetica (24%) e dal resto del comparto industriale (21%). Nel settore dei trasporti, il 72% delle emissioni sono attribuibili al trasporto stradale, seguito dal trasporto marittimo e dall'aviazione (rispettivamente con una quota del 14 e 13%) e, in misura residuale, dal segmento ferroviario (1%). La situazione italiana è sostanzialmente confrontabile con la media europea: **il 27% delle emissioni totali è legato al settore trasporti**

e di queste circa l'80% è attribuibile al solo trasporto stradale.

La decarbonizzazione dei trasporti è una componente essenziale degli impegni presi dall'Italia a livello internazionale e comunitario. L'Unione Europea ha approvato il programma Fit for 55 che prevede azioni concrete e obiettivi impegnativi di riduzione delle emissioni climalteranti per il 2030, e la neutralità carbonica per il 2050.

I cambiamenti climatici in atto e le manifestazioni che si susseguono con sempre maggior frequenza stanno suscitando una **riflessione generale sull'aggiornamento delle reti di infrastrutture vitali e la loro capacità di resistere alle nuove condizioni di stress meteorologico e non solo (la cosiddetta resilienza)**. In Italia, la modernizzazione del sistema autostradale si pone con maggiore evidenza rispetto al resto d'Europa per il numero maggiore di strutture delicate come ponti, viadotti e gallerie, per la loro anzianità e per l'incremento esponenziale dei carichi di traffico, più che raddoppiati rispetto a quelli previsti originariamente e su molte tratte oltre la soglia di saturazione. **Abbiamo più traffico di quello che possiamo permetterci e strutture da aggiornare.**

Il tema della **sicurezza stradale** è un altro aspetto di grande rilevanza. Ogni anno sulle strade d'Europa si contano oltre 20.000 morti. Molti meno degli oltre 46.000 di soli 20 anni fa, ma ancora decisamente troppi. Il trasporto su strada si è sempre basato, a differenza degli altri, esclusivamente sulla guida dell'uomo, spesso

di conducenti non professionisti, e quindi con maggiori possibilità di errore umano. Il 90% degli incidenti è causato da questi errori e distrazioni. Anche in questo caso la UE si è posta obiettivi molto sfidanti. Dapprima il dimezzamento delle vittime della strada dal 2010 al 2020 e in seguito la «**vision zero**», ossia **l'azzeramento delle morti per il 2050**. Obiettivo difficilmente perseguibile senza le innovazioni tecnologiche che si stanno sviluppando in questi decenni.

La modernizzazione delle infrastrutture, la decarbonizzazione e la sicurezza sono sfide enormi, e rappresentano questioni da cui dipende una maggiore sostenibilità ambientale, ma anche economica e sociale. Sfide che devono essere affrontate con un approccio olistico e consapevole, basato su dati e ipotesi esplicite e verificabili.

Queste sfide non possono essere affrontate con le tecnologie del passato, anche recentissimo. L'intero sistema dei trasporti è in una fase di profonda trasformazione, secondo gli studiosi siamo nel pieno della **settima rivoluzione** (dopo la quinta, dei motori a combustione, e la sesta, della logistica dei container), spinta dalla necessità di decarbonizzare i trasporti e introdurre nuovi vettori energetici, dai progressi vertiginosi sui veicoli a guida assistita, autonoma e connessa, dalla digitalizzazione di tutte le componenti del sistema e dai nuovi servizi di smart mobility. Questa **rivoluzione riguarderà prevalentemente il trasporto su strada**, innanzitutto perché è la modalità che ancora oggi – come nel prossimo futuro – muoverà la stragrande maggioranza delle

persone e delle merci e quindi potrà contribuire in modo sostanziale alla crescita economica, sociale e ambientale del Paese. Il trasporto su gomma è però anche quello dove più significative sono le innovazioni tecnologiche e maggiori saranno gli effetti della settima rivoluzione.

Le autostrade saranno le infrastrutture che, **come un secolo fa, dovranno accelerare questi processi e indirizzarli verso un percorso virtuoso**, offrendo servizi sempre più efficienti (in termini di qualità del viaggio), moderni (e dunque più sicuri) e più sostenibili (in termini di riduzione delle emissioni nocive) che agiscano da esempio per la più ampia mobilità su strada.

Finalità e sintesi

Questo lavoro si pone l'obiettivo di contribuire al dibattito sulle decisioni da prendere e sugli investimenti da fare per accompagnare la transizione energetica e potenziare e modernizzare le autostrade italiane favorendone più in generale una maggiore sostenibilità. Queste sono – e come vedremo resteranno – l'infrastruttura portante dell'economia del Paese e della logistica, basata per quasi il 90% sul trasporto su gomma.

Le informazioni, i dati e le analisi che vi proporremo sono il risultato del lavoro congiunto di primari operatori del settore, attori del sistema economico, del mondo accademico e della ricerca (ENI, SNAM, ASPI, CDP, ENEA, RSE, Politecnico di Milano, CNR, Università Federico II e UniCampania).

L'obiettivo è descrivere e analizzare sulla base dei dati: 1) lo stato e le condizioni di funzionamento dei sistemi viabilistici strategici; 2) il ruolo che le autostrade svolgono all'interno del sistema multimodale della mobilità e della logistica; 3) quello che bisogna fare per mantenere, migliorare, potenziare, rendere più sicura

l'infrastruttura e ammodernarla al ritmo delle evoluzioni tecnologiche che stanno rivoluzionando il trasporto su strada; 4) i realistici scenari di decarbonizzazione del trasporto stradale, ipotizzabili sulla base della struttura dei flussi di domanda e del grado di penetrazione dei diversi vettori energetici nella consapevolezza che gli interventi di potenziamento dei sistemi ferroviari e del riequilibrio modale previsti dal PNRR e dalle amministrazioni locali, seppur necessari, per ragioni strutturali non riuscirebbero, da soli, a raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione previsti.

Gli obiettivi di decarbonizzazione posti dall'Unione Europea sono particolarmente sfidanti; per l'Italia si prevede di ridurre del 43,7% le emissioni di GHG al 2030 rispetto al 2005 in riferimento ai settori soggetti all'Effort Sharing Regulation, ossia trasporti su strada, residenziale, terziario, piccola industria, agricoltura e rifiuti, e al 2050 si prevede di raggiungere la cosiddetta neutralità carbonica, cioè l'equilibrio tra le emissioni dovute all'uomo e i metodi di eliminazione delle emissioni in eccesso.

Le analisi proposte non riguardano la decarbonizzazione dell'intero sistema dei trasporti italiano ma ne affrontano l'aspetto certamente più rilevante relativo al trasporto su gomma e al contributo che le autostrade possono dare a questo processo.

Quello che si propone è un contributo aperto e dinamico. L'evoluzione tecnologica, normativa, ed economica del trasporto su strada rende impossibile prevedere gli scenari nei prossimi anni e decenni. Proveremo

quindi a **proporre scenari limite** a partire dall'analisi dei dati, senza pregiudizi sui mezzi utilizzati per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità ambientale, economica e sociale, alla condizione che siano realistici ed economicamente praticabili. Scenari che certamente evolveranno e che gli autori del presente lavoro si propongono di seguire attraverso la costituzione di uno specifico **osservatorio** (aperto anche a eventuali ulteriori realtà accademiche e imprenditoriali che vorranno unirsi) che permetterà di **integrare proposte e aggiornare analisi e priorità**.

Partiamo da alcune considerazioni di contesto, che misureremo nei vari capitoli: a) **la rete autostradale italiana** è un bene strategico di mobilità e produttività che **assolve un ruolo centrale per l'economia e per lo sviluppo del Paese, anche per la nostra struttura orografica e territoriale**; b) **le autostrade italiane sono le più complesse d'Europa** per geografia e orografia, sono **le più vecchie** (molte tratte hanno un'età superiore ai cinquanta anni), **ma anche le più utilizzate**. La vetustà delle strutture e i livelli di traffico elevati, in molte tratte al limite della saturazione, si riflettono **sulla resilienza delle autostrade** italiane che oggi appare **molto limitata**; c) nello stesso contesto nazionale **esistono differenze molto marcate fra le diverse tratte** in termini di anzianità, presenza di opere complesse (ponti, viadotti e gallerie) e volumi di traffico; d) **gli obiettivi di decarbonizzazione dei trasporti** posti a livello mondiale e, in modo ancor più ambizioso, dalle normative europee e nazionali, come vedremo, **stanno stimolando lo svilup-**

po di soluzioni e vettori energetici alternativi a quelli fossili senza precedenti nella storia dei trasporti; e) **nel sistema di trasporto dell'Unione Europea la mobilità è prevista in crescita almeno fino al 2030 e la strada è destinata a mantenere un ruolo fondamentale nel mix modale sia per il trasporto passeggeri sia per il trasporto merci, soprattutto in Italia per l'assenza di una reale concorrenza tra modalità di trasporto, se non nei centri urbani e metropolitani o lungo alcuni specifici corridoi;** f) **le traiettorie possibili per la decarbonizzazione dipendono sostanzialmente da fattori specifici di ogni Paese.** La struttura dell'economia, la distribuzione degli insediamenti e della popolazione sul territorio, la dotazione di infrastrutture stradali e ferroviarie, le dimensioni e l'anzianità del parco veicoli, la distribuzione del reddito influenzano significativamente gli effetti delle decisioni e delle scelte. Non è possibile immaginare una ricetta transnazionale e, pur in presenza di obiettivi comuni, **il nostro Paese dovrà trovare una "via italiana" alla decarbonizzazione dei trasporti.**

Le conclusioni che sinteticamente proviamo ad anticipare sono tre.

La prima: la rete autostradale assolve un ruolo non sostituibile. Occorre migliorarla e rigenerarla, a cominciare da ponti e gallerie a garanzia di standard di sicurezza non negoziabili e per il prolungamento della vita utile delle opere ai prossimi cinquanta anni. Vanno potenziati gli snodi chiave sottoposti a stress di traffico. Bisogna renderla complessivamente più moderna e **compatibile con le nuove tecnologie** che interverran-

no nella mobilità e nei trasporti; pensiamo per esempio all'uso del digitale nella gestione del traffico e alla diffusione di veicoli a guida assistita e progressivamente autonoma. Questo richiederà nei prossimi anni un **volumine significativo di investimenti** per rendere il sistema dei trasporti più sicuro e funzionale.

La seconda: è necessario l'impegno congiunto degli operatori del settore **per rinnovare la rete e sviluppare la filiera dei diversi vettori energetici** a partire dalla complessa questione dei rifornimenti, con un parco veicoli in cui sta crescendo – e presumibilmente continuerà a crescere – la quota delle motorizzazioni elettriche e a carburanti alternativi. È possibile stimare che le politiche a oggi in atto per il trasporto stradale porteranno a una riduzione delle emissioni di CO₂ entro il 2030 rispetto al 2005 compresa tra il 15 e il 33%. Sono valori ancora insufficienti e inferiori all'obiettivo di riduzione del 43% complessivo per i trasporti, imposto all'Italia dagli obiettivi del Fit for 55. Per assicurare il raggiungimento dei target di decarbonizzazione dei trasporti è necessario utilizzare e coordinare **un insieme di soluzioni possibili**, sostenere **il principio della neutralità tecnologica** sviluppando i vettori energetici alternativi (per esempio elettricità e carburanti meno impattanti) e promuovere una **generale cultura della sostenibilità**. Infatti, come si vedrà meglio in dettaglio nelle analisi, l'integrazione degli scenari tendenziali suindicati con azioni di **diffusione incentivata di carburanti meno impattanti e con la promozione di comportamenti più virtuosi** da parte degli utenti (ecodriving, riempimento

mezzi) potrebbe portare a riduzioni complessive delle emissioni di CO₂ “dal pozzo alla ruota” comprese fra il 35 e il 50%. **Nessuna politica, da sola, consente di raggiungere in pochi anni obiettivi di decarbonizzazione ambiziosi come quelli fissati dall’Unione Europea.**

Inoltre, il livello di incertezza su molti dei parametri chiave a oggi non consente di affermare che gli obiettivi saranno raggiunti, è quindi necessario monitorare il sistema e adeguare le politiche ai cambiamenti che interverranno in questi anni di transizione.

La terza conclusione è un combinato disposto delle prime due: **le autostrade giocano un ruolo significativo nei processi di innovazione tecnologica e di decarbonizzazione** in quanto le tipologie di veicoli che le percorrono, unitamente alla più rapida diffusione delle tecnologie di guida assistita, di ottimizzazione dei flussi di traffico (grazie alla digitalizzazione) e alla disponibilità di stazioni di rifornimento dei vettori energetici alternativi, consentono riduzioni delle emissioni più che proporzionali rispetto al totale del traffico servito. In particolare, le analisi condotte evidenziano, in funzione dei diversi scenari, una **maggiore incisività delle politiche e delle azioni di decarbonizzazione sulle autostrade fino al 50-90% rispetto alle altre strade.**

Queste tre conclusioni conducono a una sintesi: il Paese si sta avviando verso una rivoluzione della sostenibilità del trasporto su strada. Si tratta di una grande sfida, paragonabile a quelle affrontate con successo nel dopoguerra. Il percorso è chiaro, **il successo dipenderà dagli investimenti disponibili, dai costi, dalle compe-**

tenze tecnico-professionali necessarie, da una buona relazione tra i decisori politici e le imprese coinvolte e da una indispensabile evoluzione del sistema normativo e regolatorio, anche a livello europeo, per renderlo compatibile con le necessità improrogabili di investimento evidenziate in questo lavoro, ivi incluso il riconoscimento da parte dell'UE della necessità strategica di rigenerare le infrastrutture viarie della rete TEN-T al pari di quelle ferroviarie.

Domanda e modalità di trasporto in Italia e in Europa

La domanda di trasporto di persone e merci deriva dalla necessità di svolgere funzioni diverse all'interno di un territorio. La domanda è correlata alla presenza di insediamenti residenziali, produttivi e dei servizi, e connessa alla possibilità di effettuare gli spostamenti con diverse modalità di trasporto e ai relativi parametri di costo. Per muovere le persone e spostare le merci sono disponibili diverse modalità: piedi, bici, moto, auto, bus, treni, autocarri, aerei, navi. In alcuni casi usiamo ancora cavalli e muli. Le differenti modalità hanno ambiti di convenienza tecnico-economica all'interno delle quali sono competitive. Questi ambiti si sovrappongono solo in alcuni contesti, per esempio nelle aree urbane e metropolitane, mentre in altri sono sostanzialmente esclusivi per modalità di trasporto: per esempio spostamenti di breve raggio in aree a bassa densità per cui si privilegia la gomma, o spedizioni intercontinentali di merce affidate al trasporto marittimo e aereo.

Ne deriva che le diverse modalità di trasporto servono quote di mercato differenti in relazione agli am-

biti. Dal punto di vista socioeconomico è ovviamente necessario garantire la possibilità di accedere a tutte le tipologie di spostamenti, sia passeggeri sia merci, nelle migliori condizioni di efficacia ed efficienza. Tuttavia, dal punto di vista della domanda globale, e quindi dei consumi di energia e delle emissioni, le diverse modalità di trasporto hanno pesi molto differenti, con una netta prevalenza delle modalità su gomma. Per i passeggeri, le auto e i bus servono circa il 90% della mobilità espressa in passeggeri chilometro, mentre per le merci, furgoni, autocarri e autotreni sono utilizzati per l'84% della movimentazione di tonnellate chilometro. In entrambi i casi si tratta di spostamenti prevalentemente di breve percorrenza. Difatti, il 70% degli spostamenti di persone avviene entro i 50 km e l'80% delle merci entro i 250 km. I valori di utilizzo del trasporto su strada sono paragonabili a quelli dei Paesi europei confrontabili come Germania, Francia e Spagna. Il ruolo di tram e metropolitane, dei servizi ferroviari di alta velocità e del trasporto ferroviario e marittimo delle merci è molto significativo dove questi servizi sono competitivi, per esempio il trasporto all'interno delle aree metropolitane o lungo i corridoi delle reti transeuropee. Ciononostante, questo ruolo rimane ampiamente minoritario e, come si vedrà nei capitoli successivi, non in grado di assorbire quote significative del trasporto su strada.

1.1 Differenti modalità di trasporto e i relativi campi di utilizzazione

Il livello di utilizzo delle diverse modalità di trasporto, e la loro disponibilità, è legato alla domanda di mobilità e all'offerta di servizi di trasporto. La domanda di mobilità è definita dalla distribuzione della popolazione, delle imprese e delle attività sul territorio. Uno spostamento di per sé non produce utilità, ma è un'attività necessaria per lo svolgimento di altre attività in luoghi diversi da quello in cui ci si trova. Per questo diciamo che la domanda di mobilità è una domanda derivata. Ogni giorno le persone scelgono come spostarsi per recarsi nei luoghi di lavoro, di studio, per fare acquisti, per curarsi, per andare in vacanza. Allo stesso modo, le attività produttive richiedono il trasporto di beni che sono consumati dalle famiglie o da altre attività economiche. Le merci sono spostate tra i luoghi di produzione, i centri di stoccaggio, la vendita al dettaglio, sino alle abitazioni o agli altri luoghi del consumo finale. Questi flussi di merci sono collegati all'economia, alla produzione e ai consumi di quel territorio, così come la mobilità delle persone è strettamente connessa alla distribuzione delle residenze, dei luoghi di studio, di lavoro eccetera e alle attività sociali presenti. Sia le scelte di mobilità delle persone sia quelle di trasporto delle merci sono influenzate dalle caratteristiche dei servizi di trasporto offerti per le diverse modalità (auto, camion, bus, treno, bici, piedi) o da combinazioni di mezzi, la cosiddetta intermodalità.

L'offerta di trasporto, invece, è costituita dalle infrastrutture (strade, autostrade, ferrovie, porti, interporti, aeroporti, parcheggi, centri merci), dai servizi (linee e corse di bus/treni/navi/aerei), dalle regole (per esempio norme della circolazione) e dalle tariffe (costi dei biglietti/pedaggi/sosta) che determinano le opportunità di viaggio. Spostarsi da un luogo a un altro richiede in generale l'uso di più infrastrutture e servizi.

Raramente lo spostamento da un punto a un altro (casa-ufficio, per esempio) è caratterizzato da un'unica modalità di trasporto. Più frequentemente per giungere alla destinazione finale si utilizzano più modi di trasporto (a piedi fino a una fermata, poi bus, quindi metro e infine piedi sino alla destinazione finale) in quello che, appunto, si definisce spostamento intermodale.

Ci sono anche casi in cui non c'è intermodalità, per esempio spostamenti di breve raggio in aree a bassa densità, dove l'unico modo possibile di muoversi è l'automobile o un mezzo a due ruote. Più nel dettaglio, mobilità e trasporti non possono essere compresi se non analizzati insieme alle attività con cui hanno una stretta interdipendenza, e che insieme definiscono un territorio.

Provando a schematizzare questi concetti, è possibile combinare le principali modalità di trasporto viaggiatori e merci che forniscono la mobilità intermodale, con le rispettive aree di disponibilità/competitività (Figura 1.1, Figura 1.2). Come si vede, le diverse modalità hanno ambiti di convenienza tecnico-economica all'interno delle quali sono competitive. Questi domini sono mol-

Domanda e modalità di trasporto in Italia e in Europa

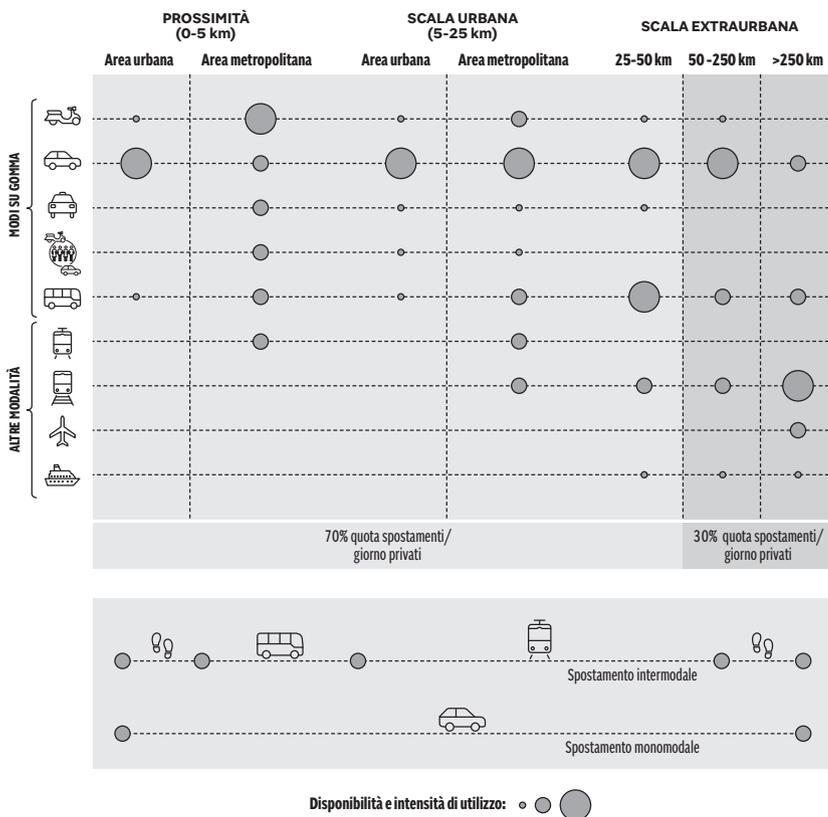


Figura 1.1 Disponibilità e utilizzo dei modi di trasporto motorizzati per la mobilità di persone.

to diversi e si sovrappongono solo in alcuni contesti, ad esempio nelle aree urbane e metropolitane, mentre in altri sono praticamente esclusivi per una o alcune modalità di trasporto, ad esempio spostamenti di breve raggio in aree a bassa densità (gomma) o spedizioni interconti-

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade

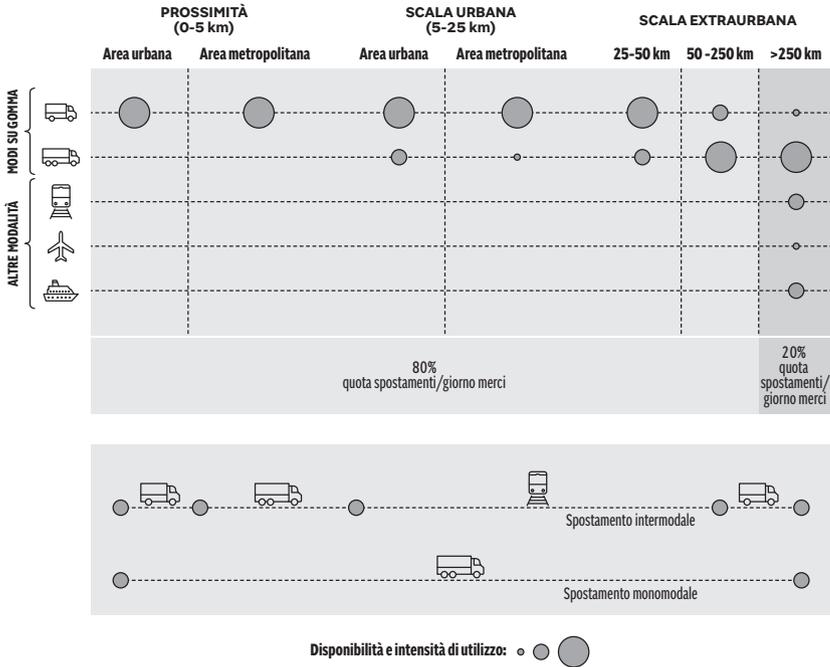


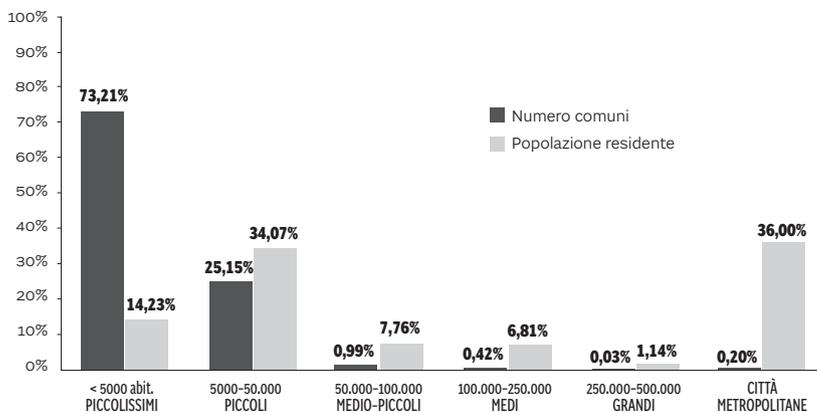
Figura 1.2 Disponibilità e utilizzo dei modi di trasporto motorizzati per la mobilità di merci.

mentali di merce (marittimo e aereo). Da ciò deriva che le diverse modalità di trasporto servono quote di mercato (*modal share*) diverse in relazione ai differenti ambiti.

1.2 Gli spostamenti di persone e merci in Italia

In Italia, la domanda e l'offerta di trasporto di persone e merci ha caratteristiche peculiari. Il territorio pre-

senta una elevata eterogeneità nella distribuzione della popolazione (Figura 1.3). Il 36% della popolazione vive nelle Città metropolitane (sono 14: Milano, Torino, Genova, Bologna, Venezia, Firenze, Roma, Napoli, Bari, Reggio Calabria, Messina, Catania, Palermo e Cagliari), il 48% in comuni di piccola o piccolissima dimensione (0-50.000 abitanti), che peraltro rappresentano il 98% del totale dei comuni italiani, il 14,5% vive in comuni medio-piccoli e medi (50-250.000 abitanti), e solo poco più dell'1% della popolazione vive nelle grandi città non metropolitane. È interessante notare come circa il 60% della popolazione italiana, con approssimativamente il 55% della mobilità, viva in comuni non appartenenti



Nella categoria «Città metropolitane» sono stati inclusi tutti i comuni (a prescindere dalla loro ampiezza demografica, ad esempio piccoli, medi, grandi) appartenenti alle dieci Città metropolitane disciplinate dalle legge 7 aprile 2014 n. 56 (legge Delrio) e alle ulteriori quattro appartenenti alle regioni a statuto speciale.

Figura 1.3 Incidenza percentuale per classe di ampiezza demografica della popolazione dei comuni italiani. Fonte: elaborazioni su dati ISTAT.

alle Città metropolitane e che sono di dimensioni che vanno da piccolissimo a medio.

L'assetto socioeconomico del Paese produce ogni giorno milioni di spostamenti che l'Osservatorio sulle tendenze della mobilità di passeggeri e merci (I trimestre 2023) del ministero delle Infrastrutture e dei trasporti stima in 98 milioni al giorno, corrispondenti a circa 1,8 miliardi di chilometri percorsi. Si arriva a questo risultato, considerando che gli italiani che si spostano ogni giorno sono oltre 38 milioni: ogni viaggiatore effettua mediamente 2,58 spostamenti al giorno, per una distanza complessiva percorsa di circa 47 km al giorno (18 km per ciascun spostamento).¹ (Tabella 1.1.)

| | | |
|---|--|--------|
|  | utenti medi/giorno (milioni) | 50,36 |
| | popolazione mobile (milioni viaggiatori/giorno) | 38,13 |
| | popolazione mobile (%) | 75,71% |
|  | spostamenti medi pro capite/giorno (num.) | 2,58 |
| | spostamenti km medi/giorno (milioni) | 1783 |
| | spostamenti medi/giorno (milioni) | 98,47 |
|  | percorrenza media per spostamento (km) | 18,11 |
| | percorrenza media giornaliera per viaggiatore (km) | 46,77 |

Tabella 1.1 La mobilità degli italiani in cifre (marzo 2023). Fonte: MIT, Osservatorio sulle tendenze della mobilità di passeggeri e merci (I trimestre 2023), maggio 2023.

La struttura socioeconomica molto eterogenea produce modelli di sviluppo della mobilità diversi. Le città e le aree metropolitane di grandi dimensioni hanno sistemi di trasporto collettivo rapidi di massa (autobus, tram, metro); quelle di medie e piccole dimensioni hanno sviluppato prevalentemente modelli di trasporto improntati sull'uso della strada (auto privata e autobus). La forma di mobilità prevalente resta la modalità stradale di trasporto individuale e collettiva.

Se teoricamente uno spostamento può essere effettuato con più modalità di trasporto, questo è nei fatti fortemente vincolato alle sole modalità realmente disponibili per una certa area. Questo è il motivo per cui nel Paese c'è una ripartizione modale fortemente sbilanciata verso l'uso della strada quale asse portante e non sostituibile delle esigenze di spostamento. Nel 2019 il trasporto passeggeri su gomma (auto, moto e autobus) rappresentava oltre l'89% del totale, quota modale cresciuta nel 2022 a oltre il 90% del totale (Figura 1.4). La pandemia del Covid-19 non ha alterato la struttura gomma-centrica, anzi. A fronte di un livello di domanda che si è leggermente ridotto (-6%), il trasporto su gomma resta la modalità di trasporto prevalente con oltre il 90% del totale della mobilità nazionale. Ecco perché è importante promuovere politiche e azioni volte alla decarbonizzazione soprattutto nel segmento principale del settore, la strada.

Questa ripartizione non è ugualmente distribuita sul territorio. La mobilità stradale individuale e collettiva (auto, moto e bus) è compresa tra il 70% e l'85% (85-95%

Italia: la piramide della mobilità passeggeri sulla rete

Miliardi di passeggeri per km al 2019 (%)

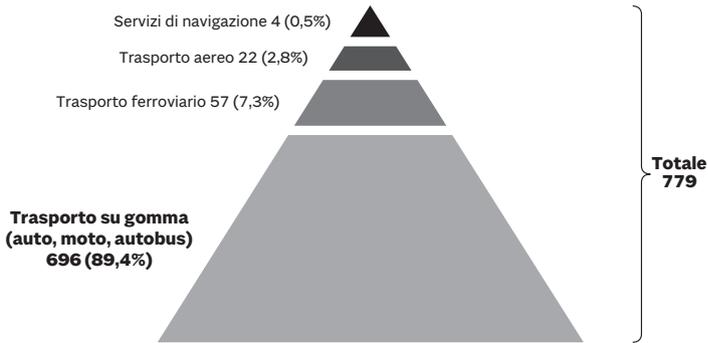


Figura 1.4 La mobilità degli italiani per modalità di trasporto, anno 2019. Fonte: elaborazione su dati CNT, Cluster Trasporti, ASPI.

se si esclude la modalità piedi/bici). C'è qualche eccezione. Per esempio, nel centro delle aree metropolitane la percentuale di uso dell'auto e moto si riduce a poco più del 50% (Figura 1.5).

L'80% dell'offerta di servizi di trasporto pubblico locale è erogata dove risiede e si sposta il 30% della popolazione del Paese, servizi generalmente impiegati per soddisfare le esigenze di mobilità sia della popolazione residente, sia di quella pendolare che quotidianamente raggiunge i comuni capoluogo.

Il ruolo del trasporto pubblico – servizi ferroviari di alta velocità e del trasporto ferroviario e marittimo delle merci – è molto significativo nei segmenti di mercato in cui questi servizi sono competitivi, per esempio il trasporto all'interno delle aree metropolitane o lungo i corridoi delle reti transeuropee.

Domanda e modalità di trasporto in Italia e in Europa

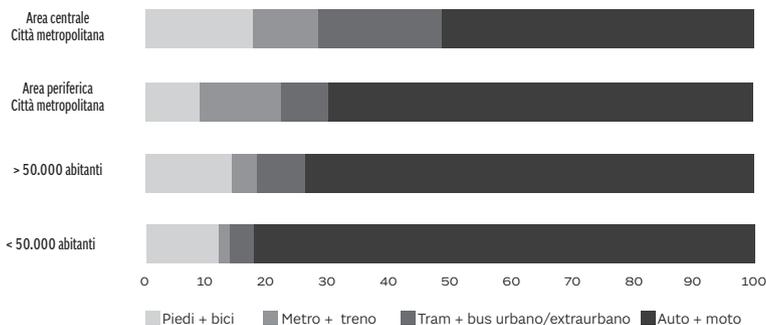


Figura 1.5 Ripartizione modale spostamenti per lavoro e ambito territoriale (2022). Fonte: elaborazioni su dati ISFORT, MIT e ISTAT.

La localizzazione dei centri di produzione e distribuzione e quelli di acquisto e consumo determinano la domanda di mobilità delle merci con la sua ripartizione modale. La mobilità delle merci è prevalentemente legata alla modalità stradale per servire oltre l'84% degli spostamenti (in tonnellate chilometro), seguita dal cabotaggio marittimo (10%), dal trasporto ferroviario (circa il 4%) e quello in traffico aereo e acque interne (circa il 2%) (Figura 1.6).

Rispetto agli scambi con l'estero, sono poco più di 216 i milioni di tonnellate di merci che nel 2019 hanno attraversato i valichi alpini nazionali: per oltre il 74% è stata utilizzata la strada, per il 26% la ferrovia.²

La mobilità stradale delle merci presenta valori molto variabili a seconda della tipologia di veicolo impiegato, con distanze medie percorse per spostamento che variano dai circa 56 km per i veicoli commerciali leggeri (sotto 3,5 tonnellate) sino a circa 114 km per i veicoli industriali (sopra 3,5 tonnellate). Complessivamente il 70% della

Italia: la piramide del trasporto merci sulla rete

Miliardi di tonnellate chilometro al 2019 (%)

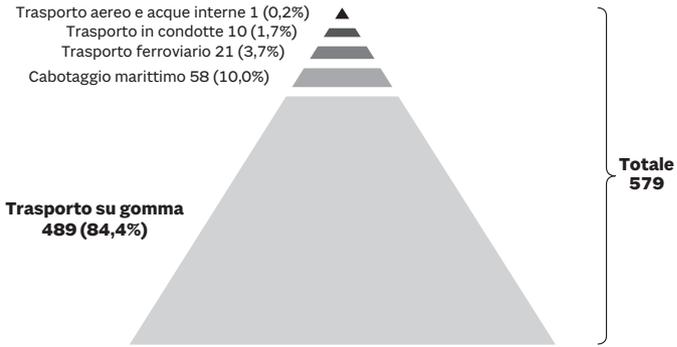


Figura 1.6 La mobilità delle merci per modalità di trasporto. Fonte: elaborazione su dati CNT, Cluster Trasporti, ASPI.

mobilità delle merci si esaurisce entro percorrenze tra i 50 e i 100 km.

Complessivamente i valori di utilizzo del trasporto su strada sono paragonabili a quelli dei Paesi europei confrontabili come Germania, Francia e Spagna.

In Europa, il traffico leggero su strada in termini di passeggeri chilometro è aumentato dal 1995 al 2019 di circa l'1,2% all'anno con una crescita pari al 29%. Il traffico pesante in termini di tonnellate chilometro è aumentato dell'1,5% all'anno con una crescita del 36%. In termini assoluti nel 2019 il traffico ha raggiunto valori di circa 6000 miliardi di passeggeri chilometro e 3400 miliardi di tonnellate chilometro.

Le distribuzioni modali sono stabili. Nel 2019 su strada ritroviamo il 71,5% dei passeggeri chilometro, su ferrovia il 7%, su trasporto aereo e marittimo il 9,7% e lo

0,4%. Analogamente per le merci il 52% delle tonnellate chilometro si sposta su strada, il 12% su ferrovia il 28,9% su trasporto marittimo, il 4,1% sulle vie di navigazione interna e sul trasporto aereo lo 0,1%.³ In Italia la situazione è ancora più spinta sulla gomma con l'89% per i passeggeri e l'84% per le merci (Tabella 1.2).

| <i>Quota modale Gomma 2019</i> | <i>Italia</i> | <i>UE</i> | <i>Germania</i> | <i>Francia</i> | <i>Spagna</i> |
|--------------------------------|---------------|-----------|-----------------|----------------|---------------|
| Passeggeri chilometro | 89% | 72% | 83% | 82% | 83% |
| Tonnellate chilometro | 84% | 52% | 71% | 85% | 91% |

Tabella 1.2 Lo share modale a livello Italia vs Europa. Fonte UE, Germania, Francia, Spagna: EU, *Transport in figures: Statistical pocketbook*, 2022. Fonte Italia: elaborazioni su dati CNT, Cluster Trasporti e ASPI.

I dati riportati in tabella non sono pienamente confrontabili perché gli spostamenti interni alla UE sono internazionali per le stime italiane.

Anche a livello europeo sembra confermata in prospettiva una crescita del trasporto su gomma, sia per effetto dell'andamento dei volumi di traffico, sia per lo sviluppo della logistica e dei sistemi produttivi sul territorio. In un'analisi pre-pandemia sui volumi di traffico per modalità di trasporto dal 2015 al 2030 e al 2050, la Commissione europea prevede un incremento per passeggeri e merci su gomma di circa il 13% e il 30% entro il 2030 e di circa il 27% e il 55% entro il 2050 (rispetto ai valori 2015, considerati come base).

Le autostrade per la mobilità dei passeggeri e la logistica delle merci

Le immagini del *Sorpasso* e di altri film dei primi anni Sessanta mostravano autostrade percorse da pochi veicoli, semideserte. Quelle immagini in bianco e nero non rappresentano neanche lontanamente quello che le autostrade hanno fatto per l'Italia. Le autostrade hanno svolto e continuano a svolgere un ruolo centrale nel sistema dei trasporti e della logistica del Paese. Il traffico di veicoli viaggiatori e merci dal 1970 a oggi è più che quintuplicato e negli ultimi quaranta anni è più che raddoppiato, nonostante abbia subito delle notevoli flessioni a seguito della crisi economica del decennio 2009-2019 alla quale è succeduta la crisi del Covid-19. Nel 2022 il traffico è tornato ai valori pre pandemici con una ripresa più marcata per il traffico merci che ormai aumenta più rapidamente del PIL. Le autostrade rappresentano solo il 3% dell'estensione della rete stradale italiana, ma i chilometri percorsi su di esse costituiscono il 19% del traffico su tutte le strade. Molto significativo, e meno visibile, il ruolo delle autostrade per il trasporto collettivo con autobus: nel 2019 circa il 23% delle persone che ad esempio utilizzavano la rete

ASPI erano passeggeri di bus, per un totale di 23 miliardi di passeggeri chilometro, paragonabile ai passeggeri che si muovono sulla rete italiana dell'Alta Velocità.

Ancora più significativo il ruolo delle autostrade per il trasporto delle merci. Il 29% del totale delle percorrenze merci sulla totalità della rete stradale italiana utilizza la rete autostradale. In particolare, i traffici che attraversano l'arco alpino su strada utilizzano sul territorio nazionale quasi esclusivamente la rete autostradale (87%). La dimensione del traffico merci è ormai tale che nei giorni feriali esso vale oltre il 40% del traffico totale su numerose tratte.

Ogni giorno circa 5 milioni di veicoli entrano nel sistema autostradale producendo un flusso medio sulle tratte superiore ai 40.000 veicoli con punte di oltre 100.000 veicoli al giorno: si tratta dei veicoli teorici medi giornalieri ottenuti rapportando la sommatoria dei veicoli chilometro alla sommatoria delle lunghezze delle tratte. Valori molto superiori a quelli riscontrati sulle autostrade degli altri Paesi europei.

La assoluta prevalenza delle autostrade per il trasporto delle persone e delle merci può essere spiegata con la struttura degli insediamenti abitativi e industriali. Circa 28 milioni di persone (il 47% della popolazione italiana) vivono entro 10 chilometri da uno svincolo autostradale e 10 milioni di addetti (il 57% del totale nazionale) lavorano in aziende localizzate entro 10 chilometri da uno svincolo. La costruzione delle autostrade nel secondo dopoguerra ha quindi influenzato le scelte localizzative di famiglie e imprese.

L'importanza delle autostrade nella mobilità anche nel futuro è confermata dalle analisi. Il traffico sulle autostrade sarà condizionato solo limitatamente dalla crescita delle reti ad alta velocità e – in Europa – dagli obiettivi di riequilibrio modale fissati dalla UE per il traffico merci. Nel primo caso il traffico viaggiatori contendibile dal completamento della rete dell'Alta Velocità previsto dal PNRR è valutabile nel 13-15% del traffico sulle autostrade parallele alle nuove linee e al 3% del traffico totale sulla rete autostradale AISCAT. Analogamente il raggiungimento degli obiettivi europei che prevedono una quota ferroviaria del 30% entro il 2030 e del 50% entro il 2050 per spedizioni di merce oltre i 300 km comporterebbe una riduzione del traffico totale autostradale rispettivamente del 2 e del 3%.

Inoltre, anche il PIL e altri parametri macro e microeconomici che impattano sulla mobilità sono difficilmente prevedibili nel medio periodo; il contesto economico è incerto e le due crisi recenti, quella originata dalla pandemia e quella della guerra in Ucraina, evidenziano l'interdipendenza della logistica continentale. Le interruzioni nelle catene globali del valore e nei flussi di approvvigionamento si possono ripercuotere sui flussi logistici generando una variabilità nei volumi che non può essere gestita attraverso il trasporto su ferro e potrebbe essere gestita in modo più flessibile dal trasporto su gomma.

2.1 L'andamento storico del traffico di passeggeri e merci

Fin dai primi anni di esercizio, il traffico sulla rete autostradale è cresciuto. Con un ritmo particolarmente accentuato negli anni Settanta, con l'eccezione del 1974 a causa delle conseguenze della crisi petrolifera, la cosiddetta austerità. Alla fine degli anni Ottanta la mobilità ha fatto registrare una nuova accelerazione, con una rete autostradale a pedaggio consolidata su una lunghezza intorno ai 5000 km, per poi stabilizzarsi su tassi di incremento più contenuti ma sempre positivi fino al 2007. La percentuale di traffico pesante rispetto al traffico totale, pari al 18,4% nel 1970, è progressivamente cresciuta fino ai primi anni Ottanta, superando quota 24%. Ed è diminuita nel periodo successivo fino a un minimo del 21,4% nel 1987, per poi risalire nuovamente a quota 24% al 2007. La crisi economica iniziata nel 2008 ha avuto un impatto rilevante sulla mobilità. Si è aperta una fase di rallentamento del traffico, soprattutto per la componente pesante, che in periodi di stagnazione o di recessione subisce maggiormente gli effetti delle variazioni negative del PIL. Tra il 2010 e il 2013 la contrazione dei chilometri percorsi sulla rete autostradale è stata mediamente del -3,4% l'anno (Figura 2.1).

Nel biennio 2020-21 la pandemia Covid-19 ha prodotto effetti profondi su tutti i settori dell'economia nazionale.

Il traffico autostradale ha risentito pesantemente della crisi economico-sanitaria, facendo registrare con-

Le autostrade per la mobilità dei passeggeri e la logistica delle merci

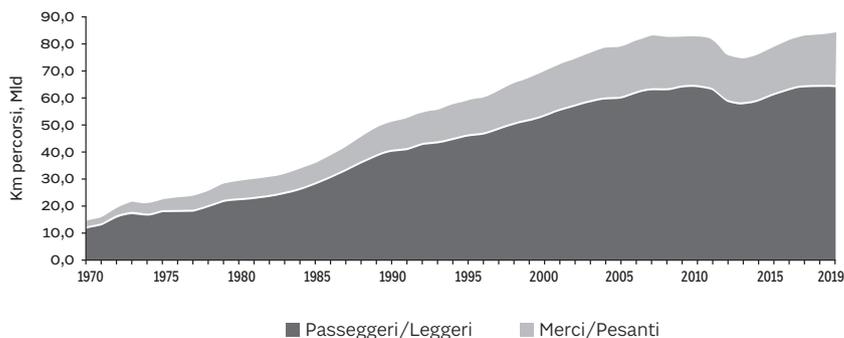


Figura 2.1 Miliardi di chilometri percorsi sulla rete nazionale a pedaggio.
Fonte: AISCAT.

trazioni senza precedenti, sia per effetto diretto delle limitazioni agli spostamenti nazionali e internazionali sia per effetto della recessione dell'economia. La sovrapposizione dei due effetti ha influito in maniera evidente sulla relazione traffico-economia, facendo registrare per la componente leggera, che subisce più direttamente gli effetti delle misure restrittive, contrazioni della mobilità amplificate rispetto a quelle del trasporto merci.

A livello annuale (Figura 2.2), a fronte della contrazione della mobilità del -27,8% registrata nel 2020 rispetto al 2019 (di cui -32,3% per la componente leggeri e -12,9% per la componente pesanti) e del parziale recupero del 2021, nel 2022 rimane ancora una parte di traffico da recuperare (totale traffico -4,9% rispetto al 2019) per effetto del traffico leggero (-6,8% rispetto al 2019); il traffico pesante invece ha recuperato pienamente (+1,3% sul 2019).

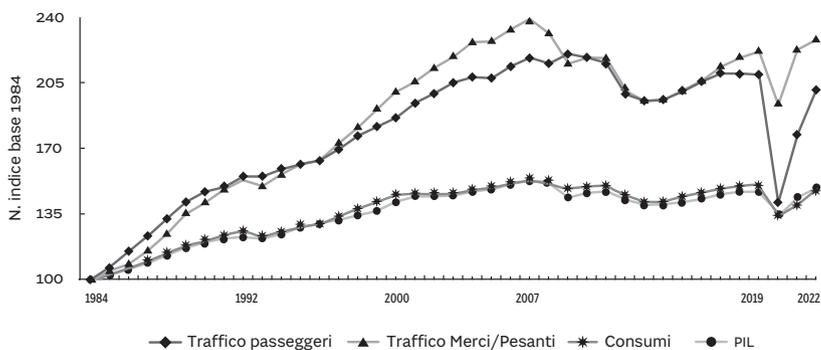


Figura 2.2 Volumi di traffico, consumi e PIL. Evoluzione anni 1984-2022.

Oggi, la rete autostradale italiana si estende globalmente per circa 7000 km, di cui circa il 90% è gestito a pedaggio e affidato in gestione a società concessionarie tramite appositi atti: le «convenzioni di concessione». Il resto è gestito direttamente da ANAS. Questa rete, che come si vedrà nel capitolo 3, è tra le più complesse e trafficate d'Europa, mantiene le tariffe a livelli che, in media, possono essere considerati tra i più bassi tra quelli applicati dai principali Stati dotati di un sistema concessorio simile a quello italiano.

Su 7000 km, circa 2000 (il 29% circa) presentano carreggiate a 3 o più corsie per direzione di marcia. I livelli di utilizzo della rete sono disomogenei per area sia per il traffico leggero sia per il traffico pesante, con un flusso sulla rete a pedaggio di 40.000 veicoli teorici medi giornalieri (Figura 2.3).

Le autostrade per la mobilità dei passeggeri e la logistica delle merci

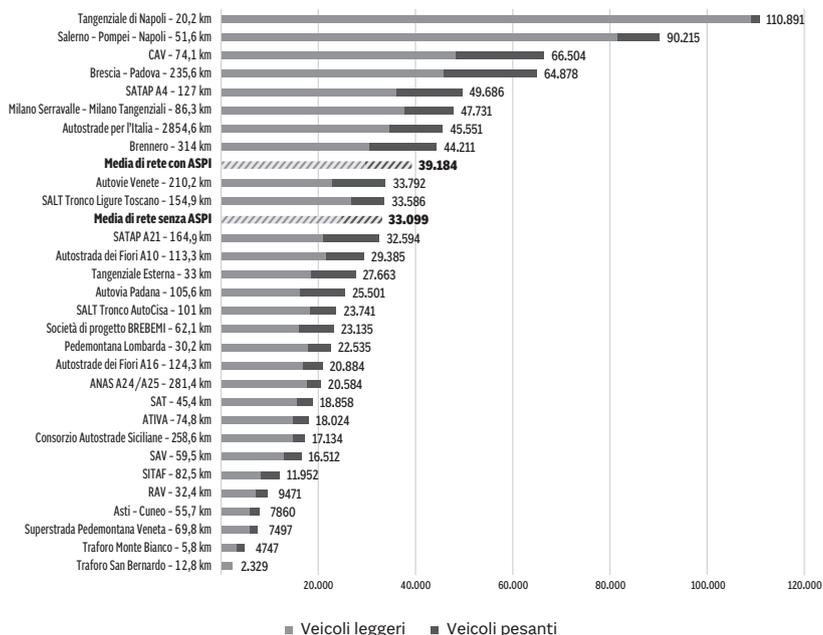
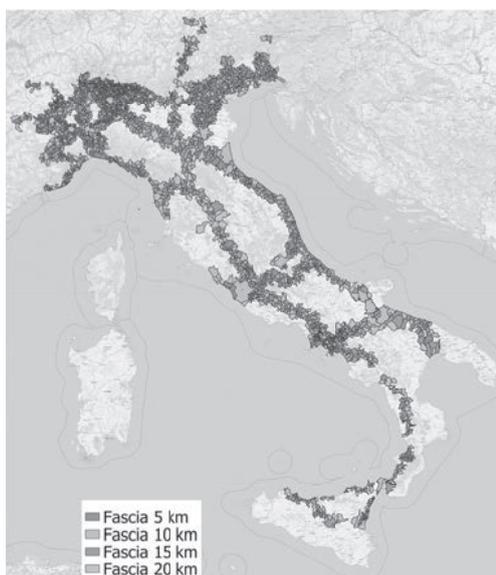


Figura 2.3 Volumi di traffico sulle tratte della rete italiana a pedaggio. Veicoli teorici medi giornalieri al 2022.

2.2 Le autostrade e il trasporto dei viaggiatori

Il ruolo centrale ricoperto dalla rete autostradale per la mobilità delle persone è in gran parte dovuto al fatto che queste infrastrutture consentono di soddisfare meglio le esigenze di mobilità dei cittadini, una via più diretta tra origine e destinazione, permettendo di risparmiare tempo per gli spostamenti con una guida meno stressante. L'autostrada è per gli italiani anche una forma di libertà associata alle gite e al turismo.

La popolazione che risiede entro i 10 km da uno svincolo di accesso alla rete autostradale è pari a circa il 47% del totale; il valore sale al 70% entro i 20 km. La popolazione italiana è concentrata lungo le principali direttrici stradali del Paese, perché evoluzioni delle reti e conurbazioni sono strettamente connesse (Figura 2.4).



| <i>Fascia</i> | <i>Popolazione</i> | <i>% su totale</i> |
|---------------|--------------------|--------------------|
| 5 km | 10.263.202 ab. | 17% |
| 10 km | 28.028.261 ab. | 47% |
| 15 km | 32.901.964 ab. | 61% |
| 20 km | 40.917.101 ab. | 69% |

Figura 2.4 Distribuzione della popolazione per fasce di distanza dagli svincoli autostradali italiani.

Le sole autostrade trasportano circa 154 miliardi di passeggeri chilometro pari al 18,8% del totale, a fronte del solo 3% della estensione della rete rispetto a quella di tutte le strade italiane. Molto significativo, e meno visibile, il ruolo delle autostrade per il trasporto collettivo con autobus: nel 2019 circa il 23% delle persone che utilizzavano la sola rete di Autostrade per l'Italia erano passeggeri di bus, per un totale di 23 miliardi di passeggeri chilometro, paragonabile ai passeggeri che usano l'Alta Velocità. Le autostrade italiane servono il 30% della domanda di trasporto delle merci su strada del Paese. Si stima che nel 2019 la domanda di mobilità di merci in Italia abbia raggiunto un totale di 579 miliardi di tonnellate chilometro. Le sole autostrade trasportano circa 180 miliardi di tonnellate chilometro (Figura 2.5).

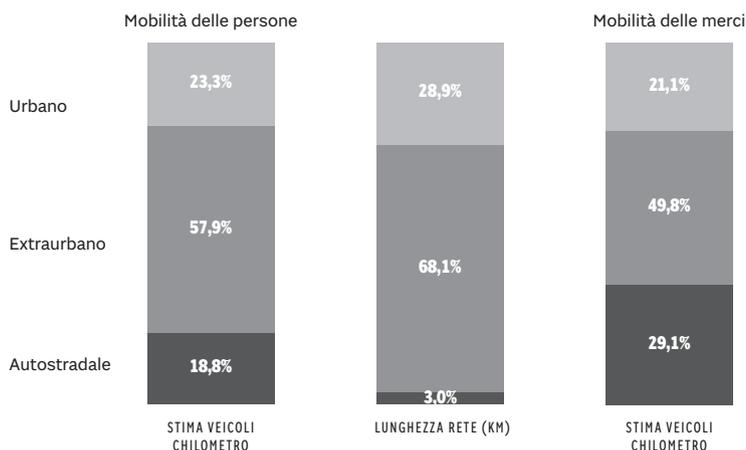


Figura 2.5 Confronto stima veicoli chilometro totali vs lunghezza rete stradale (2019). Mobilità delle persone e delle merci (Italia).

Al fine di quantificare il traffico autostradale potenzialmente contendibile a seguito del potenziamento e della velocizzazione della rete ferroviaria di rilevanza nazionale che, al 2030, dovrebbe in larga parte raggiungere prestazioni ad alta velocità (AV) o ad alta velocità di rete (AVR) grazie agli investimenti in corso e programmati, sono state individuate le principali autostrade che potrebbero essere in competizione così da stimarne il mercato contendibile (ovvero quello potenzialmente deviabile dalla gomma al ferro).

Per fare ciò sono state applicate congiuntamente due metodologie distinte:

- stima della percentuale di domanda autostradale deviata sui servizi AV attualmente in esercizio (ad esempio dall'A1 Milano-Napoli);¹
- analisi della domanda veicolare attuale casello-casello sulle tratte autostradali potenzialmente in competizione con i nuovi servizi AV/AVR oggetto di investimento (ad esempio passeggeri chilometro sulla relazione origine-destinazione Napoli-Bari).² (Figura 2.6.)

Nello specifico, da un lato è stata quantificata l'aliquota di domanda deviata dalla strada su servizi AV sulla base delle risultanze osservate per le tratte già in esercizio, ad esempio la Milano-Napoli dopo l'apertura della AV; dall'altro, a partire dalla domanda autostradale (in passeggeri chilometro) sulle tratte in diretta competizione con gli investimenti AV/AVR in corso (ad esempio,

per i traffici della OD da Milano a Bari sono stati considerati i soli passeggeri chilometro sulla sola tratta Bologna-Bari oggetto di investimento), è stato ipotizzato che tutti possano utilizzare la ferrovia, al fine di caratterizzare il «mercato contendibile», ovvero il bacino attuale potenzialmente interessato da nuovi servizi ferroviari di media e lunga percorrenza.

L'applicazione delle due metodologie ha portato al medesimo risultato: il 13-15% del traffico di veicoli leggeri (in passeggeri chilometro) sulle autostrade che sarebbe in diretta competizione è potenzialmente deviabile su servizi ferroviari dell'Alta Velocità. È un valore pari al 3% del traffico passeggeri totale sulla sola rete autostradale AISCAT. Una percentuale non trascurabile, ma in prospettiva inferiore alla crescita del traffico autostradale che si attende per il prossimo decennio. C'è un caso storico interessante, l'apertura dell'Alta Velocità ferroviaria nella tratta Milano-Napoli, avvenuta nel 2009. Dal 2009 al 2019 il traffico dei veicoli leggeri sulla A1 Milano-Napoli ha mostrato una crescita superiore al resto della rete ASPI nonostante la presenza della linea ferroviaria dell'Alta Velocità e l'enorme crescita del traffico ferroviario, a dimostrazione che la domanda contendibile è una frazione ridotta del totale e la maggior parte della domanda AV è una domanda di nuovi spostamenti generata dalla nuova possibilità di trasporto veloce (Figura 2.6).



Figura 2.6 Principali interventi prioritari per lo sviluppo dei servizi ferroviari nazionali al 2030 e tratte autostradali in potenziale competizione. La figura non comprende gli adeguamenti, i potenziamenti, gli ammodernamenti e le elettrificazioni. Fonte: studio svolto da Università Vanvitelli.

2.3 Le autostrade e le merci

La rete autostradale italiana rappresenta l'ossatura portante del sistema produttivo e dei consumi nazionali (*Mobilità e logistica sostenibili*, MIMS, 2022): basti pensare che circa il 60% degli addetti alla manifattura sul territorio nazionale si trova entro i 10 km dal casello autostradale più vicino (Figura 2.7), e percentuali simili si osservano anche per gli addetti ai settori trasporti e magazzinaggio e per gli addetti totali. Le percentuali salgono all'80% per un raggio di 20 km.

| Distanza, km | Addetti, milioni | | | | | |
|---------------|------------------|-------------|-----------|-------------|--------|-------------|
| | Manifattura | % su Italia | Trasporti | % su Italia | Totali | % su Italia |
| 5 | 1,1 | 29% | 0,4 | 35% | 5,4 | 31% |
| 10 | 2,1 | 57% | 0,7 | 62% | 10,0 | 58% |
| 15 | 2,7 | 72% | 0,8 | 73% | 12,2 | 70% |
| 20 | 3,0 | 81% | 0,9 | 79% | 13,5 | 78% |
| Totale Italia | 3,7 | 100% | 1,1 | 100% | 17,3 | 100% |

Figura 2.7 Distribuzione in Italia degli addetti alla manifattura, ai trasporti e magazzinaggio rispetto alla distanza dal casello autostradale più vicino. Fonte: elaborazione su dati ISTAT (2018).

Il ruolo delle autostrade per il traffico merci è ancora rappresentato nella Figura 2.5. Le autostrade che sono solo il 3% dell'estensione della rete stradale italiana trasportano circa il 30% del traffico merci.

È anche importante sottolineare che la maggioranza delle merci esportate viene trasportata su strada o via

mare (rispettivamente il 43,7% e il 42%), con la quota del trasporto stradale in leggera crescita negli ultimi anni. La quota di merce esportata attraverso ferrovia rimane invece stabile con un valore intorno al 14%. Il contributo della rete autostradale ai traffici di import/export è molto più significativo di quello svolto per i traffici nazionali, in quanto per gli scambi internazionali vengono utilizzate prevalentemente le autostrade rispetto alle altre strade. Il traffico internazionale, infatti, produce un carico totale sulla rete stradale italiana di circa 37 miliardi di tonnellate chilometro (2019), di cui ben l'87% sulla rete autostradale, pari a circa 32,25 miliardi di tonnellate chilometro che rappresentano quasi il 18% del totale della rete autostradale nazionale. Pertanto, quasi una tonnellata chilometro su cinque in viaggio sulle autostrade italiane è a servizio dell'import/export nazionale.

Per fare un confronto, su ferrovia viaggiano 21 miliardi di tonnellate chilometro e su autostrada 180 miliardi di tonnellate chilometro.

Gli obiettivi UE prevedono il trasferimento sulla ferrovia del 30% del trasporto merci su distanze superiori a 300 km che oggi avviene su gomma entro il 2030 e del 50% entro il 2050. Ciò implicherebbe (nell'ipotesi che questo traffico sia sottratto alla sola rete autostradale) una diversione modale complessiva prossima a 14,5 miliardi di tonnellate chilometro al 2030 e a circa 24 miliardi di tonnellate chilometro al 2050; questi valori, rispettivamente l'8% e il 13% del traffico merci autostradale, corrispondono, se guardiamo al 2050, a più del doppio dei traffici ferroviari rispetto ai valori del 2019.

Il trasporto merci su strada e autostrada è molto probabilmente destinato a crescere ulteriormente nei prossimi anni. Analizzando l'andamento del valore dei servizi di logistica conto terzi dal 2009 a oggi, è possibile osservare un'importante crescita del fatturato delle aziende fornitrici di servizi logistici, che ha sfiorato i 100 miliardi di euro nel 2021 (+40,2% rispetto al 2009). Le aziende di autotrasporto (Figura 2.8) hanno mostrato una crescita rilevante del fatturato (+24,9% dal 2009 e

| <i>Classificazione</i> | 2009 | ... | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---|--------|-----|--------|--------|--------|--------|
| Autotrasportatori organizzati in società di capitali | 22.666 | ... | 26.301 | 27.454 | 26.115 | 29.339 |
| Autotrasportatori organizzati in società non di capitali | 13.616 | ... | 15.653 | 14.794 | 14.636 | 15.972 |
| Corrieri/corrieri espresso | 4725 | ... | 6757 | 7791 | 8348 | 9336 |
| Gestori di interporti/terminal intermodali | 694 | ... | 654 | 635 | 522 | 543 |
| Gestori di magazzino | 7366 | ... | 7998 | 8197 | 7947 | 8449 |
| Operatori del trasporto ferroviario e combinato strada-rotaia | 889 | ... | 1437 | 1564 | 7862 | 2014 |
| Operatori logistici | 8116 | ... | 10.775 | 10.989 | 10.886 | 12.636 |
| Spedizionieri | 13.170 | ... | 15.199 | 15.566 | 15.160 | 21.580 |
| TOTALE | 71.242 | ... | 84.774 | 86.990 | 85.475 | 99.868 |

Figura 2.8 L'andamento del fatturato (in milioni di euro) della Contract Logistic per categoria di operatore. Fonte: Osservatorio Contract Logistics Gino Marchet del Politecnico di Milano, 2023.

+11,2% nel 2021) e i corrieri hanno quasi raddoppiato il fatturato nei dodici anni considerati (+97,6%), con una crescita dell'11,8% nel solo 2021.

Le ragioni della crescita di questo mercato vanno ricercate da una parte nell'aumento del costo dei fattori produttivi, dall'altra nell'incremento dei volumi. Un importante fattore di crescita dei volumi è lo sviluppo dell'eCommerce B2c (Figura 2.9), che ha ricevuto una grande spinta dalle restrizioni imposte durante le fasi più critiche della pandemia, mantenendo una crescita nei due anni successivi.

Allo sviluppo del canale di vendita online, si aggiunge il rimbalzo dell'export e della produzione industriale a cominciare dalla seconda parte del 2020, cresciuti a ritmi più sostenuti rispetto agli anni prepandemia.

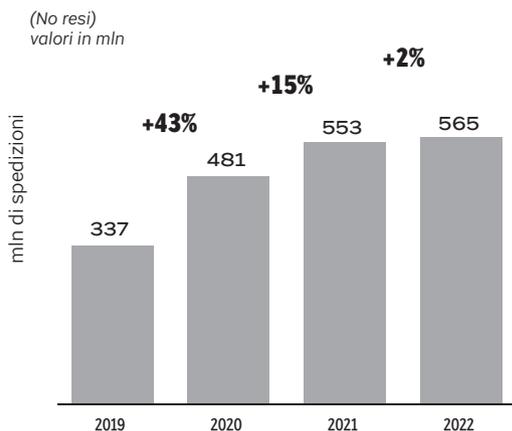


Figura 2.9 L'andamento delle spedizioni eCommerce B2c in Italia. Fonte: Osservatorio eCommerce B2c del Politecnico di Milano, 2022.

Limiti e peculiarità delle autostrade italiane

Le autostrade italiane compiono 100 anni. Nel 1924 Vittorio Emanuele III inaugurava i primi 40 chilometri della Milano-Laghi, nel 1929 seguiva la Napoli-Pompei. Il mondo del trasporto automobilistico allora era completamente diverso da quello attuale. In tutta Italia circolavano solo 50.000 automobili a fronte dei circa 40 milioni di oggi. La maggior parte della rete è stata realizzata fra il 1960 e il 1980 grazie a una serie di intuizioni innovative per l'epoca. In quei 20 anni si sono realizzati circa 5000 km per raggiungere un totale di 6000 km. Nei 40 anni successivi la rete è cresciuta poco, fino ai 7000 km attuali oltre all'aumento delle tratte a tre corsie per senso di marcia. Nello stesso periodo il traffico è aumentato di oltre il 200%.

Le nostre autostrade hanno delle peculiarità che le rendono completamente diverse da quelle degli altri grandi Paesi europei. Innanzitutto, sono le più anziane. Alla fine degli anni Settanta, l'85% delle attuali autostrade italiane erano già state costruite, contro il 33% di quelle francesi e il 12% di quelle spagnole. In secondo luogo, le nostre

autostrade presentano caratteristiche geomorfologiche uniche. Hanno un numero di ponti quattro volte superiore alla media continentale: 1200 km di ponti a fronte dei 360 km della Germania e i 320 della Spagna. 500 km di gallerie, pari alla metà (!) di tutte le gallerie autostradali d'Europa. Effetti di un territorio complesso (solo il 23% dell'Italia è pianeggiante) ed esposto a diffusi fenomeni di dissesto. Il 50% delle frane censite in Europa si verificano in Italia. Le autostrade italiane sono utilizzate più delle altre. Un traffico giornaliero medio di 40.000 veicoli su ciascuna tratta a fronte dei 27.000 della Francia e dei 17.000 della Spagna. La fragilità intrinseca delle autostrade italiane, soprattutto in alcune parti del territorio, si combina con livelli di traffico molto elevati. La capacità di affrontare eventi previsti (cantieri) e imprevisi (incidenti, eventi meteo estremi) e l'anzianità delle opere sono fattori condizionanti. Se si verificasse una totale indisponibilità di alcune tratte autostradali nevralgiche (aree di Firenze, Bologna, Genova, dove in parte è accaduto), l'impatto potenziale produrrebbe effetti sugli indicatori macroeconomici: PIL, fatturato delle imprese, valore aggiunto manifatturiero, occupazione e turismo.

La frequenza e l'intensità degli eventi climatici estremi pongono tutte le infrastrutture – le autostrade in particolare – di fronte a nuovi problemi che non sono ancora recepiti né da una strategia generale né dalle norme. L'aumento delle temperature globali atteso nei prossimi decenni richiede sistemi di monitoraggio, gestione e adattamento strutturale delle autostrade e delle aree limitrofe oggi ancora in fase di studio.

Il tragico crollo del ponte Morandi a Genova ci ha traumaticamente posto il problema di un diverso approccio alla sicurezza infrastrutturale, di una nuova modalità di rilievo e di gestione del rischio. Centinaia di viadotti e gallerie necessitano di un costante monitoraggio e di una impegnativa manutenzione rigenerativa, per estenderne la vita utile per i prossimi decenni. Servono sostituzioni di travi e di giunti e rinforzi delle pile da ponte. Interventi molto complessi se effettuati in presenza di traffico, e non è immaginabile la chiusura totale di un tronco autostradale per settimane o mesi. La conseguenza per evitare eccessi di code e ritardi che dipendano dai cantieri è un ripensamento della programmazione e l'industrializzazione delle attività di manutenzione.

Per alcune tratte senza alternative di percorso, non è possibile intervenire sulle infrastrutture attuali senza ritardi e code che possono penalizzare moltissimo i territori serviti. Sono quindi necessari interventi di potenziamento della rete che consentano di eseguire i lavori di manutenzione rigenerativa in un secondo momento: appartengono a questa categoria interventi come la Gronda di Genova, il Passante di Bologna e l'ampliamento di molte tratte a tre e quattro corsie in Toscana e in Emilia-Romagna.

Gli interventi di potenziamento e manutenzione rigenerativa necessari per garantire la funzionalità della rete autostradale nei prossimi anni richiedono notevoli risorse, il cui ammontare, a oggi, non è compiutamente definibile con precisione, anche a causa dei profondi

mutamenti del contesto macroeconomico e normativo di riferimento. Tuttavia, rispetto a un valore di sostituzione complessivo di un asset di oltre 6000 km di rete, stimabile in circa 1200 miliardi di euro, si tratterebbe di investire soltanto qualche punto percentuale. La realizzazione di investimenti infrastrutturali di questa portata sarebbe peraltro in grado di generare benefici economici diretti, indiretti e indotti tali che per ogni euro investito in infrastrutture se ne potrebbero generale altri due.

Anche altri Paesi si stanno ponendo gli stessi problemi. Gli Stati Uniti hanno una rete di strade di interesse federale, le Interstate Highways, anche più vetusta di quella italiana, e da dieci anni hanno avviato un gigantesco programma di ammodernamento da 700 miliardi di dollari. Altri, come la Germania, stanno iniziando a porsi il tema della vetustà delle proprie infrastrutture e degli impatti sulla resilienza del Paese

3.1 La storia delle autostrade italiane

La prima autostrada a pedaggio risale ai primi anni Venti (Figura 3.1), quando Piero Puricelli, ingegnere lombardo, fonda la Società Anonima Autostrade con l'obiettivo di costruire una strada modernissima diretta e senza innesti per collegare Milano, Varese e Como. Sarà l'autostrada dei Laghi.

A partire da quei 45,3 chilometri di rete stradale veloce della Milano-Laghi cominciano a essere progettati e

Limiti e peculiarità delle autostrade italiane



Figura 3.1 La storia del sistema autostradale italiano.

realizzati i principali rami portanti di quella che è ancora oggi la rete italiana. Nel 1935 la lunghezza della rete arriva a 500 km. Bisognerà aspettare il dopoguerra per la ripresa di un progetto nazionale. Nel 1955 il Parlamento approva la legge n. 463 (legge Romita) con il piano di sviluppo strategico. I lavori per l'autostrada del Sole da Milano a Napoli sono avviati nel maggio del 1956 e si concludono alla fine del 1964. Negli stessi anni le autostrade esistenti, a carreggiata unica, vengono ampliate e vengono stipulate dall'ANAS nuove convenzioni di con-

cessione per la realizzazione delle altre tratte inserite nel programma autostradale. Il 1965 fu un anno importante: risultavano in corso di costruzione più di 1000 chilometri di nuove tratte autostradali e quasi 400 chilometri sulla Salerno-Reggio Calabria e sulla Palermo-Catania da parte dell'ANAS. Il 15 luglio fu inaugurato il traforo del monte Bianco. Nel 1975, dopo la crisi energetica, l'Italia promulgò una legge di blocco della costruzione di nuove autostrade (legge 492/75) abrogata solo nel 2001. Su una rete costruita essenzialmente negli anni Sessanta e Settanta (5900 km degli attuali 7000) si è scaricato nel tempo un sempre crescente volume di traffico. A causa del blocco, durato venticinque anni, la rete autostradale italiana ha raggiunto un livello di saturazione sulle tratte principali ben superiore al resto d'Europa.

L'evoluzione della rete autostradale italiana è riportata in Figura 3.2.

La storia della costruzione della rete autostradale italiana ha implicazioni tecniche non trascurabili: il pano-



Figura 3.2 Evoluzione della rete autostradale italiana.

rama delle infrastrutture presenta materiali e tecniche di costruzione innovative per l'epoca di realizzazione, da cui si evince che lo sforzo di estensione geografica si è sviluppato fino alla fine degli anni Settanta, con la realizzazione di circa 5900 km degli attuali 7000, mentre nei decenni successivi si sono realizzate prevalentemente espansioni della capacità di trasporto con la costruzione di terze e quarte corsie per circa 2000 km.

Una sintesi schematica dell'età delle arterie della rete a pedaggio viene riportata in Figura 3.3.

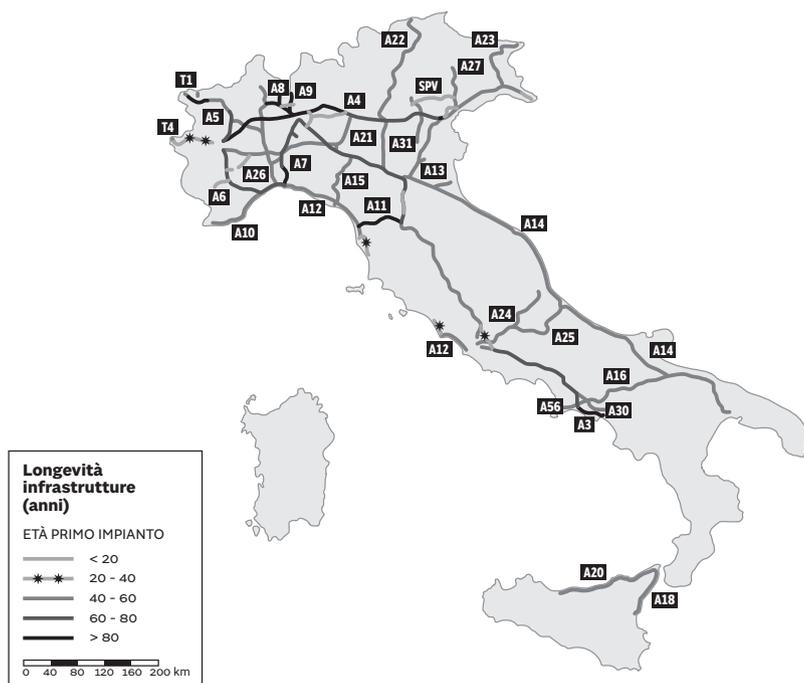


Figura 3.3 L'età delle autostrade della rete autostradale a pedaggio.

La storia della costruzione della rete autostradale italiana ha implicazioni tecniche non trascurabili: il panorama delle infrastrutture presenta materiali e tecniche di costruzione innovative per l'epoca di realizzazione. Per esempio, l'utilizzo della tecnologia del cemento armato precompresso permetteva di ricoprire ponti con luci maggiori rispetto a quanto possibile con il cemento armato ordinario. La stagione della costruzione delle autostrade nel dopoguerra ha anche lasciato opere che hanno dato lustro all'ingegneria strutturale italiana degli anni Sessanta, con soluzioni mai adottate fino a quel momento, come testimoniano i ponti che si susseguono lungo il vecchio percorso dell'A1, la cosiddetta panoramica, per superare una morfologia difficile come quella che separava il Nord dal Sud, Milano da Napoli.

I viadotti Poggettone e Pecora Vecchia, progettati da Arrigo Carè e Giorgio Giannelli, con le loro arcate a telaio (Figura 3.4), il ponte sul torrente Aglio, opera di Guido Oberti, realizzato con un arco unico in cemento armato ordinario di 164 metri di luce (Figura 3.5), il viadotto Romita, progettato da Silvano Zorzi, che per rispettare il vincolo di non posizionare appoggi nel sottostante bacino idroelettrico scelse una soluzione ad arco tricuspide in cemento armato ordinario (Figura 3.6) sono solo alcune delle opere che spiccano per eleganza e importanza lungo questo tracciato.

La sfida oggi è quella di conciliare le indispensabili esigenze di ammodernamento di una rete vecchia con la salvaguardia di un patrimonio infrastrutturale di indiscussa rilevanza: è una sfida che deve puntare, come nel dopo-

Limiti e peculiarità delle autostrade italiane



Figura 3.4 Viadotto Poggettone e Pecora Vecchia, Arrigo Carè e Giorgio Giannelli.



Figura 3.5 Viadotto sull'Aglio, Guido Oberti.

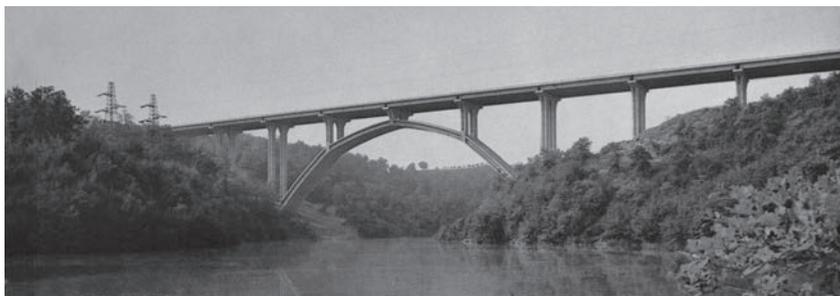


Figura 3.6 Viadotto Romita, Silvano Zorzi.

guerra, alla massima sicurezza, all'eccellenza ingegneristica, all'innovazione tecnologica e alla professionalità delle imprese.

3.2 Le autostrade più vecchie, complesse e trafficate d'Europa

L'invecchiamento delle infrastrutture stradali e autostradali inizia solo recentemente a entrare nei dibattiti comunitari, e solo negli ultimi anni in Italia il concetto di resilienza delle infrastrutture è diventato argomento di interesse della comunità scientifica e tecnica, insieme al dibattito sull'imminente fine del ciclo di vita delle infrastrutture realizzate nel dopoguerra. La nostra rete stradale costruita negli anni del boom economico (Figura 3.7) è stata progettata senza avere chiaro l'orizzonte temporale. Nel frattempo, carichi, resistenze, materiali e tipologie costruttive nel tempo si sono evoluti.

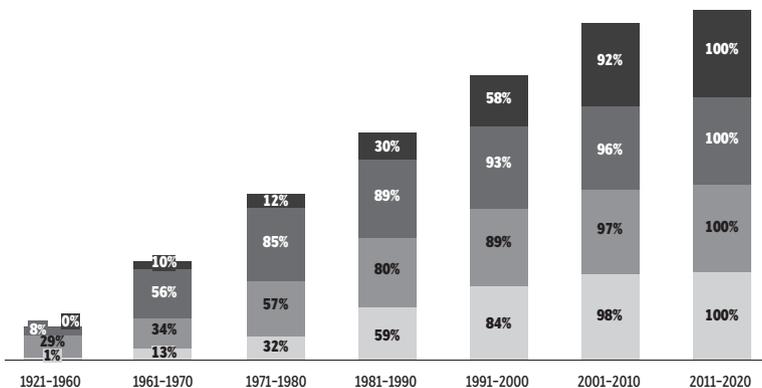


Figura 3.7 Periodo di costruzione delle autostrade europee.

Alla fine degli anni Settanta in Italia era in funzione l'85% dell'attuale rete autostradale, in Germania il 57%, in Francia il 32%, in Spagna il 12%. Il sistema autostradale italiano è, per estensione chilometrica, il quarto in Europa dopo Spagna, Germania e Francia, che hanno una maggiore superficie territoriale (Figura 3.8). Se si rapporta l'estensione di rete autostradale alla superficie, l'Italia è seconda dopo la Germania.

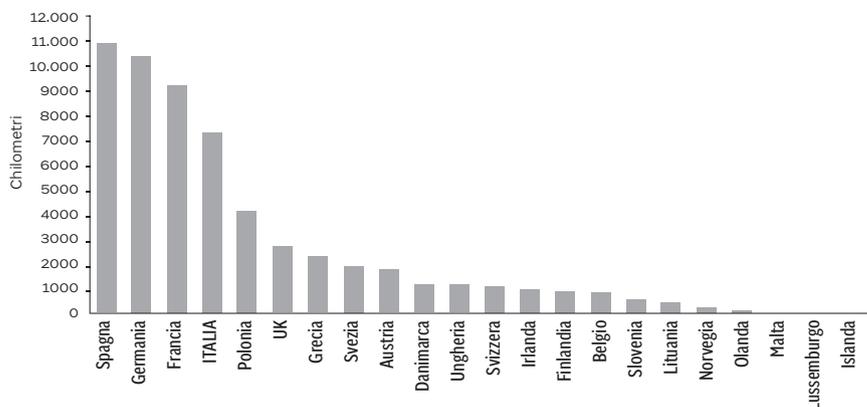


Figura 3.8 Estensione della rete autostradale a livello europeo (TEN-T).

La rete italiana è di gran lunga la prima per complessità orografica. Pertanto, l'Italia è il Paese con il maggior numero di chilometri di ponti autostradali (1200 km), seguita a grande distanza da Germania (260 km) e Spagna (229 km), e con il 50% (500 km) delle gallerie europee. In Italia, su 7000 km di rete, poco meno di 2000 sono costituiti da «opere d'arte», tunnel e gallerie, secondo il linguaggio tecnico che ben rappresenta le sfide che le caratterizzano (Figura 3.9 e Figura 3.10).

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade

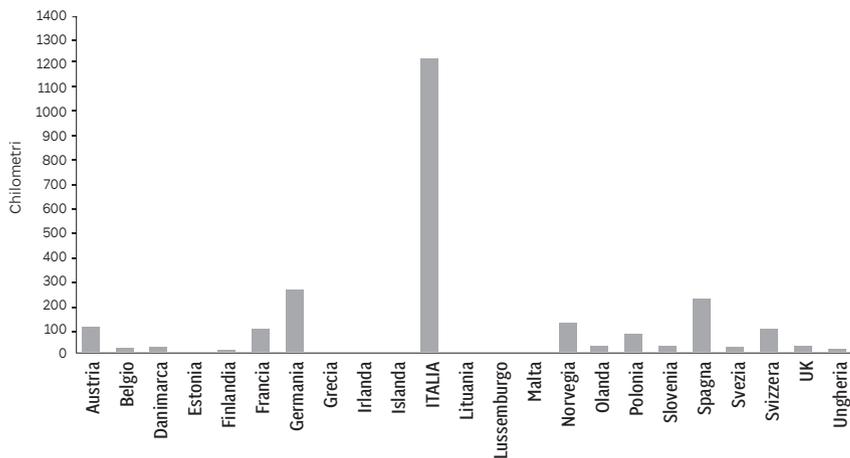


Figura 3.9 Lunghezza totale dei ponti a livello europeo (Autostrade - Rete TEN-T).

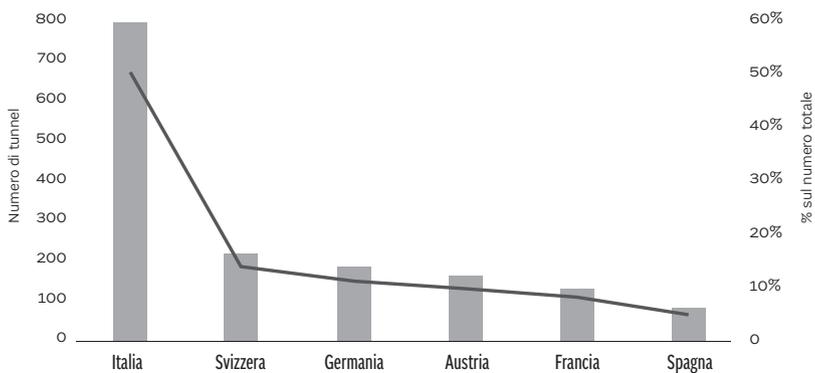


Figura 3.10 I tunnel autostradali nei Paesi europei.

Alle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio italiano, che è per il 75% montano-collinare, si aggiunge la complessità connessa ai fenomeni franosi. Delle circa 900.000 frane censite nelle banche dati europee, i 2/3 sono registrate in Italia per un'area di quasi 24.000 km², cioè il 7,9% del territorio nazionale.

Nel confronto internazionale, emerge con chiarezza anche il diverso grado di utilizzo e il diverso ruolo delle autostrade all'interno dei sistemi di trasporto e logistica di ciascun Paese. Ogni giorno in Italia circa 40.000 veicoli percorrono in media ogni chilometro di rete contro i 30.000 della Francia e i 20.000 della Spagna. Il dato delle merci è ancora più netto: in Italia transitano in media 10.000 autocarri al giorno su ciascun tratto, contro i 3000 della Francia e i 1000 della Germania. Complessivamente i volumi autostradali italiani superano del 65% il valore medio degli altri Paesi (Figura 3.11).

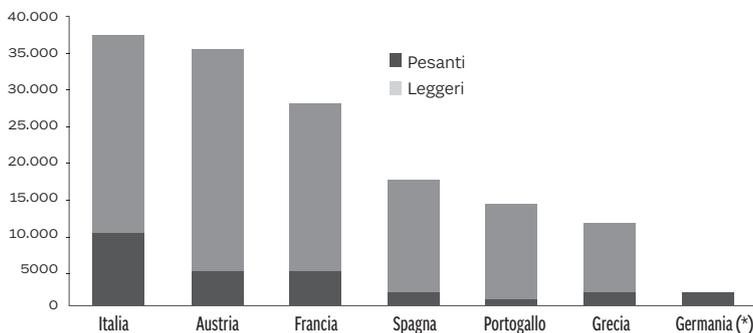


Figura 3.11. Transiti giornalieri medi per chilometro di rete. Confronto Paesi europei. (*) Per la Germania è disponibile solo il dato di traffico dei veicoli pesanti.

3.3 *Una rete satura*

Le previsioni di traffico all'epoca della realizzazione del corpo principale della rete sono state ampiamente superate dalla realtà.

La Figura 3.12 mostra un'analisi delle prestazioni della rete autostradale a pedaggio in un'ora di punta di un giorno feriale medio. Il livello di congestione è misurato dal rapporto flusso di traffico/capacità di deflusso e dal cosiddetto Livello di servizio.

Dalle analisi svolte sulle condizioni di deflusso si arrivano a stimare numerosi anni persi ogni giorno dall'insieme dei veicoli in transito e di conseguenza qualche decina di secoli ogni anno, a cui corrisponde un valore economico perso dalla collettività pari a centinaia di milioni di euro.

Se nelle giornate feriali e prefestive sono le tratte di approccio e attraversamento dei contesti metropolitani a presentare i maggiori livelli di saturazione, durante i giorni festivi e gli esodi estivi la congestione si verifica anche al Centro e al Sud Italia dando evidenza dell'elevata stagionalità del traffico su tali assi.

Le condizioni di saturazione hanno delle conseguenze dirette: tempo perduto, come abbiamo visto, stress di guida e più alto numero di incidenti, maggiore emissione di sostanze inquinanti. Tenendo conto che il contributo del completamento della rete ferroviaria di alta velocità e merci ridurrà limitatamente il traffico autostradale, gli investimenti previsti dalle concessionarie autostradali sono indispensabili.

Limiti e peculiarità delle autostrade italiane



Figura 3.12 Livelli di servizio della rete autostradale a pedaggio nell'ora di punta del giorno medio.

Tra i circa 400 km di nuove autostrade, ritroviamo la Gronda di Genova, la Cispadana, la Asti-Cuneo, la Pedemontana Lombarda, la Pedemontana Veneta, il Passante di Bologna, il tratto autostradale tra Parma e Nogarole Rocca. Inoltre, sono previsti più di 600 km di potenziamenti, tra cui gli ampliamenti alla terza e alla quarta corsia delle principali direttrici di penetrazione urbana.

3.4 La resilienza di una rete vulnerabile

Il tema della resilienza delle infrastrutture è, e sarà sempre più, al centro delle politiche e delle pratiche dei gestori dei trasporti e della ricerca; come è evidenziato nel documento *Moveo Mobilità e logistica sostenibili. Analisi e indirizzi strategici per il futuro*, pubblicato nel 2022 dal MIT, questo comporta un significativo cambio di paradigma, ad esempio per la gestione e manutenzione delle reti di trasporto e della logistica del Paese.

La fragilità intrinseca delle autostrade italiane, soprattutto in alcune parti del territorio, si combina con traffici elevati mettendo a rischio la resilienza del sistema dei trasporti nazionale, ossia la capacità di affrontare eventi previsti (cantieri) e imprevisi (incidenti, eventi meteo estremi) collegati alla vetustà delle opere e agli effetti del cambiamento climatico.

Da questo punto di vista, peraltro, le cronache recenti dimostrano come la fragilità del nostro sistema di trasporto nazionale possa essere anche amplificata, e a sua

volta amplificare, le conseguenze di eventi che avvengono al di fuori dei confini nazionali. Lo stop alla circolazione sull'autostrada del Frejus, a seguito della frana nella Maurienne, ha avuto ripercussioni notevoli anche per il traforo del monte Bianco, su cui si sono riversate migliaia di camion e autobus, saturandolo e creando code lunghissime. Allo stesso modo, la previsione di prossimi lavori di risanamento di un'importante arteria per i traffici alpini delle merci (il viadotto Lueg, lungo circa 2 km, in Austria) fa temere un forte impatto sul traffico lungo l'asse del Brennero da entrambi i lati del confine.

Situazioni che hanno richiesto e richiederanno una costante cooperazione internazionale per la gestione delle infrastrutture, e la programmazione degli interventi, al fine di evitare la paralisi dei transiti frontalieri.

Tornando alla rete autostradale del Paese, la situazione dell'infrastruttura autostradale italiana presenta maggiori elementi di attenzione. Oltre a essere caratterizzata da una «vulnerabilità strutturale» intrinseca e superiore alla media degli altri Paesi, la rete italiana presenta un gradiente di «strategicità trasportistica» molto differenziato, con livelli di traffico elevatissimi su alcuni assi e situazioni complesse concentrate in aree specifiche del territorio.

La vulnerabilità strutturale della rete autostradale del Paese è stata stimata in base a:

- l'età di prima apertura della tratta autostradale, quale misura dello stato di conservazione e dell'incidenza di specifiche tecnologie realizzative data-

te nel tempo (ad esempio precompressione a cavi post-tesi e assenza di impermeabilizzazione in galleria);

- l'incidenza in chilometri di viadotti e gallerie, quale misura delle complessità delle attività di gestione e di ammodernamento della rete;
- il grado di sismicità;
- l'orografia, quale peso nell'analisi della maggiore probabilità di incidenza di fenomeni acceleratori di processi di degrado (ad esempio neve ed esposizione a cloruri);
- il livello di strategicità trasportistica, intesa come una misura dell'importanza della singola tratta autostradale all'interno della rete complessiva e del potenziale impatto generato dalla cantierizzazione di opere su di essa, e stimata sulla base di:
 - traffico medio giornaliero;
 - accessibilità, espressa in termini di densità di svincoli;
 - ambito antropico (ad esempio assi di penetrazione ai contesti metropolitani);
 - connettività (ad esempio connessioni territoriali in contesti in cui l'infrastruttura svolge un ruolo predominante per la mobilità e lo sviluppo).

I due aspetti di vulnerabilità infrastrutturale e strategicità trasportistica sono stati poi valutati in modo integrato al fine di giungere a un indice integrato di complessità e necessità di rigenerazione sostenibile delle singole autostrade.

La valorizzazione dell'indice, rappresentata in Figura 3.13, mostra una significativa eterogeneità tra concessioni e tratte, che identifica priorità chiare e implica sforzi di intervento (manutenzione, ammodernamento e potenziamento) e impatti viabilistici molto differenziati in funzione della complessità gestionale di ogni specifica tratta.

I risultati ottenuti rivestono particolare interesse, in particolare vengono restituiti indici di tutta attenzione per alcune tratte, quali ad esempio il nodo ligure.

Inoltre, questa vulnerabilità ha un potenziale effetto anche a livello economico: attraverso la definizione di un modello econometrico ad hoc, sono stati stimati i possibili impatti derivanti da uno shock di rottura sistemica dell'infrastruttura autostradale; si intende la totale indisponibilità di interi tratti autostradali in entrambe le direzioni di marcia, calcolando anche gli effetti su tutti i principali indicatori macroeconomici: PIL, fatturato delle imprese, valore aggiunto manifatturiero, occupazione e turismo. Si è stimato che, in caso di indisponibilità di tratte nevralgiche per il Paese, si potrebbero avere delle ripercussioni comprese in una forchetta tra gli 8 e i 14 miliardi di euro (0,5-0,8% del PIL nazionale), con un impatto anche sui movimenti turistici compreso tra circa 2 e 4 miliardi di euro, calcolato sul primo giorno di interruzione dei flussi di traffico sull'infrastruttura.



Figura 3.13 Indice integrato di rigenerazione sostenibile della rete autostradale.

3.5 *Impatto dei cambiamenti climatici*

Senza entrare nella discussione sulla portata dei cambiamenti climatici e sull'influenza dell'attività umana su di essi, diamo per assunto che gli effetti esemplificati dall'aumento della temperatura globale diventino progressivamente sempre più evidenti, soprattutto nelle ipotesi di emissione medio-alta di gas serra.

A oggi, visto l'impegno generale di contenimento delle emissioni, gli scenari più severi appaiono improbabili; tuttavia, fino al 2040, l'aumento della temperatura resta significativo. Ciò comporta che, a prescindere dalle scelte politiche ed economiche che prevarranno sul pianeta, i prossimi venti anni vedranno un aumento della temperatura significativo e un misurabile e chiaro cambiamento dei parametri climatici. Dal rapporto *Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità* (ministero delle Infrastrutture e dei trasporti, 2022) emerge che: «La decarbonizzazione di infrastrutture e trasporti non sarà in grado di azzerare il danno che si prevede sarà causato dai cambiamenti climatici in corso. Sarà necessario affrontare quindi in modo preventivo la necessità di tutelare infrastrutture, logistica, mobilità, trasporti di merci e persone, forniture elettriche e idriche dai rischi che origineranno da un aumento delle temperature medie globali di almeno un altro mezzo grado entro il 2040-2050».

Eventi meteorologici estremi e mutate condizioni climatiche hanno un particolare impatto sull'infrastruttura del trasporto stradale. I danni vanno dalle deformazioni causate dalle alte temperature sulle pavimentazioni, alla

tenuta dei giunti dei ponti. Piene e inondazioni possono provocare problemi di scalzamento delle fondazioni dei ponti (è la prima causa di cedimento dei ponti negli Stati Uniti), frane e smottamenti nei suoli delle fondazioni. Venti estremi possono sradicare alberi, abbattere cartelli stradali, coperture di fabbricati e colpire autoveicoli. Per limitare i danni e le conseguenze, è necessario sviluppare strategie di adattamento: valutazione del rischio e della sensibilità dell'intera infrastruttura rispetto al contesto idrogeologico e idraulico attraversato, identificazione delle aree e dei tracciati stradali che potrebbero risultare più vulnerabili per cercare di gestire al meglio le situazioni di emergenza. L'esempio più recente è l'alluvione in Emilia-Romagna del maggio 2023 (Figura 3.14, Figura 3.15).

Oggi non sono ancora disponibili indirizzi o linee guida per la gestione degli eventi meteo-climatici estremi, ma è necessario colmare questa lacuna. Dopo l'alluvione in Emilia-Romagna, ASPI ha esaminato quanto accaduto e il relativo impatto sulle infrastrutture autostradali. Ha sintetizzato le misure messe in atto, e ha definito – con il ministero delle Infrastrutture e dei trasporti – le azioni per rafforzare le modalità di gestione adottate dall'azienda per garantire la sicurezza. In generale si può ipotizzare che le azioni da introdurre riguarderanno sia il monitoraggio-previsione-gestione dell'evento climatico, sia la necessità di interventi di adeguamento del corpo stradale e delle aree circostanti che si integreranno e/o aggiungeranno a quelli atti a prolungare la vita tecnico-economica delle strutture.

Limiti e peculiarità delle autostrade italiane



Figura 3.14 Immagini dell'autostrada A14 durante l'alluvione del maggio 2023.



Figura 3.15 Immagini dei lavori di ripristino della A14 allagata dopo l'alluvione del maggio 2023.

3.6 *Le criticità strutturali e la manutenzione rigenerativa*

Dopo il tragico evento del crollo del ponte Morandi si è assistito a un ripensamento della normativa sulla sicurezza delle opere esistenti e delle relative condizioni di esercizio, con tempi, modalità di controllo e monitoraggio. La Figura 3.16 rappresenta lo schema sintetico delle principali evoluzioni normative intercorse negli ultimi anni.

L'evoluzione del quadro normativo per le infrastrutture esistenti (soprattutto ponti e gallerie) ha messo in luce la necessità di determinare e quantificare i rischi, e di elaborare una stima dell'affidabilità strutturale, cioè il legame probabilistico tra capacità di resistenza – in tendenziale diminuzione per invecchiamento – e i carichi in continua crescita, determinati dall'ambiente e dall'uso.

Secondo le Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, emanate dal Consiglio superiore dei lavori pubblici tra il 2020 e il 2022, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio di ponti e gallerie esistenti impone di utilizzare l'approccio delle Norme tecniche per le costruzioni di nuove progettazioni emanate nel 2018 anche per le infrastrutture esistenti. Al concetto di sicurezza il nuovo impianto normativo ha affiancato quello di affidabilità, cioè la capacità del sistema strutturale di assolvere pienamente, in determinate condizioni d'uso e per un tempo dato di esercizio, le funzioni per cui è stato progettato.

C'è una grande novità nel quadro normativo: non è più sufficiente recuperare un adeguato stato manuten-

tivo delle opere della rete, ma è diventato indifferibile pianificare e attuare un piano di miglioramento per la sicurezza delle opere, che consenta di allungarne la cosiddetta vita nominale, cioè il periodo di tempo per cui l'opera manterrà, purché ispezionata e mantenuta, i livelli prestazionali e le funzioni per i quali è stata progettata. Pertanto, è necessario associare alla primaria esigenza di migliorare lo stato di conservazione delle opere anche la gestione del relativo ciclo di vita.

Dunque, la rete è vecchia (ponti e gallerie sono caratterizzati da un'età compresa tra i 50 e gli 80 anni, come già rappresentato in precedenza), e siamo entrati nella fase di attuazione di interventi di manutenzione rigenerativa per accrescere l'affidabilità delle opere, adeguarne le prestazioni attese e allungarne la vita utile, ma accanto alla questione della sicurezza c'è anche un problema di investimenti. Senza manutenzione preventiva, queste opere sono destinate a perdere valore, con la necessità di una sostituzione totale. Appartengono a questa categoria di interventi la sostituzione di impalcati da ponte, il rafforzamento delle pile e delle fondazioni, l'inserimento di sistemi di isolamento e/o dissipazione, e la sostituzione dei rivestimenti delle gallerie.

La necessità di manutenzione rigenerativa da realizzare in presenza di traffico impone anche una riflessione sugli indirizzi da seguire per minimizzare l'impatto dei cantieri sulla viabilità regolare. Diventa, pertanto, necessario programmare gli interventi adottando una metodologia di pianificazione operativa dei cantieri che persegua, secondo un approccio basato sul rischio, i se-

guenti obiettivi: 1) integrazione dei lavori afferenti ai diversi asset (viadotti, gallerie, barriere, impianti) della rete per ottimizzare le interferenze dei cantieri, ridurre le rilavorazioni, incrementare la qualità di esecuzione e contenere il disservizio; 2) individuazione della strategia pluriennale di intervento e definizione di un piano che preveda un impegno razionale di tutte le tratte autostradali; 3) ingegnerizzazione delle modalità realizzative e individuazione di tecnologie a supporto dei cantieri che consentano una industrializzazione dei lavori, per razionalizzare l'uso della sede stradale e gli eventuali restringimenti/deviazioni, privilegiando esecuzioni notturne per i lavori che hanno un maggiore impatto sul traffico. In merito a quest'ultimo aspetto, l'esperienza di ASPI nell'utilizzo di soluzioni innovative per la gestione delle cantierizzazioni ha portato a sperimentare, in particolare nel nodo ligure, il sistema Road Zipper (Figura 3.17), che permette la gestione dinamica dei cantieri senza esposizione diretta del personale.

L'ottimizzazione dei cantieri non rende comunque possibili interventi sostanziali di manutenzione rigenerativa in presenza di traffico elevato e mancanza di percorsi alternativi o corsie aggiuntive.

L'individuazione delle priorità degli interventi di rigenerazione e potenziamento della capacità va quindi effettuata in modo congiunto. Analisi utili per una valutazione sintetica delle priorità di intervento sulle tratte autostradali si basano sul calcolo dei rapporti fra flussi e capacità di trasporto nelle fasce di punta in differenti scenari (scenario di circolazione ordinaria, scenario esti-



Figura 3.17 Sistema Road Zipper.

vo, scenario con crescita di traffico, scenario con cantieri in riduzione della carreggiata o in chiusura di una carreggiata e scambio). Il rapporto fra flussi e capacità ritenuto accettabile per la regolarità dell'esercizio (soglia

limite) può essere definito l'indice di fragilità capacitiva delle singole tratte. Più alto è il valore, maggiore è la criticità di circolazione.

3.7 Le risorse necessarie per ammodernare e le ricadute sull'economia degli investimenti

Affinché le autostrade italiane continuino a svolgere il proprio ruolo è necessario intervenire con progetti che possono essere classificati come: 1) interventi di potenziamento e ampliamento della rete: è il caso degli ampliamenti a tre e quattro corsie di varie tratte autostradali e relative opere annesse, dei nuovi svincoli, della viabilità di accesso ai centri abitati, città e aree metropolitane; 2) interventi di manutenzione rigenerativa: comprendono tutti gli interventi sulla rete esistente (ponti, viadotti, gallerie, barriere) per ottenere l'allungamento della vita nominale e l'adeguamento a standard tecnici di maggiore durabilità delle opere; 3) adeguamenti a nuovi standard di sicurezza: vi rientrano gli interventi di riqualifica delle barriere di sicurezza e degli arginelli, e il piano di adeguamento della sicurezza nelle gallerie; 4) opere e sistemi di adattamento agli eventi meteorologici estremi, interni ed esterni alla carreggiata autostradale; 5) opere che perseguono obiettivi ambientali: prevalentemente i piani di risanamento acustico; ma è interessante anche considerare che le autostrade amministrano una cospicua quantità di piante e alberi; 6) interventi che perseguono obiettivi di sostenibilità e innovazione

tecnologica: comprendono anche le opere finalizzate alla digitalizzazione della rete dal punto di vista infrastrutturale e degli impianti.

Questi interventi sono peraltro interessati dai profondi cambiamenti del contesto macroeconomico e normativo che hanno determinato, negli ultimi anni, una modifica significativa in termini di caratteristiche dei progetti e costi di realizzazione. Cambiamenti che sono tuttora in corso e che rendono certamente consistente l'ammontare di risorse necessarie per risanare, potenziare e adattare le autostrade ma, allo stesso tempo, a oggi non compiutamente quantificabili.

Va tuttavia evidenziato, al riguardo, che un patrimonio infrastrutturale come quello degli oltre 6000 km di rete autostradale italiana a pedaggio è stimabile in oltre 1200 miliardi di euro. Dunque: se dovessimo ricostruire la rete daccapo avremmo bisogno di almeno 1200 miliardi, ammesso che tale ricostruzione fosse oggi possibile, per ragioni tecniche e territoriali. Ammodernarla, potenziarla e renderla più moderna, secondo quanto sopra rappresentato, al contrario, per quanto possa richiedere cifre elevate, si tradurrebbe in un impegno di spesa equivalente a pochi punti percentuali rispetto ai suddetti 1200 miliardi di euro.

Senza contare che tali investimenti garantiscono benefici sulla circolazione e sull'ambiente, e rivestono un ruolo rilevante per il sistema produttivo nazionale. Attivano una produzione economica diretta (la realizzazione degli interventi), indiretta (la produzione dei fattori intermedi necessari per gli interventi) e indotta (la pro-

duzione attivata dalla maggiore disponibilità di reddito). Generano valore aggiunto e occupazione. Le costruzioni sono il primo settore attivato per produzione diretta, ma c'è un effetto complessivo sul settore industriale e sui servizi alle imprese, e un aumento dei consumi resi possibili dalle retribuzioni. Si calcola che, per ogni euro investito, altri due possano essere generati. Pertanto, l'effetto complessivo è almeno tre volte il valore di un piano di investimento di una società concessionaria.

La realizzazione di questi piani di investimento è un'occasione di rinnovamento del patrimonio infrastrutturale del Paese, di ammodernamento tecnologico sostenibile della mobilità e una opportunità di creazione di ricchezza economica e di competenze tecniche preziose in un Paese che ne ha perse molte.

3.8 Realizzare opere sostenibili

Il Regolamento UE 2020/852, che è alla base del PNRR, stabilisce i criteri per determinare se un'attività economica possa considerarsi ecosostenibile e ha introdotto nel sistema normativo europeo la Tassonomia delle attività economiche ecocompatibili, i cui obiettivi principali sono: 1) la mitigazione degli effetti del cambiamento climatico; 2) l'adattamento al cambiamento climatico; 3) l'uso sostenibile e la protezione dell'acqua e delle risorse marine; 4) la transizione verso un'economia circolare; 5) la riduzione degli sprechi e il riciclo dei materiali; 6) il contenimento dell'inquinamento e la tutela degli ecosistemi.

Un'impostazione ripresa nelle Linee guida operative per la valutazione delle opere pubbliche nel settore stradale – emesse dalla Struttura tecnica di missione del MIT il 9 settembre 2022 –, che prescrivono come un'attività economica (e quindi anche la realizzazione di un'infrastruttura), per essere ecosostenibile, debba contribuire in modo sostanziale al raggiungimento di uno o più dei sei obiettivi della Tassonomia, cioè la classificazione degli investimenti ecologici. La transizione verso un'economia circolare deve puntare all'estensione del ciclo di vita delle infrastrutture e, al tempo stesso, favorire il ricondizionamento e riciclo dei materiali e prodotti esistenti. Questo è il modello produttivo a cui ispirarsi in tutte le fasi di ideazione, progettazione e realizzazione degli interventi di ammodernamento e potenziamento della rete autostradale. I calcestruzzi riciclati e fibrorinforzati, le armature in vetroresina, l'utilizzo di tecnologie realizzative a basso impatto ambientale sono solo alcuni degli esempi per generare un modello di produzione e consumo in contrasto con quello tradizionale, i cui presupposti di disponibilità di grandi quantità di materiali ed energia facilmente reperibili e a basso prezzo non sono più sostenibili. Con la finalità di valutare quantitativamente la rispondenza degli interventi ai sei obiettivi di sostenibilità citati, al fine di «misurare» la sostenibilità degli interventi e di quantificare l'applicazione del principio DNSH (Do No Significant Harm) – secondo cui gli interventi previsti dal PNRR nazionale non devono arrecare nessun danno significativo all'ambiente –, è possibile utilizzare il

protocollo Envision come framework internazionale di valutazione del rating di sostenibilità di una infrastruttura. Autostrade per l'Italia ha ottenuto la certificazione Envision con il livello Platinum per il progetto del Passante di Bologna.

3.9 Un problema non solo nostro: rigenerazione delle reti nel mondo

Ammodernare le reti è una esigenza comune a molti Paesi nel mondo. Si è verificata ovunque una crescita storica del traffico leggero e pesante. Le concezioni strutturali sono superate. I materiali utilizzati all'epoca della costruzione sono deteriorati dal tempo, dall'uso e dai sovraccarichi intervenuti. I potenziali effetti del cambiamento climatico sulle opere infrastrutturali sono una preoccupazione globale.

Negli Stati Uniti c'è una rete di strade di interesse federale, le Interstate Highways, oggi circa 80.000 km, che a partire dalla metà degli anni Cinquanta cominciò a integrare e rimpiazzare una precedente rete, la cui realizzazione risale all'inizio del secolo scorso (la più famosa delle prime tratte di collegamento interstatali fu la mitica Route 66). Dopo il crollo di diversi viadotti all'inizio degli anni Duemila, gli Stati Uniti hanno avviato nel 2015 il programma attuativo del Fixing America's Surface Transportation Act. Hanno creato uno strumento di garanzia per accedere a fondi infrastrutturali tra il 2016 e il 2020. Questo programma vale

305 miliardi di dollari di investimenti per tutte le infrastrutture di trasporto, sicurezza sulla rete, trasporto pubblico, programmi di ricerca, sviluppo e implementazione di nuove tecnologie e innovazioni. Nel 2021 il programma è stato rifinanziato per altri 47 miliardi di dollari. E per il periodo 2022-2026, è stato istituito un nuovo fondo di circa 432 miliardi di dollari, per finanziare l'Infrastructure Investment and Jobs Act voluto dall'amministrazione Biden nel novembre 2021. In totale, tra il 2016 e il 2026 gli Stati Uniti hanno stanziato oltre 700 miliardi di dollari per le infrastrutture viarie.

Alcuni Paesi europei, come Germania, Francia e Spagna, si apprestano ad affrontare la stessa situazione dell'Italia nel breve termine, in quanto le infrastrutture in questi Paesi presentano già oggi delle problematiche che potrebbero intaccarne il funzionamento: in Francia, il sistema autostradale comprende 12.000 ponti in uno stato di sottofinanziamento cronico, con il 7% di essi che presentano danni strutturali tali da poterne provocare il collasso, se non affrontati con urgenza; in Germania, dei 39.621 ponti monitorati dal governo federale, il 10,6% si trova in condizioni non soddisfacenti e l'1,8% in condizioni definite inadeguate. Nella stessa Germania, negli ultimi anni si è gradualmente assistito a un deterioramento della percezione della qualità delle infrastrutture di trasporto. Tale deterioramento è principalmente attribuibile all'età crescente, ai volumi di traffico superiori a quelli ipotizzati in sede di pianificazione, alla significativa riduzione degli investimenti dall'inizio degli anni Duemila. Lo sviluppo delle infra-

strutture di trasporto è e sarà quindi una delle sfide più importanti per la Germania. Sarà necessario aumentare gli investimenti di anno in anno, migliorare il processo di selezione delle risorse tecniche e dell'acquisizione delle competenze, semplificare le procedure.

Innovazioni tecnologiche e la rivoluzione del trasporto su gomma

Nell'agosto 2023, la casa svedese Polestar, controllata da Volvo, ha annunciato il lancio sul mercato cinese entro la fine dell'anno dell'automobile elettrica Polestar 4, primo modello che consentirà al guidatore di togliere le mani dal volante per lunghi tratti, lasciando all'elettronica il controllo totale del veicolo. Da agosto 2023 a San Francisco sono operativi i servizi di robotaxi di due società in competizione disponibili ventiquattro ore al giorno su tutto il territorio cittadino. La mobilità in generale e il trasporto su gomma in particolare stanno attraversando una fase di trasformazione senza precedenti nella storia recente. Profondi e rapidi cambiamenti, innovazioni connesse allo sviluppo della guida assistita, digitalizzazione delle infrastrutture, smart mobility, vettori energetici alternativi. Mai, nella storia, una rivoluzione tecnologica ha investito così radicalmente il comparto trainante dell'economia mondiale. I sistemi produttivi si stanno adeguando, le norme anche.

L'autostrada, in quanto sistema vitale per il Paese, deve e vuole contribuire a questa rivoluzione, e assecon-

dare e spingere i cambiamenti come ha fatto per lo sviluppo della mobilità di persone e merci dal primo dopoguerra, grazie anche alla presenza diffusa sul territorio e alla funzione di grande laboratorio a cielo aperto. Le aspettative in termini di miglioramento della sicurezza, di qualità della circolazione, di regolarizzazione dei tempi di viaggio e di riduzione delle emissioni inquinanti sono enormi.

In questo capitolo ci occuperemo delle innovazioni collegate alla digitalizzazione delle infrastrutture, dei servizi di mobilità e alla guida dei veicoli. Nel prossimo affronteremo la questione della transizione energetica di automobili e mezzi pesanti. Lo sviluppo e la diffusione delle tecnologie di comunicazione dei veicoli con altri veicoli e con l'infrastruttura sono alla base delle Smart Road, infrastrutture autostradali in grado di monitorare continuamente le condizioni del traffico, gli eventuali incidenti, la violazione delle regole della circolazione, le condizioni meteorologiche; di utilizzare questa enorme mole di dati per gestire la circolazione, reprimere comportamenti pericolosi, informare utenti e istituzioni in tempo reale, applicare forme di pedaggio flessibili, prenotare e ricevere servizi connessi al viaggio all'interno e all'esterno dell'infrastruttura autostradale e gestire una nuova mobilità che progressivamente sarà sempre più connessa e sempre più automatizzata. Molte concessionarie autostradali hanno avviato progetti di tipo Smart Road. In particolare, ASPI prevede investimenti molto consistenti per finanziare il programma Mercury, interamente dedicato a questi ambiti.

L'implementazione di soluzioni tecnologicamente innovative e la disponibilità di dati che queste soluzioni porteranno saranno l'occasione per progettare e implementare sistemi e servizi che contribuiranno in modo decisivo alla sicurezza, all'efficienza e alla sostenibilità del traffico, ma anche alla manutenzione e al miglioramento continuo delle infrastrutture fisiche e tecnologiche. La rapidità d'introduzione – e i benefici per l'uomo e l'ambiente – di nuovi veicoli, nuovi sistemi di trazione e nuove infrastrutture dipenderà in modo strategico dalla capacità delle autostrade di adeguarsi e agevolare le trasformazioni in atto.

Un aspetto riguarda il contributo alla decarbonizzazione del trasporto su gomma, considerando che gli interventi di digitalizzazione delle infrastrutture consentirebbero da soli una riduzione delle emissioni autostradali tra il 10 e il 20%.

4.1 La digitalizzazione delle infrastrutture autostradali

La digitalizzazione delle infrastrutture autostradali è un processo che mira a integrare tecnologie digitali avanzate nelle autostrade al fine di migliorare la loro efficienza, sicurezza e gestione complessiva. Uno schema sintetico di tale processo è riportato in Figura 4.1.

Il processo di digitalizzazione si basa sulla raccolta e analisi di dati in tempo reale, per automatizzare i processi operativi e migliorare l'esperienza di guida degli utenti. Ecco alcuni esempi di quale sia il livello tecnolo-

| | | |
|--|------------------------------------|---|
| <p>Digitalizzazione delle infrastrutture autostradali</p> | <p>INFRASTRUTTURA</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Infrastruttura wired passiva in fibra ottica, per il trasporto dei dati e con reti wireless 5G e wireless C-ITS-4XX, per abilitare la comunicazione con i veicoli connessi e la guida autonoma • Evoluzione attuali nodi di scambio dati (DATEX) • 3D Digital Twin, sistema di asset management per la consultazione e simulazione di integrità delle opere d'arte, attraverso l'ausilio di droni • Controllo dell'utilizzo dell'autostrada, con sistemi di tracciamento dei veicoli attraverso il rilevamento delle targhe e delle merci pericolose e con sistemi di pesatura |
| <p>Tecnologie digitali avanzate hanno il fine di migliorare l'efficienza, la sicurezza e la gestione complessiva della rete</p> | <p>SICUREZZA</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Sistemi di enforcement per l'individuazione di comportamenti non rispettosi del codice della strada: il superamento del limite di velocità media e istantanea, l'eccesso di peso, gli orari di lavoro degli autisti oltrelimite • Sistemi di supporto alla guida automatizzata che consentono ai veicoli di ricevere informazioni sullo stato della viabilità in tempo reale, sui limiti di velocità di percorrenza specifico per tratta, sulla segnaletica stradale orizzontale e verticale |
| <p>Le iniziative di digitalizzazione delle infrastrutture possono essere classificate in ambiti specifici:</p> | <p>MOBILITÀ E LOGISTICA</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Nuovo Centro di controllo operativo della viabilità con piattaforme centralizzate per la simulazione del traffico su scala nazionale e per l'ottimizzazione della pianificazione dei cantieri • Gestione certificata delle missioni di flotte di droni con piani di monitoraggio dei flussi di traffico • Pianificazione del viaggio con prenotazione slot parcheggio • Pesatura statica in apposite aree di servizio (predogana) • Segnalazione real-time di eventi di traffico e meteo, come incidenti, code, congestioni |
| <ul style="list-style-type: none"> • Infrastruttura • Sicurezza • Mobilità e logistica • Energia • Servizi all'utenza | <p>ENERGIA</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Stazioni di ricarica elettrica a elevata potenza (High Power Charging - 150kW) ogni 60 km • Energy Management System, per la gestione dei flussi di potenza per la ricarica dei veicoli elettrici • Pannelli FV nelle pertinenze autostradali per soddisfare le esigenze di energia nelle Ads • Sistemi Vehicle to Grid (V2G) di condivisione dell'energia «veicolo verso la rete - bidirezionale» per la regolazione di domanda e offerta di energia |
| | <p>SERVIZI ALL'UTENZA</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Pianificazione viaggio real-time con indicazione percorsi alternativi, cantieri e altri servizi (es. punti di ricarica) • Routing in caso di code, congestioni e incidenti con segnalazioni via DATEX • Ammodernamento delle stazioni di pedaggio consentendo agli utenti di procedere al casello senza fermarsi • Differenziazione tariffe, es. per pendolari e sulla base delle condizioni di inquinamento • Trip pricing per incentivare comportamenti sostenibili e rendere più flessibili i meccanismi di pagamento |

Figura 4.1 Soluzioni e servizi per un'infrastruttura stradale digitale.

gico attualmente applicato alle infrastrutture autostradali: 1) il servizio di pedaggio elettronico: la digitalizzazione ha portato all'implementazione di sistemi come il telepass per consentire il pagamento automatico dei pedaggi senza la necessità di fermarsi ai caselli; 2) monitoraggio di traffico e infrastrutture: sensori e telecamere intelligenti lungo le autostrade raccolgono dati in tempo reale sullo stato del traffico e su quello delle infrastrutture. Queste informazioni vengono quindi inviate ai Centri di controllo, elaborate e utilizzate per fornire indicazioni ai guidatori su eventuali congestioni, tempi di percorrenza stimati e percorsi alternativi attraverso i più comuni sistemi di infomobilità, come i pannelli a messaggio variabile o gli annunci radio; 3) sistemi di gestione del traffico: sono utilizzati per monitorare e controllare il flusso del traffico in modo più efficiente; servono per ottimizzare la gestione dei semafori, regolare la velocità dei veicoli attraverso segnali variabili e migliorare la sicurezza stradale; 4) sicurezza avanzata: telecamere di sorveglianza ad alta risoluzione, sensori di rilevamento degli incidenti e sistemi di allarme integrati aiutano a monitorare e reagire rapidamente a situazioni di emergenza, migliorando la sicurezza degli utenti delle autostrade; 5) manutenzione predittiva: attraverso sensori e analisi dei dati è possibile monitorare le condizioni di ponti, viadotti, gallerie, anche delle pavimentazioni e della segnaletica stradale, per identificare tempestivamente difettosità e pianificare la manutenzione in modo efficiente, con minori interruzioni di traffico.

A questi esempi se ne possono aggiungere altri che vanno nella direzione di incrementare ulteriormente la sicurezza e gestire l'evoluzione della mobilità, sia dal punto di vista energetico (riduzione delle emissioni) sia da quello dell'automazione. In prospettiva avremo stazioni di ricarica elettrica rapida, il monitoraggio dinamico delle infrastrutture, la gestione dello spazio aereo per le flotte di droni dedicati alle ispezioni e al monitoraggio del traffico, l'ambiente per la guida assistita e autonoma, veicoli connessi in tempo reale all'infrastruttura, servizi di informazione, automazioni per il pedaggio modulare e gestione in tempo reale del deflusso e degli incidenti.

Il tutto in un contesto in cui la sicurezza delle informazioni scambiate, rispetto a possibili cyber attacchi, le garanzie di utilizzo corretto dei dati e la salvaguardia della privacy sono elementi essenziali nel garantire attendibilità e sicurezza che portino i consumatori di questi servizi a potersene fidare.

I benefici attesi dalla digitalizzazione delle infrastrutture, come illustrato in Figura 4.2, avranno ricadute sugli utenti, sui gestori e sulle imprese, e sugli stakeholder istituzionali e di pubblica sicurezza.

Il processo di digitalizzazione delle strade deve prevedere l'evoluzione dei veicoli fino alla guida autonoma. Si andrà verso un'autostrada completamente automatizzata in grado di accogliere un numero maggiore di veicoli, poiché il flusso e la velocità saranno costantemente monitorati e determinati in tempo reale, con regolazione delle distanze di sicurezza, eliminazione dell'errore umano, azzeramento degli incidenti, e riduzione delle emissioni.

Innovazioni tecnologiche e la rivoluzione del trasporto su gomma

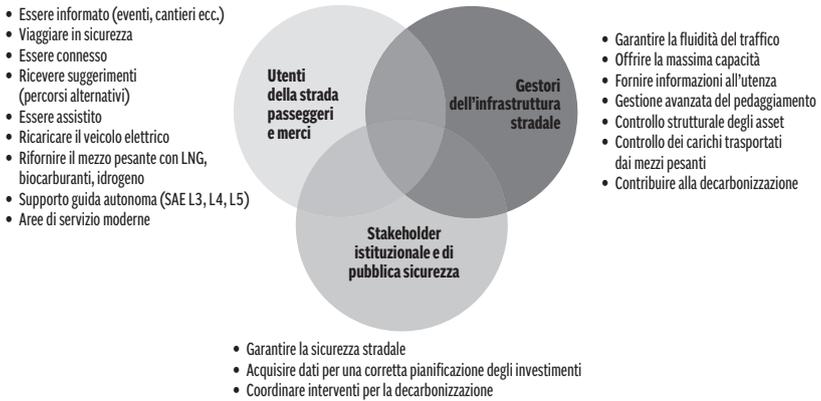


Figura 4.2 Benefici attesi.

Accanto alla sicurezza il punto decisivo e più ambizioso riguarda la decarbonizzazione.

In seguito al decreto «Smart Road» del 2018, tutte le concessionarie hanno lanciato progetti di evoluzione digitale della rete come il programma Mercury di Autostrade per l'Italia. Mercury consentirà di ammodernare tecnologicamente le strutture e allungarne la vita utile, fluidificare il traffico, aumentare la sicurezza, accogliere i veicoli a guida connessa e automatizzata, contribuire attivamente al processo di decarbonizzazione e transizione energetica. Il programma è composto da cinque gruppi di iniziative innovative e tecnologiche:

- *Connected Infrastructures.* Supportano il monitoraggio delle strutture, il trasporto dei dati ad alta velocità su reti cablate e su 5G, per una migliore

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade

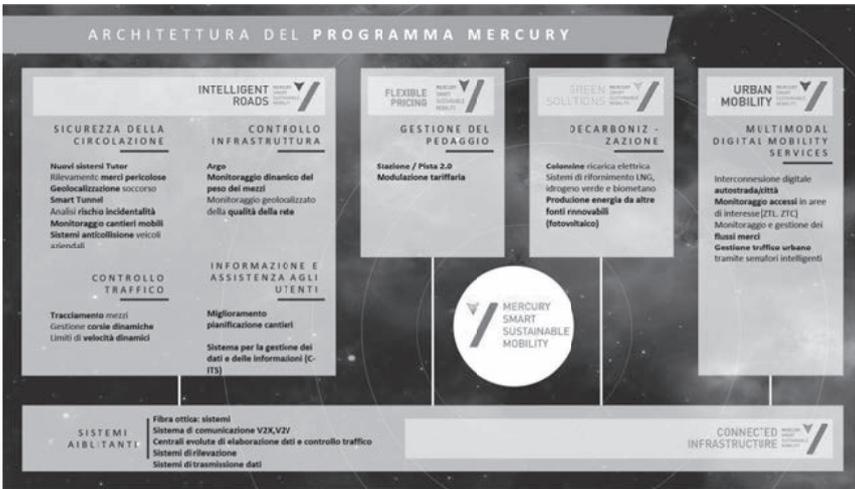


Figura 4.3 Architettura del programma Mercury di ASPI.

gestione delle informazioni e dell’operatività stradale, della messaggistica da inviare all’utente attraverso i sistemi di comunicazione classici come i pannelli a messaggio variabile, i canali radio, le app mobile, fino a quelli più innovativi con i veicoli connessi.

- *Intelligent Roads.* Sono sistemi e applicazioni che concorrono al monitoraggio e alla gestione della mobilità, del ciclo vita dell’infrastruttura stradale e alla sua manutenzione, e supporteranno gli utenti con nuovi servizi per la pianificazione del viaggio con informazioni più ricche, puntuali e dettagliate. Le strade intelligenti saranno dotate di sistemi per identificare comportamenti diversi da quelli previsti dal codice della strada, come i sorpassi

in galleria tra veicoli pesanti, i veicoli in eccesso di peso e le merci pericolose lungo un percorso, di un sistema di lettura remota dei cronotachigrafi dei mezzi pesanti per la verifica degli orari di lavoro, di un nuovo Tutor per il rilevamento degli eccessi della velocità media e istantanea, e avranno sistemi di supporto alla guida automatizzata. I nuovi Centri di controllo della viabilità saranno dotati di sistemi di pianificazione integrata dei cantieri con stime degli impatti sulla viabilità anche in forma predittiva, di un modello di rete nazionale (autostradale, extraurbano e urbano) per la previsione del traffico in tempo reale in condizioni ordinarie e con turbative (cantieri, code, congestioni, incidenti, eventi meteo), di sistemi di gestione dinamica delle corsie, di una piattaforma per la gestione automatizzata della viabilità connessa e dei veicoli automatizzati e autonomi e della guida in convoglio dei veicoli pesanti (cioè gestione dinamica della velocità di percorrenza dei veicoli e dell'interdistanza tra i veicoli); saranno compresi censimento, ispezione e monitoraggio dei manufatti della rete, con gemello digitale degli oltre duemila ponti e viadotti della rete.

Insomma, un nuovo ecosistema che ha come primo obiettivo l'innalzamento della sicurezza per gli utenti e per gli operatori stradali e la riduzione dell'incidentalità, ma serve anche alla regolarizzazione dei flussi di traffico e delle velocità medie di percorrenza e alla riduzione di emissioni.

- *Flexible Pricing*. Finalizzato ad aggiornare progressivamente le attuali stazioni di pedaggio per rendere effettivo l'attraversamento senza stop del veicolo e a estendere e rendere più flessibili e potenzialmente modulari i meccanismi di pagamento del pedaggio, per migliorare l'esperienza di viaggio rendendo più semplici e flessibili le operazioni di pagamento, distinguere i prezzi per flusso ordinario/pendolare da uno straordinario/turistico, o per un veicolo carico e uno scarico (merci o numero di persone su un veicolo), e definire sconti per una guida ecologica e sicura. La modulazione tariffaria potrà portare un ulteriore beneficio, perché ai caselli riduce eventuali turbative del traffico come le code e le congestioni e di conseguenza le emissioni di CO₂.
- *Green Solutions*. Focalizzato sulla decarbonizzazione, riguarda le innovazioni della rete autostradale necessarie per accompagnare la transizione energetica dell'infrastruttura stradale e dei veicoli che la percorrono. Rientra in tale ambito l'installazione, in via di ultimazione, di 100 stazioni di ricarica elettrica ad alta potenza in grado di erogare fino a 350 kW. Ogni stazione dispone da quattro a otto punti di ricarica. Grazie a tale iniziativa, l'utente avrà la possibilità ricaricare il proprio veicolo in pochi minuti, di trovare una stazione ogni 50 km e pianificare il proprio viaggio prenotando una colonnina tramite app. Dove possibile, le stazioni di ricarica saranno coalimentate da sistemi di produ-

zione di energia elettrica con pannelli fotovoltaici e affiancate da sistemi di storage dell'energia. La tangenziale di Napoli ha avviato la progettazione di un'area di servizio con una stazione di produzione e distribuzione dell'idrogeno verde sostenuta da produzione di energia elettrica da fotovoltaico.

- *Urban Mobility*. Per integrare la mobilità autostradale a quella delle aree metropolitane mediante la personalizzazione del viaggio. Sarà possibile raccogliendo i dati e le informazioni che arrivano dalle aree urbane: disponibilità di parcheggi, disponibilità di mezzi alternativi per il prosieguo del viaggio, situazione complessiva del traffico locale.

4.2 *Evoluzione dell'auto, la guida assistita e autonoma*

Le interazioni guidatore-veicolo-ambiente nel trasporto stradale sono basate sulle capacità del guidatore umano, con le conseguenze che ne derivano in termini di impegno (attenzione e fatica della guida), utilizzo del tempo (dedicato alla guida) e sicurezza (il 90% degli incidenti sono dovuti esclusivamente o in prevalenza al guidatore). Queste caratteristiche del trasporto stradale stanno cambiando radicalmente a seguito delle innovazioni e degli sviluppi tecnologici applicati ai veicoli, che supportano il guidatore e in futuro lo sostituiranno.

I sistemi di assistenza alla guida sono complessi sistemi di rilevamento e azionamento progettati per ridurre al minimo l'errore umano del guidatore quando

il veicolo è in movimento in qualsiasi ambiente si trovi. Questi sistemi sono già in commercio da alcuni anni e con livelli sempre crescenti di assistenza. A seconda della presenza nel veicolo di tali sistemi e della loro capacità di cooperare sulla base delle condizioni ambientali e del traffico nelle immediate vicinanze, si passerà dalla guida assistita a quella autonoma. Un sistema fondamentale per questo passaggio è quello che consente al veicolo di riconoscere la propria posizione sulla corsia che sta percorrendo e di gestire i movimenti laterali e longitudinali.

Queste innovazioni si stanno sviluppando in modo progressivo su una scala che va dai veicoli con i sistemi minimi previsti dalla normativa al tempo dell'omologazione fino a quelli in grado di una guida completamente autonoma in tutti i contesti. Le innovazioni riguardano le automobili e i veicoli merci: tempi e modalità a oggi sono più sviluppate per le prime, ma sono altrettanto utili e forse ancora più urgenti per i secondi.

La SAE International (Society of Automotive Engineers), ente di normazione nel campo dell'industria automobilistica, ha definito sei diversi livelli di guida autonoma che facilitano la comprensione e permettono di seguire la classificazione delle funzioni di guida automatica dei veicoli. I livelli vanno da 0 a 5: da nessuna automazione di guida (Livello 0) a completa automazione di guida (Livello 5) (Figura 4.4).

Le normative europee, riconoscendo il contributo dei sistemi a guida autonoma alla riduzione degli incidenti, hanno previsto l'obbligatorietà di alcuni dispositivi nelle nuove omologazioni e in futuro seguiranno le Norme



Figura 4.4 Livelli di automazione SAE.

tecniche per l'omologazione di veicoli completamente autonomi. L'Europa sarà un pioniere in questo settore. Infatti, già dal prossimo anno i veicoli che verranno immatricolati saranno dotati di avanzati sistemi che aiuteranno l'autista in situazioni critiche, come la frenata di emergenza e il mantenimento della corsia, lo avviseranno quando è stanco o è distratto, gli suggeriranno la miglior velocità di crociera (Figura 4.5).

Questi sistemi saranno introdotti anche per i veicoli pesanti (High Duty Vehicles, HDV), camion e autobus, nelle nuove tipologie e per tutti i nuovi HDV rispettivamente a partire da gennaio 2026 e 2029.

La velocità di diffusione di questi dispositivi è ovviamente collegata alla domanda di sicurezza e alla familiarità dell'utente con sistemi più complessi. Si stima che le nuove misure di sicurezza contribuiranno a proteggere meglio passeggeri, pedoni e ciclisti in tutta l'UE, salvando secondo le previsioni oltre 25.000 vite ed evitando almeno 140.000 feriti gravi entro il 2038.

| | |
|--|--|
| <p>Cruise control adattivo (Adaptive Cruise Control-ACC)</p> | <ul style="list-style-type: none">• Sistema che permette di mantenere una distanza di sicurezza dal veicolo che precede e modulare la propria velocità di crociera• Può gestire lo sterzo e l'accelerazione/decelerazione senza la necessità di un controllo attivo del guidatore, come la guida in autostrada o il traffico stop-and-go |
| <p>Emergency Braking</p> | <p>Sistema di frenata che interviene in caso di emergenza, riconoscendo la pressione che il guidatore sta imprimendo sul pedale del freno ed esercitando la massima pressione possibile in quell'occasione. Questa funzione può essere associata al Sistema di prevenzione delle collisioni (CAS, Collision Avoidance System), che riconosce la situazione di pericolo del veicolo che precede e calcolando le accelerazioni/decelerazioni del veicolo, valutando la distanza dal veicolo, la sterzata, la marcia inserita, l'aderenza con l'asfalto di tutte le gomme, interviene immediatamente, riducendo a zero (o quasi) i normali tempi di reazione</p> |
| <p>Mantenimento automatico della corsia di marcia (Automated Lane Keeping-ALKS)</p> | <p>Mantiene il veicolo all'interno della corsia attuale, attuando delle leggere correzioni – laterali e longitudinali – anche per lunghi periodi, nel caso in cui il veicolo stia per oltrepassare la linea di demarcazione della corsia stessa, agendo anche sullo sterzo</p> |

Figura 4.5 ADAS. Principali sistemi che incrementano la sicurezza del veicolo e della viabilità.

4.3 Sicurezza stradale e Vision Zero

Oggi il trasporto su strada è la modalità di trasporto con i tassi di incidentalità e di mortalità più elevati,

nonostante i notevoli progressi compiuti negli anni. Nel periodo 2000-2021 si è verificata una significativa riduzione dei morti in incidenti stradali in tutte le tipologie di strada a fronte di un incremento del traffico (merci + passeggeri). Un'analisi comparativa tra le autostrade e le altre strade evidenzia che la maggiore riduzione dei morti si è verificata in autostrada, con il 76% su rete ASPI e il 59% sulle altre autostrade, mentre sulle altre tipologie di strade la riduzione è stata del 54% in ambito extraurbano e del 56% in ambito urbano (Figura 4.6).

Questo risultato deriva anche dall'introduzione del sistema Tutor che tiene sotto controllo le velocità massime e quelle medie su un tratto, grazie all'uso di una

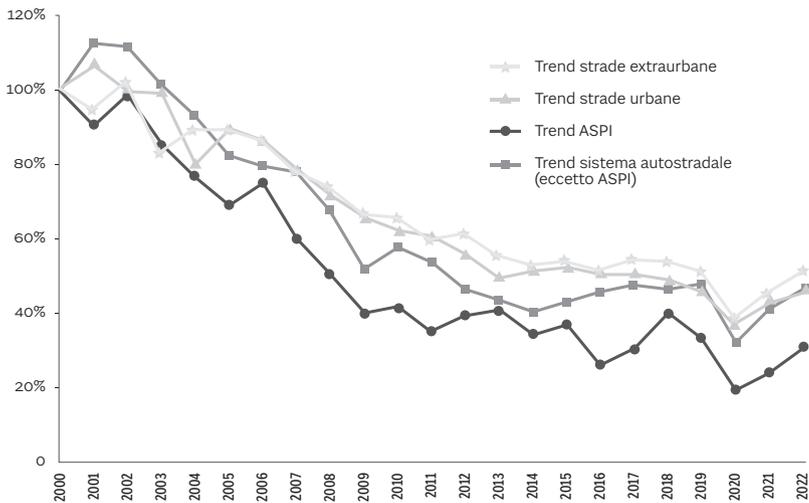


Figura 4.6 Numero di morti per incidenti stradali (Italia).

tecnologia avanzata. Nel periodo in cui è stato progressivamente attivato il Tutor, dal 2006 al 2009, il numero dei morti su tutta la rete ASPI si è ridotto del 47% e se confrontiamo il 2020 con il 2006 osserviamo una riduzione del 74%. Al momento Tutor copre circa 1350 km (quasi la metà della rete ASPI). Il programma Mercury ne prevede l'estensione.

Nel periodo 2011-2020, il piano della sicurezza stradale dell'Unione Europea (*Towards a European road safety area: policy orientations on road safety 2011-2020*) ha definito l'obiettivo di dimezzare i morti per incidenti stradali. L'obiettivo è stato raggiunto nella rete ASPI dove la riduzione è stata del 53%, mentre non è stato raggiunto né nelle altre autostrade, che hanno visto riduzioni del 45%, né nella rete non autostradale, dove la riduzione del numero dei morti è stata del 42% nelle strade extraurbane e del 40% nelle strade urbane.

Le tecnologie di controllo e di assistenza alla guida e di guida autonoma consentiranno di ridurre del 50% le fatalità entro il 2030 per puntare a zero entro il 2050, come vorrebbe il piano sulla sicurezza stradale dell'UE (Vision Zero).

Risultati che potranno essere ulteriormente amplificati affiancando alle suddette tecnologie anche revisioni e aggiornamenti di provvedimenti che consentirebbero di attivare altri sistemi (i c.d. «sistemi di enforcement») finalizzati ad agire sui comportamenti degli automobilisti.

4.4 Digitalizzazione e nuove catene del valore nella mobilità su strada

Come abbiamo visto, cresce continuamente il numero di persone e merci che si spostano attraverso le città e su tutta la rete stradale, aumentando la mobilità e favorendo lo sviluppo di nuove soluzioni per il trasporto man mano che emergono nuove esigenze. Insieme a queste nuove esigenze, vengono sviluppate nuove tecnologie, compaiono nuovi attori e quelli storici devono adattarsi per affrontare modelli di business in evoluzione. Il trasporto aggiunge valore alla catena globale del valore per molti aspetti, come la riduzione dei tempi di consegna, l'efficienza, l'affidabilità, la flessibilità, l'aumento della visibilità, la trasparenza e il miglioramento della soddisfazione e del servizio del cliente, e varie reti di trasporto possono avere un impatto significativo sull'integrazione economica globale, sul servizio di esportazione, sulla connessione tra Paesi e continenti, e aiutare le regioni economicamente meno sviluppate a stimolare il commercio.

Gli utenti si aspettano viaggi facili da un luogo all'altro, tempo minimo e di qualità dedicato al trasporto, zero inquinamento. Il futuro del trasporto passerà dalle Smart Road. L'infrastruttura autostradale sarà protagonista della rivoluzione mobile e l'innovazione digitale cambierà radicalmente il settore dell'automotive e soprattutto i veicoli; la loro connettività integrata ad altri sistemi di comunicazione oggi già presenti a bordo modificherà i modelli di offerta con la crescita della quota di sharing, affitto o altre formule – invece della proprietà

dell'autoveicolo – e porterà a una maggiore diffusione del motore elettrico, e, in prospettiva, alla trasformazione del ruolo del viaggiatore, che da conducente dell'auto passerà a quello di passeggero.

Tutto questo avviene molto rapidamente e investe un ecosistema fatto di imprese, organizzazioni e istituzioni. La connettività già integrata a bordo veicolo obbliga alcuni attori della catena del valore a rivedere il proprio modello di business. Potrebbe essere il caso delle assicurazioni, che avranno sempre meno controllo sui dati provenienti dalle scatole nere installate da loro in after market, perché queste saranno già presenti sui veicoli di nuova immatricolazione (per normativa). Dovranno da un lato stipulare partnership con i produttori per personalizzare il premio assicurativo basandosi sullo stile di guida del cliente, e dall'altro trovare nuove soluzioni per raccogliere i dati, per esempio utilizzando i comuni smartphone. In Italia le auto connesse a fine 2022 ammontano a 19,7 milioni, ma tra queste si registrano solo 4,3 milioni di auto nativamente connesse tramite SIM (11% del parco circolante, +20% rispetto al 2021), mentre 10 milioni fanno riferimento a scatole nere, box GPS, GPRS per la localizzazione e la registrazione dei parametri di guida con finalità assicurative (+4%), seguite poi da 4,2 milioni di auto connesse tramite bluetooth o Wi-Fi e 1,2 milioni di auto aziendali connesse per la gestione delle flotte (+16%). Sono sempre più numerose le compagnie assicurative che preparano offerte basate sulle nuove connessioni per offrire uno sconto sul premio assicurativo.

Anche la convergenza tra i fabbricanti di auto e i colossi dell'hi-tech procede spedita, anche sugli aspetti legati alla privacy e alla cybersecurity dei dati degli utenti finali. È previsto che il mercato del software per le auto connesse crescerà ogni anno, dal 2023 al 2030, a un ritmo compreso tra il +14% e il +18%. Numeri molto importanti se si considera che nello stesso periodo è prevista una crescita nella produzione di auto, e dei relativi componenti, solamente dell'1,3% annuo.

Crescono le aziende in grado di raccogliere ingenti quantità di dati dai veicoli, con cui fornire nuovi servizi di valore. I dati acquisiti sono una chiave per valorizzare il tempo speso per il trasporto. Si pensi a un operatore stradale, che grazie alle Smart Road potrà indicare agli utenti quali aree di servizio hanno le colonnine di ricarica disponibili, oppure la presenza di ostacoli/incidenti lungo il percorso o di parcheggi liberi nelle aree di sosta (soprattutto per i camionisti), riducendo al minimo il tempo che gli utenti dovrebbero dedicare per gestire queste situazioni e riducendo il tempo di viaggio. Oppure si pensi a una casa automobilistica, in grado di offrire funzionalità on demand anche a seguito dell'acquisto dell'auto, come per esempio livelli avanzati di guida autonoma o servizi di manutenzione predittiva sulla base dell'usura dei componenti del veicolo. I consumatori italiani mostrano disponibilità a condividere i propri dati personali legati all'utilizzo del veicolo. Solo il 28% degli utenti appare restio a condividere le proprie informazioni con il mercato. Secondo un'indagine realizzata dall'Osservatorio Connected Car & Mobility del Politec-

nico di Milano, se tutti i veicoli circolanti in Italia avessero sistemi di assistenza alla guida, avremmo una riduzione del numero di incidenti, vittime e feriti compresa tra il 14% e il 16% e un risparmio economico associato di 1,7 miliardi di euro all'anno.

Occorre infine sottolineare un aspetto che coinvolge i costruttori dei veicoli e i gestori dell'infrastruttura stradale. Il gestore è fortemente orientato a governare il processo di evoluzione dell'automazione del veicolo affinché questo possa muoversi in qualsiasi circostanza e in qualsiasi ambiente in maniera indipendente rispetto ai costruttori e agli stessi gestori dell'autostrada. Ci sono in gioco la sicurezza degli utenti, la privacy e in generale la condivisione di un patrimonio di dati sensibili. Tutti i costruttori di veicoli convergono su questa posizione. Tuttavia, l'ecosistema autostradale è uno spazio governato da regole, stabilite dal codice della strada e dai principi etici, che devono essere rispettate dai guidatori e fatte rispettare dalle forze dell'ordine insieme al gestore della concessione. Per raggiungere l'obiettivo di avere veicoli a guida autonoma sulle nostre strade e autostrade serve che il gestore stabilisca nuove regole e automatizzi il sistema di gestione, proprio come già avviene in altri ambiti, come quello aereo o ferroviario.

I vettori energetici per la decarbonizzazione del trasporto su gomma

Nel 1963 Ed Ruscha, uno dei protagonisti della Pop Art, pubblicò un piccolo libretto intitolato *Twentysix Gasoline Stations*, ventisei fotografie di stazioni di servizio lungo la strada che percorreva per spostarsi dalla California all'Oklahoma dove vivevano i suoi genitori. È un piccolo libro di culto, che si iscrive in una specie di sognante simbologia dei trasporti – non solo autostradale – durata per tutto il Novecento. Le stazioni di servizio dei grandi architetti, da Ludwig Mies van der Rohe ad Arne Jacobsen. Gli Autogrill italiani con la geniale soluzione a ponte pensata dall'architetto Angelo Bianchetti per rispondere a un'intuizione imprenditoriale di Mario Pavesi. Lo stesso Autogrill di avventura solitaria e romantica che racconta Francesco Guccini in una delle sue canzoni più belle. Le fotografie emiliane di Luigi Ghirri concentrate sui piccoli distributori di una volta. Tutto questo apparato di cultura condivisa, popolare e al tempo stesso iconica, è destinato a un radicale cambiamento. In un recente articolo pubblicato da «Domus» – la rivista fondata da Gio Ponti – ci si chiede se il passaggio dalla pompa di ben-

zina alla presa di corrente farà calare il sipario sulla stazione di servizio. No, possiamo rischiare di rispondere. Ma tutto il settore dei trasporti nel breve, medio e lungo termine è chiamato a soddisfare l'evoluzione strutturale di una domanda di mobilità di persone e merci e, soprattutto, a operare un consistente taglio alle emissioni di CO₂ che cambierà anche lo scenario visivo in cui viviamo e in generale tutte le nostre stratificate tipologie del Moderno, a partire dall'uso dell'energia. In questo scenario, il trasporto su strada continuerà ad avere un ruolo centrale per lo sviluppo economico e la mobilità del Paese e per ridurre l'impatto ambientale del settore è necessario uno sforzo impegnativo: si consideri che oggi oltre il 40% del parco auto italiano è composto da veicoli diesel, con i veicoli elettrici che rappresentano una porzione estremamente limitata (0,4% del totale con il 4% delle nuove immatricolazioni); la quota di immatricolazioni di veicoli commerciali pesanti diesel (96%) rispecchia sostanzialmente quella dell'area UE e la restante parte si divide tra carburanti alternativi e motori elettrici, con questi ultimi che rappresentano lo 0,1% del mercato.

La Commissione e il Parlamento europei hanno previsto indirizzi e deliberato provvedimenti, tra cui il pacchetto Fit for 55, che prevedono l'abbattimento delle emissioni di CO₂ anche nel settore dei trasporti terrestri e secondo tempi definiti (entro il 2030 e al 2050). L'efficienza carbonica, la neutralità tecnologica, il rischio di dipendenza rispetto alle risorse primarie, l'interazione con i sistemi di produzione di energia rinnovabile e l'analisi puntuale del ciclo di vita sono gli elementi consi-

derati nell'analisi dei vettori utilizzabili per la decarbonizzazione del trasporto terrestre.

Il quadro normativo dell'UE che regola la decarbonizzazione dei trasporti, oggetto di un processo che non è ancora concluso, mostra delle incoerenze di approccio. Ciò, tuttavia, non deve distogliere le istituzioni, gli operatori, i cittadini e le imprese dal vero obiettivo di medio periodo, ossia una transizione energetica del trasporto su gomma epocale, per sostituire i combustibili fossili (in Italia oltre 38 miliardi di litri di gasolio, benzina e GPL per autotrazione all'anno) con vettori non fossili nel giro di pochi decenni.

Accanto all'efficientamento dei motori termici a benzina e gasolio, le tecnologie disponibili sono riconducibili a: veicoli elettrici a batteria (i cosiddetti BEV), veicoli elettrici a idrogeno a cella di combustibile, veicoli ibridi e motori termici alimentati con combustibili alternativi (biocarburanti, biometano, gas naturale compresso e liquefatto o carburanti sintetici).

Allo stesso modo i vettori di alimentazione del settore dei trasporti stanno evolvendo per adeguarsi alle politiche di sostenibilità ambientale, che negli ultimi anni stanno trasformando l'economia. Un mondo nel quale probabilmente conviveranno diversi vettori energetici e diversi motori. Infatti, la complessità delle sfide della decarbonizzazione non è riconducibile a soluzioni univoche, a favore di una sola tecnologia: è necessaria una pluralità di linee di azione e soluzioni tecnologiche. Per esempio, l'assenza di emissioni locali inquinanti e climalteranti allo scarico rende il vettore elettrico una del-

le soluzioni principali per la mobilità leggera in ambito urbano. I comparti del trasporto caratterizzati da lunghe percorrenze e ingenti carichi vedranno invece un progressivo incremento dei combustibili liquidi e gassosi a ridotto contenuto di carbonio, come biocarburanti e biometano, anche utilizzati in forma pura, e l'impiego di carburanti sintetici (e-fuel e idrogeno).

L'introduzione di nuovi vettori energetici ovviamente richiede spesso nuovi sistemi di distribuzione. L'adeguamento delle infrastrutture ai diversi vettori energetici è disciplinato da specifiche norme europee, sia per l'elettrico sia per l'idrogeno. Prevedono vincoli sulla distanza tra i punti di ricarica e rifornimento lungo la rete transeuropea dei trasporti. Dal quadro normativo nella copiosa produzione dell'Unione Europea risulta anche una qualche incoerenza: alcune delle norme UE adottano un approccio tecnologicamente neutro (l'obiettivo è ridurre le emissioni climalteranti indipendentemente dalla tecnologia utilizzata per raggiungerlo), mentre altre favoriscono alcuni vettori, tra cui elettricità e idrogeno, generando possibili distorsioni del mercato intraeuropeo e mondiale. Si può tuttavia osservare che sono sempre più numerosi gli stakeholder che avanzano perplessità su questa impostazione, perché impone target difficilmente raggiungibili, non tiene conto di peculiarità e limiti dei sistemi industriali, e rischia di rallentare, invece che accelerare, la transizione energetica nei trasporti e, soprattutto, la riduzione delle emissioni inquinanti.

Per la misurazione delle emissioni di CO₂, per esempio, l'approccio del regolamento UE che disciplina i li-

velli di prestazione delle nuove autovetture e dei furgoni (2023/851/UE) è di tipo Tank-to-Wheel (TTW), ossia considera solo quelle prodotte durante il viaggio dei veicoli, dal serbatoio alla ruota. Così non si considerano le emissioni generate e/o assorbite lungo l'intero ciclo di trasformazione del fuel, come quelle necessarie per la produzione di energia elettrica o delle batterie, penalizzando soluzioni che compensano le emissioni generate al momento dell'uso con assorbimenti lungo l'intera filiera. Fra questi si annoverano, in particolare, i biocarburanti; fuel rinnovabili liquidi e gassosi già disponibili che non richiedono modifiche infrastrutturali e motoristiche, il cui impiego determina elevate riduzioni delle emissioni grazie alla componente biogenica delle loro materie prime. Per questo sarebbe preferibile valutare le emissioni generate lungo l'intera catena del valore del carburante e del veicolo, secondo l'approccio Lyfe Cycle Assessment (LCA), o quantomeno adottare una misurazione Well-to-Wheel (WTW) lungo l'intera catena di produzione del fuel dal pozzo alla ruota, che consideri la maggiore sostenibilità della trasformazione di carburanti e vettori energetici oltre quella TTW connessa al solo utilizzo del veicolo. La misurazione, per essere più aderente alla realtà dei fatti, dovrebbe consentire di valutare l'impatto ambientale che deriva dalla produzione dei propulsori (quale ad esempio l'impatto derivante dall'estrazione di materie prime rare essenziali per le batterie) e dal funzionamento complessivo del sistema (per esempio l'installazione di capacità di generazione rinnovabile addizionale, necessaria a produrre l'energia

elettrica per alimentare l'intero complesso dei motori elettrici del parco veicoli contemporaneo e futuro).

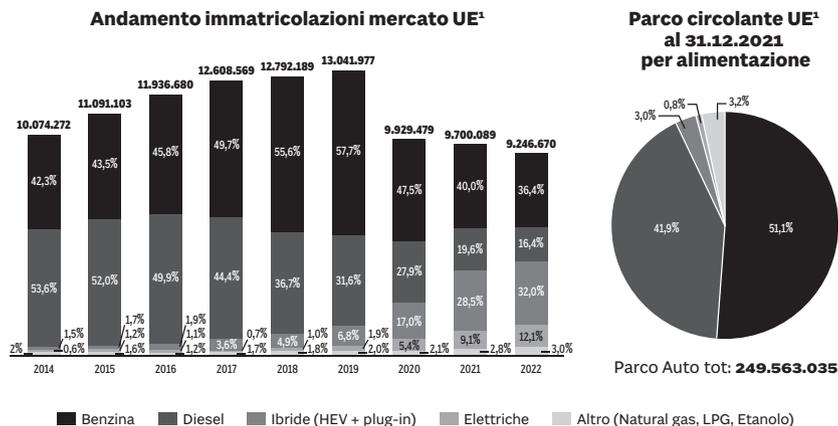
Al momento le emissioni LCA di un motore a combustione interna di ultima generazione alimentato esclusivamente con biocarburanti liquidi e biometano sono indicativamente inferiori a quelle di un veicolo elettrico alimentato dalla rete, e resteranno comparabili anche nel medio-lungo termine con la progressiva riduzione dell'energia elettrica generata dal gas e dal carbone. Va infatti sottolineato che per i veicoli elettrici gli impatti ambientali sono riconducibili ai processi di produzione, ricarica e riciclo finale, in particolare gran parte dell'inquinamento è relativo alla fabbricazione delle batterie e al loro smaltimento. Questo settore deve peraltro superare le problematiche che riguardano le emissioni della catena produttiva. Inoltre, esiste un tema di dipendenza per le componenti delle batterie da un solo Paese, la Cina. Infatti, i minerali critici rappresentano un altro aspetto strategico, in quanto le riserve sono concentrate in pochi Paesi ove la Cina ha acquisito una posizione dominante.

Superate le problematiche relative alla disponibilità dei vettori in termini di quantità e di infrastrutture per la distribuzione, si comincia a delineare una strada alla decarbonizzazione che nei prossimi decenni offre soluzioni di breve, medio e lungo termine basate sul principio di neutralità tecnologica. Al contempo bisogna individuare complementarità e sinergie tra le diverse soluzioni e i vettori energetici per massimizzarne efficacia ed efficienza.

In questa transizione energetica, che sarà comunque epocale, le autostrade svolgono un ruolo di primissimo piano. Queste, essendo parte integrante della rete infrastrutturale TEN-T, potranno abilitare, oltre all'incremento massivo dei biocarburanti liquidi e gassosi, l'ingresso dell'idrogeno nel trasporto merci, e stanno operando un massiccio programma di diffusione delle stazioni di ricarica elettrica a media e ad alta potenza; ad esempio, sulla sola rete ASPI sono oggi in fase di ultimazione cento stazioni di ricarica elettrica.

5.1 *Evoluzione del parco veicoli*

Nel 2021 il parco auto dell'UE è cresciuto dell'1,2% rispetto all'anno precedente. Presenta quasi 250 milioni di vetture circolanti (Figura 5.1). Le auto elettriche BEV e le ibride, incluse le PHEV cosiddette plug-in, rappresentano ancora meno del 4% del parco auto totale, nonostante l'aumento delle vendite registrato negli ultimi anni, mentre le trazioni a benzina e gasolio costituiscono il 93% del totale. Le immatricolazioni di nuove auto dell'UE sono state nel 2022 circa 9,2 milioni, con un calo delle vendite di circa il 5% rispetto al 2021 e di circa il 29% rispetto al 2019, anno pre-pandemia, a causa di una offerta debole, dovuta anche alla persistente carenza di semiconduttori – che allunga i tempi di produzione e della consegna delle vetture –, e una domanda debole determinata prima dalla pandemia stessa e successivamente dalla crescita dell'inflazione legata al conflitto russo-ucraino.



1) Dati EU27 netto Bulgaria e Malta, in quanto non disponibili.

Figura 5.1 - Mercato autovetture in Europa. Fonte: ACEA, *The Automotive Industry - Vehicles in use, Europe 2023 - Parco Circolante*.

In un mercato europeo complessivamente in calo, si rileva comunque nel 2022 la crescita delle vendite di auto totalmente elettriche, la cui quota di mercato sale al 12% (+3% rispetto al 2021), così come delle auto ibride (incluse le plug-in), con una quota di mercato del 23%. Continua il calo delle vendite di veicoli alimentati a benzina e gasolio, che tuttavia pesano ancora per oltre la metà delle vendite. Prosegue la tendenza ad abbandonare il diesel. La quota delle auto diesel nell'UE è scesa nel 2022 di circa il 15%, rispetto al periodo pre Covid; si consideri che solo nel 2014 il diesel rappresentava oltre la metà delle vendite nel mercato europeo.

Nel 2022 in Italia il parco auto conta circa 39,3 milioni di vetture circolanti, secondo per dimensioni solo a

I vettori energetici per la decarbonizzazione del trasporto su gomma

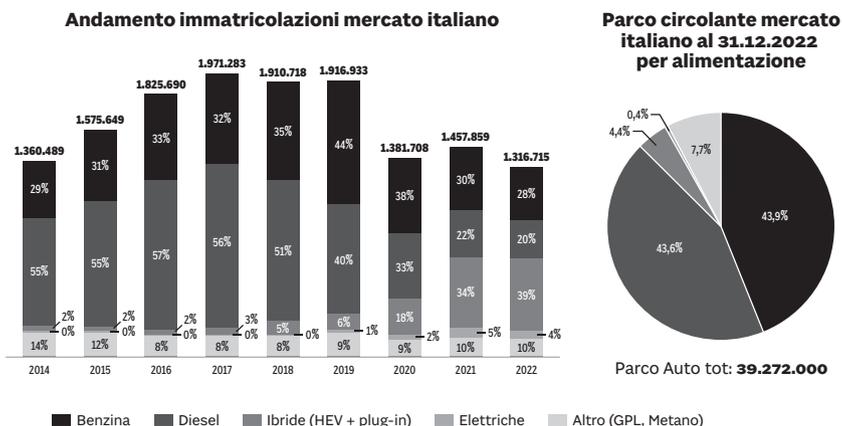


Figura 5.2 Mercato autovetture Italia. Fonte: Unrae Book 2022.

quello tedesco (oltre 48 milioni di unità) pur se con una dotazione automobilistica pro capite nettamente superiore (circa 67 vetture ogni 100 abitanti, contro le circa 58 vetture della Germania). Nonostante il calo del segmento, oltre il 40% del parco auto italiano è ancora composto da veicoli diesel, mentre i veicoli elettrici restano una porzione estremamente limitata (0,4% sul totale).

Il 2022 è stato per il mercato italiano dell'auto uno degli anni peggiori degli ultimi decenni: 1,3 milioni di auto immatricolate, un calo del 10% rispetto al 2021. Rispetto al 2019, la flessione supera il 31% (Figura 5.2).

Sempre nel 2022 l'Italia si colloca all'ultimo posto nella classifica dei primi cinque mercati europei della vendita delle auto per le immatricolazioni di vetture.

re elettriche e ibride tipo plug-in: circa il 9%, contro la Germania al 31%, Regno Unito al 23%, Francia al 22% e Spagna al 10%. Per quanto riguarda l'Italia, tuttavia, il Piano integrato per l'energia e il clima si pone l'obiettivo di arrivare a 6,6 milioni di autovetture elettriche entro il 2030, tra il 15 e il 20% del totale. Pertanto, se questo obiettivo sarà effettivamente realizzato, bisognerà pensare in tempi rapidi alla rete di rifornimento.

Secondo gli scenari di analisti di settore, la penetrazione dell'elettrico in Italia risulta più lenta e gli schemi di incentivazione strutturali e pluriennali saranno indispensabili per accelerare il rinnovo del parco circolante in Italia. In assenza di tali misure, il rischio è di avere un nuovo immatricolato low carbon in possesso di pochi e un parco circolante sempre più vetusto in possesso delle categorie meno abbienti. Lo scenario UNEM, ad esempio, proietta un parco auto elettriche (EV composto da BEV e PHEV) circolante al 2030 a circa 4 milioni, fermo restando l'importante ruolo che i carburanti tradizionali, resi sempre più sostenibili grazie a quote crescenti di biocarburanti, continueranno ad avere per ciò che riguarda il parco circolante.

Il settore dei veicoli pesanti ha caratteristiche completamente diverse. Le soluzioni per contribuire alla decarbonizzazione sono alquanto limitate. A eccezione dei biocarburanti e del biometano già disponibili e utilizzabili nelle infrastrutture e motorizzazioni esistenti, le alternative sono i camion a idrogeno ed elettrici. A parte i costi molto elevati, le alternative di lungo termine presentano molte criticità, come vedremo nei successivi paragrafi.

L'idrogeno è penalizzato da una produzione energivora del vettore, da difficoltà nella gestione logistica e da un'infrastruttura di produzione e distribuzione non sviluppata. L'elettrico, soprattutto su camion di grandi dimensioni, è attualmente penalizzato dalla limitata autonomia delle batterie, dai lunghi tempi di ricarica e dal peso delle batterie, che riduce la capacità di carico del veicolo.

Nel 2022 il diesel è ancora dominante nelle immatricolazioni UE con il 97% del totale, e in crescita rispetto al 2021 (96%), a causa del rallentamento delle immatricolazioni a gas naturale liquefatto, unica alternativa oggi disponibile e spesso identificata come soluzione ponte. Complessivamente, nel 2022 le immatricolazioni sono state di 275.000 unità, in crescita del 20% rispetto al 2021. Il calo delle immatricolazioni a gas naturale liquefatto è stato dovuto agli elevati aumenti dei prezzi del gas naturale, già oggi ritornati vicini ai valori storici.

In Italia, la quota di immatricolazioni diesel (96%) è in linea con la media dell'area UE. La restante parte si divide tra carburanti alternativi ed elettrici. Per gli elettrici si segnalano appena 17 immatricolazioni di veicoli pesanti BEV, che rappresentano lo 0,1% del mercato.

Il gas naturale, compresso o liquefatto, è la principale alternativa al diesel, anche se, con l'impennata imprevista dei prezzi del 2022, le immatricolazioni sono crollate rispetto al 2021. Tuttavia, il gas naturale potrebbe ancora giocare un ruolo importante nel medio-lungo periodo anche sotto forma di biometano. Alcuni dei principali costruttori stanno sviluppando veicoli a motorizzazione elettrica, come ad esempio IVECO, che si pone, fissando-

si target sfidanti di share BEV e FCEV al 2030, un target di mix di motorizzazioni della gamma pesante con una share dell'elettrico (BEV + FCEV) che supera quella dei carburanti gassosi.

Tuttavia, l'elettrificazione dei veicoli pesanti risulta limitata, tenendo conto dei limiti di densità energetica delle batterie nonché dei costi dei veicoli.

Per quanto riguarda l'idrogeno, le prospettive di sviluppo sono più di lungo termine, tenendo conto delle criticità da superare, come l'elevato extracosto dei veicoli a fuel cell (FCEV) e lo sviluppo dell'infrastruttura. Inoltre, in termini di TCO (Total Cost of Ownership), l'economicità dipenderà molto dal prezzo «alla pompa» dell'idrogeno.

5.2 Il quadro normativo e regolatorio di riferimento (veicoli e combustibili)

L'evoluzione del settore dei trasporti su gomma è fortemente condizionata dalle *policies* specifiche per questo settore e da altre, a più ampio spettro, che regolano tra gli altri anche il settore della mobilità, definendo vincoli di sostenibilità e riduzione emissiva per la commercializzazione dei vettori energetici.

Il quadro normativo e regolatorio di riferimento – che viene definito a livello europeo per poi essere recepito anche a livello nazionale – è piuttosto articolato e complesso, oltre che in divenire per tutta una serie di provvedimenti che si attendono da qui al 2024.

Partendo dalla disciplina europea, è possibile identificare:

- tra le policy specifiche per i trasporti su gomma, i regolamenti sulle emissioni CO₂ dei veicoli – leggeri e pesanti – di nuova immatricolazione,¹ il regolamento sulle emissioni di inquinanti² e quello sulle infrastrutture per le alimentazioni alternative (il c.d. AFIR, ex direttiva 2014/94/UE);
- tra le policy di più ampia portata, la direttiva sulle energie rinnovabili,³ quelle sulla qualità dei carburanti⁴ e sul sistema dello scambio di quote di emissioni serra,⁵ il regolamento sulla Tassonomia con relativi atti delegati che definiscono le attività economiche che possono accedere ai finanziamenti agevolati e il regolamento Effort Sharing,⁶ che disciplina la riduzione delle emissioni di gas serra (GHG) per i settori attualmente esclusi dall'ETS.

Molte di queste disposizioni legislative sono state oggetto delle revisioni del c.d. pacchetto Fit for 55, proposto dalla Commissione europea nel luglio 2021. Altri dossier, le cui proposte di emendamento sono state presentate nei mesi successivi, sono considerati complementari per il raggiungimento degli obiettivi climatici. Per alcuni dossier l'iter di approvazione successivo alla proposta iniziale è stato ormai chiuso o è prossimo alla finalizzazione. Per altre policy il testo definitivo è atteso non prima del 2024.

La tabella seguente riporta il quadro normativo europeo di riferimento, che viene poi meglio declinato nel seguito, distinguendo in particolare le disposizioni per le quali il processo legislativo è concluso da quelle la cui finalizzazione è attesa nel 2024.

| <i>Ambito</i> | <i>Regolamenti/direttive</i> | <i>Percorso legislativo concluso</i> |
|---|--|--------------------------------------|
| Policy su settore dei trasporti su gomma | • Regolamento sulle emissioni di CO ₂ relativo alle auto e ai veicoli commerciali leggeri di nuova immatricolazione | APPROVATO |
| | • Regolamento per gli standard emissivi dei veicoli pesanti di nuova immatricolazione | ATTESO NEL 2024 |
| | • Regolamento sulle emissioni di inquinanti | ATTESO NEL 2024 |
| | • Regolamento sulle infrastrutture per le alimentazioni alternative (c.d. AFIR) | APPROVATO |
| Policy a più ampio spettro su settore della mobilità con vincoli di sostenibilità ed emissioni per la commercializzazione dei vettori energetici | • Direttiva sulle energie rinnovabili (c.d. RED III) | APPROVATO |
| | • Direttiva sulla qualità dei carburanti (c.d. Fuel Quality Directive, FQD) con gli emendamenti introdotti dalla direttiva c.d. ILUC | APPROVATO |
| | • Direttiva sul sistema dello scambio di quote di emissioni serra (c.d. ETS) | APPROVATO |
| | • Regolamento sulla Tassonomia | APPROVATO |
| | • Regolamento Effort Sharing che disciplina la riduzione delle emissioni GHG per i settori attualmente esclusi dall'ETS | APPROVATO |
| | • Direttiva ETD, Energy Taxation Directive sulla tassazione dei prodotti energetici | ATTESO NEL 2024 |

Tabella 5.1 Quadro normativo europeo di riferimento.

Prima di entrare nel dettaglio di ciascuna disposizione, tuttavia, è interessante anticipare nello schema che segue i target emissivi previsti dalle suddette normative europee, con evidenza della differente metodologia applicata nella valutazione delle emissioni di GHG.

| | <i>Target riduzione della CO₂</i> | <i>Dead-line</i> | <i>Obiettivi emissivi GHG</i> | <i>Calcolo GHG</i> | <i>GHG tailpipe biofuel</i> |
|------------------------|---|----------------------|--|--------------------|--|
| Parco circolante | Reg. Effort Sharing (riduzione GHG) | 2030 | -43,7% (Italia) | TTW | zero |
| | Dir. ETS II - trasporto stradale* | 2030 | -43% | TTW | zero |
| | Dir. energie rinnovabili RED III - trasporti | 2030 | -14,5% (GHG) oppure 29% FER | WTW | zero |
| Nuove immatricolazioni | Reg. emissioni CO ₂ veicoli leggeri | 2030 2035 | -55% (auto) -50% (v. commerciali) -100% (entrambi) | TTW | Beneficio attualmente non riconosciuto |
| | Reg. emissioni CO ₂ veicoli pesanti ** | 2030 2035 2040 | -45% -65% -90% | TTW | |

* Il sistema ETS II sarà operativo per il settore stradale dal 2027/2028.

** Iter di approvazione in corso.

Tabella 5.2 Target emissivi previsti dalle normative UE.

A livello italiano la traiettoria di decarbonizzazione dei trasporti è fissata nel Piano nazionale integrato energia e clima (PNIEC). A giugno 2023 è stata inviata

alla Commissione europea una bozza di aggiornamento del PNIEC attualmente in vigore (che risale al gennaio 2020). La versione definitiva aggiornata sarà pubblicata a giugno 2024.

La proposta del PNIEC, in coerenza con i nuovi target europei, prevede un contributo delle FER nei trasporti del 30,7% (rispetto al 22% del PNIEC attuale), il contenimento dei consumi, l'incremento dell'utilizzo dell'energia elettrica rinnovabile di carburanti alternativi (anche in purezza), con il richiamo ai fondi del PNRR per nuove stazioni di ricarica e di rifornimento.

Come si vede il processo normativo non è ancora concluso e mostra delle incoerenze di approccio. Ciò non deve distogliere le istituzioni, gli operatori, i cittadini e le imprese dal vero obiettivo di medio periodo: una transizione energetica del trasporto su gomma epocale per sostituire gli oltre 38 miliardi di litri di combustibile fossile (gasolio, benzina e GPL) utilizzati in Italia per il trasporto su strada con altri vettori non fossili nel giro di pochi decenni (ISPRA, 2019).

Disposizioni legislative per le quali l'iter di adozione è concluso

A oggi le emissioni rilasciate dal settore trasporti stradali, insieme a quelle di altri settori,⁷ sono monitorate nell'ambito dell'Effort Sharing Regulation,⁸ con un nuovo target di riduzione complessivo delle emissioni GHG del 40% rispetto ai livelli del 2005. Per l'Italia, il target complessivo si declina nel 43,7% e restano da determinare le modalità attuative per conseguire l'obiettivo assegnato.

Questa misura è accompagnata dalla nuova direttiva ETS (Dir. 2023/959) che ha esteso lo scambio di quote di emissioni di CO₂ creando uno schema parallelo, c.d. ETS II, per trasporto stradale e per l'edilizia (con un target di riduzione GHG del 43% al 2030 vs 2005), e altre industrie non coperte dal sistema in essere (con un target di riduzione GHG del 42% al 2030 vs 2005). Il nuovo meccanismo si applicherà dal 2027, o al più tardi dal 2028, in relazione allo scenario dei prezzi sul mercato del gas e del Brent rilevato come media del primo semestre 2026 rispetto al periodo pregresso. Diversamente da quanto previsto a oggi, le entità regolate saranno i fornitori di carburante/combustibile e non gli utilizzatori finali. Tutte le quote saranno assegnate mediante asta, senza assegnazioni gratuite. In questo nuovo sistema le emissioni verranno valutate al tubo di scarico, ma la neutralità tecnologica sarà soddisfatta riconoscendo un valore nullo alle emissioni TTW rilasciate dai biofuel/biogas, coerentemente con le disposizioni della direttiva sulla promozione delle energie rinnovabili (c.d. RED II/RED III).

Il Regolamento AFIR (Alternative Fuels Infrastructure Regulation) conferma l'orientamento della Commissione, che favorisce alcuni vettori energetici (ossia elettricità e idrogeno), trascurando la capacità di decarbonizzazione di altri, in particolare il biometano, anche in apparente contrasto con altri atti, come il REPowerEU.⁹ Questo regolamento, su cui è stato raggiunto l'accordo definitivo (luglio 2023) tra le tre istituzioni europee, sostituisce la precedente direttiva AFID. Il regolamento, sebbene fissi standard minimi per la rete di ricarica o

rifornimento dei veicoli elettrici o alimentati a idrogeno, stabilisce soltanto target generici per l'infrastruttura di ricarica del metano liquefatto¹⁰ ed esclude completamente il L-CNG, gas naturale compresso.

Nel caso dell'elettrico, il target di distribuzione per i veicoli leggeri è di una stazione di ricarica ogni 60 km entro la fine del 2025 sulla rete TEN-T (TransEuropean Network - Transport) *core*, con potenza di ricarica crescente in base al numero di veicoli elettrici immatricolati. Lungo la rete TEN-T *comprehensive* il target è dilazionato di cinque anni. Per i veicoli pesanti, il target finale (al 2030) è di una stazione di ricarica ogni 60 km lungo il TEN-T *core* e ogni 100 km sul TEN-T *comprehensive*. In ogni area di parcheggio HDV dovranno essere previsti almeno due pool di ricarica al 2027 e minimo quattro pool al 2030. Per le infrastrutture di rifornimento di H₂ in grado di servire sia autovetture sia furgoni e camion, il target alla fine del 2030 è di una stazione di rifornimento ogni 200 km lungo il TEN-T *core*, con una rete sufficientemente capillare da consentire la circolazione dei veicoli a idrogeno in tutta l'UE. Per quanto riguarda il metano liquefatto, invece, il regolamento prevede unicamente un generico «numero appropriato» di stazioni di rifornimento lungo il TEN-T *core*, solo fino a gennaio 2025.

Il Regolamento relativo alle emissioni di CO₂ delle auto e dei veicoli commerciali leggeri di nuova immatricolazione¹¹ ha confermato quanto già previsto sulla rilevazione delle emissioni di CO₂ al tubo di scarico (Tank-to-Wheel) come metodologia di riferimento per confrontare le tecnologie, e introdotto limiti così strin-

genti, con la richiesta di ridurre al 2035 le emissioni del 100% (rispetto ai livelli del 2021), da determinare implicitamente il *phase out* del motore a combustione interna. L'obbligo del rispetto dei target è in capo ai produttori di veicoli, che dovranno vendere un mix di veicoli con un livello emissivo conforme ai target annui stabiliti. Sono previste penali di ammontare¹² rilevante nel caso i produttori non riescano a rispettare tali parametri.

Le linee guida per la sostenibilità della mobilità sono stabilite dalla direttiva per la promozione delle energie rinnovabili e dalla sua revisione, c.d. RED III.¹³ Questa direttiva, in generale, è favorevole a tutti i vettori energetici rinnovabili, compresi biocarburanti e biometano, adottando un approccio Well-to-Wheel, ossia considerando le emissioni complessivamente emesse e assorbite nel ciclo di vita dei carburanti. La norma prevede che al 2030 le energie rinnovabili dovranno coprire il 42,5% (+2,5% opzionale) dei consumi energetici finali e definisce un obiettivo specifico per i trasporti. Con riferimento al settore trasporti, gli Stati membri potranno scegliere tra un target di quota rinnovabile pari ad almeno il 29% del consumo finale e un target di riduzione del 14,5% dell'intensità dei gas a effetto serra dei carburanti immessi in consumo rispetto al valore di riferimento delle fonti fossili. Nel caso specifico dei trasporti, indipendentemente dalla scelta del target di quota rinnovabile o di riduzione emissiva, la normativa favorisce l'uso dell'elettrico.¹⁴

Da ultimo, per la mobilità risulta altrettanto rilevante il Regolamento Tassonomia¹⁵ che istituisce i criteri

di classificazione delle attività economiche in relazione alla loro capacità di contribuire agli obiettivi ambientali, favorendone l'eventuale accesso a finanziamenti agevolati. Oltre alla sua rilevanza economico-finanziaria, la Tassonomia UE è fondamentale perché, trattando trasversalmente tutti i settori, viene presa come riferimento per l'evoluzione normativa. Nel caso dei trasporti, la Tassonomia e i relativi atti delegati considerano le emissioni al tubo di scarico, metodologia che non tiene in considerazione il contributo alla decarbonizzazione fornito da biocarburanti o carburanti sintetici.

Dossier per i quali la finalizzazione è attesa nel 2024

Tra questi dossier rientra la revisione del Regolamento relativo alle emissioni di CO₂ dei veicoli pesanti di nuova immatricolazione (Reg. 2019/1242), proposta dalla Commissione europea a metà febbraio, che, confermando ancora una volta l'approccio emissivo allo scarico (approccio Tank-to-Wheel), introduce target di riduzione del GHG per le case costruttrici sempre più sfidanti: ovvero del 45% al 2030, 65% al 2035 e 90% al 2040 relativamente a camion (di oltre 5 tonnellate), pullman a lunga percorrenza (di oltre 7,5 tonnellate), nonché rimorchi (veicoli trainati da veicoli a motore). Per gli autobus urbani si richiede una riduzione del 100% al 2030. Come nel caso degli Standard CO₂ per i veicoli leggeri, anche questo Regolamento potrebbe rappresentare un concreto ostacolo, nel medio-lungo termine, per l'immissione in circolazione di mezzi con motori a combustione interna, anche in relazione agli elevati livelli di

penale in capo alle Original Equipment Manufacturer (OEM) in caso di non adempimento (4,250 euro per g di CO₂/ton chilometro). Il dossier è attualmente all'analisi del Parlamento e del Consiglio UE e sono possibili e auspicabili emendamenti rispetto alla proposta della Commissione. In particolare, diversi stakeholder hanno chiesto l'introduzione di un «Carbon Correction Factor» per valorizzare il contributo alla decarbonizzazione dei carburanti c.d. «CO₂ neutral» e permettere anche nel lungo termine l'immatricolazione di veicoli con motori a combustione interna, che utilizzano esclusivamente biocarburanti/biogas ed e-fuel in purezza.

La proposta di revisione del Regolamento sugli inquinanti (Euro 7 per LDV e HDV) per l'omologazione dei veicoli e delle componenti è stata pubblicata a fine 2022 dalla Commissione. Le novità rispetto ai regolamenti in vigore per i veicoli leggeri e pesanti (rispettivamente Euro 6 ed Euro VI) includono l'estensione del perimetro (ad esempio freni e pneumatici e durata delle batterie degli EV), la stretta sulle emissioni di NO_x (ossidi di azoto) e sull'ammoniaca. Affinché i carburanti c.d. «CO₂ neutral» rientrino nei regolamenti sulle emissioni dei veicoli di nuova immatricolazione, la definizione di questi carburanti e del «Carbon Correction Factor» deve essere inserita anche nel Regolamento Euro VII.

A supporto del percorso di decarbonizzazione è in discussione la direttiva 2003/96/EC «ETD: Energy Taxation Directive» e sulla tassazione dei prodotti energetici. Questa introdurrebbe una differenziazione dei valori minimi europei dell'accisa applicabile ai carburanti uti-

lizzati nei trasporti in base al loro contenuto emissivo.¹⁶ È opportuno infine evidenziare che i valori definiti nella direttiva rappresenteranno dei livelli minimi di accisa applicabili alle differenti categorie di prodotti e rimarrà confermata la discrezionalità di ciascuno Stato membro di fissare livelli di accisa più elevati.

5.3 Caratteri distintivi dei vettori energetici

Per analizzare le caratteristiche dei combustibili alternativi al diesel e alla benzina utilizzeremo l'approccio più generale Well-to-Wheel (wtw), perché rispetto al Tank-to-Wheel (ttw) si riferisce all'emissione dell'intera catena di trasformazione e produzione. Senza contare che il wtw si limita a contabilizzare le emissioni lungo il ciclo di vita del vettore energetico e non considera le emissioni per produzione, utilizzo e smaltimento del veicolo e dei suoi componenti. Per esempio, non considera la sostenibilità ambientale delle batterie, in particolare il contributo inquinante dell'estrazione di terre rare fondamentali per la loro realizzazione.

Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)

L'HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) è un biocarburante drop-in utilizzabile in purezza nei veicoli omologati, avendo proprietà chimico-fisiche simili a quelle del gasolio convenzionale. Presenta eccellenti qualità motoristiche, essendo composto da una miscela di isoparaffine ad alto contenuto energetico, caratterizzata dalla tota-

le assenza di zolfo, composti aromatici e poliaromatici. Viene prodotto a partire da materie prime rinnovabili: oli vegetali, grassi animali, biomasse derivanti da rifiuti e residui di lavorazioni agricole o industriali. Un esempio di rifiuti sono gli oli fritti rigenerati e i grassi animali. Pura economia circolare. Il processo di produzione si basa sull'idrogenazione delle biomasse: la biomassa è sottoposta a un idrotrattamento, che rimuove completamente l'ossigeno, e a una fase di isomerizzazione. Secondo il criterio convenzionale della direttiva UE 2018/2001, RED II, la riduzione delle emissioni di CO_{2eq} dell'HVO lungo tutta la filiera varia tra il 65% e il 90%, rispetto al mix fossile di riferimento. L'utilizzo dell'HVO non necessita investimenti infrastrutturali rilevanti, in quanto può essere fornito – sia in purezza sia in miscelazione con il diesel fossile – nelle quasi 22.000 stazioni di rifornimento carburante presenti nel territorio italiano. Nel 2023 sono state avviate, in particolare, le vendite del prodotto in purezza presso alcuni distributori ENI (circa 600 a fine anno), il cui numero si prevede in crescita nei prossimi anni grazie alle politiche di decarbonizzazione adottate nel Paese.

Lo scenario elaborato dalla UE per il Fit for 55 prevede al 2030 una domanda di circa 190 megatonnellate annue (Mton/a: ogni megatonnellata equivale a un milione di tonnellate) di carburante per il trasporto su gomma, di cui circa 62 Mton/a per i veicoli commerciali e pesanti. Lo scenario inerziale al 2050 prevede ancora circa 160 Mton/a di domanda, con una sensibile riduzione per i veicoli leggeri, ma senza significative dimi-

nuzioni per la parte commerciale e i veicoli pesanti. Una possibile evoluzione dello scenario al 2050 potrà vedere minimizzata la domanda di combustibile diesel per il trasporto leggero, ma difficilmente ridurrà in modo significativo il consumo sui veicoli da trasporto pesante, anche con una importante penetrazione del biometano e dell'idrogeno. Pertanto, si può ipotizzare che al 2050 la domanda di carburante per i veicoli pesanti diesel rimarrà comunque almeno pari a 40 Mton/a. Dato questo scenario, per contribuire alla riduzione delle emissioni di CO₂ del trasporto è imprescindibile l'utilizzo di bio-carburanti in purezza come l'HVO.

Oggi nel mondo esistono 27 impianti di bioraffinazione a tecnologia HVO per una capacità complessiva di lavorazione di circa 14 milioni di tonnellate annue, dei quali 4 in Europa. Il più rilevante produttore europeo di HVO è Neste, finlandese, con una capacità produttiva di oltre 1,5 Mton. Seguono ENI (circa 1,1 Mton), Total (0,5 Mton) e Preem (0,22 Mton). La capacità mondiale dovrebbe raddoppiare per effetto dell'entrata in marcia degli impianti già in costruzione, sino a superare 30 milioni di tonnellate nel 2026, dei quali circa 9 in Europa. Nel 2030 la capacità salirà a circa 37 milioni di tonnellate, di cui 12 in Europa, suddivisi su 60 impianti.

Elettrico

L'elettrico è una delle soluzioni promettenti nel panorama della mobilità urbana. La penetrazione dei veicoli elettrici è sostenuta da quadri legislativi e sussidi favorevoli in tutta Europa, poiché l'automobile a batteria

(BEV) può contribuire al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità per la maggiore efficienza intrinseca della propulsione e sfruttando la progressiva decarbonizzazione della rete elettrica, grazie alla quota crescente di fonti rinnovabili, nonché per le opportunità di integrazione nelle reti elettriche intelligenti attraverso le tecnologie digitali.

Nel primo semestre del 2023, in Italia le auto elettriche pure (BEV) hanno raggiunto la quota di mercato del 3,9% sul totale dell'immatricolato nel periodo gennaio-giugno (pari a 33.000 unità, con un incremento di circa il 32% rispetto allo stesso periodo del 2022).

Secondo le stime dell'osservatorio Motus-e, il mercato auto complessivo in Italia registra un immatricolato nei primi sei mesi di circa 845.000 unità, in crescita del 23% rispetto al 2022. Le BEV circolanti in Italia al 30 giugno 2023 sono quindi circa 200.000. Per quanto riguarda le PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), la percentuale di immatricolazioni sul totale è pari al 4,6%, per un totale di incidenza delle EV (BEV + PHEV) sul totale immatricolato del 8,5%. In Europa, la quota di mercato delle BEV è in crescita. Le immatricolazioni del mese di giugno 2023 vedono le BEV al 15,1% del totale. Si stima che nel 2030 in Italia il parco circolante di veicoli BEV possa raggiungere circa 3,9 milioni di unità, intorno al 10% del totale circolante, con una quota del 56% sulle immatricolazioni (Figura 5.3).

Al 30 giugno 2023, in Italia risultano installati circa 45.000 punti di ricarica ad accesso pubblico, circa 4000 punti in più rispetto a fine marzo 2023. Un quinto dei

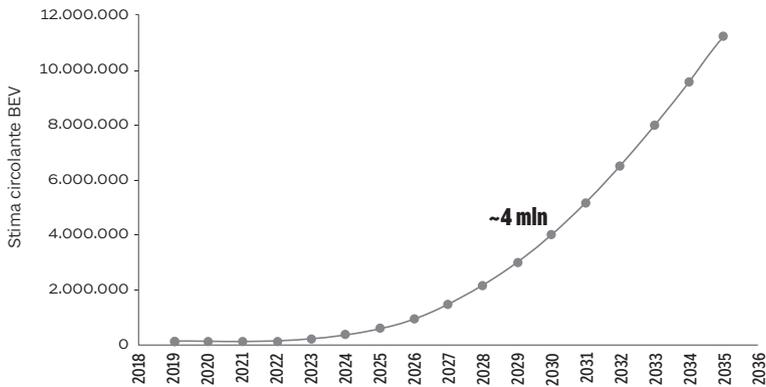


Figura 5.3 Stima crescita parco circolante BEV in Italia.

punti di ricarica installati non risulta utilizzabile perché non allacciato alla rete elettrica o per altre questioni di natura autorizzativa. Il 70% dei punti di ricarica rilevati risulta collocato su suolo pubblico (per esempio su strada) mentre il restante 30% su suolo privato a uso pubblico (supermercati, centri commerciali eccetera). L'88% dei punti di ricarica installati sono alimentati in corrente alternata, il restante 12% in corrente continua (Figura 5.4).

In termini di distribuzione geografica, il 56% dei punti di ricarica è nel Nord Italia, il 21% nel Centro e il 23% nel Sud e nelle Isole. La Lombardia, con 7657 punti è la regione più virtuosa, da sola possiede il 17% di tutti i punti di ricarica in Italia. Circa il 62% del totale dei punti di ricarica è presente in 6 regioni (Lombardia, Piemonte, Veneto, Lazio, Emilia-Romagna e Campania). Si continua a osservare una crescita nazionale, con Campania e

I vettori energetici per la decarbonizzazione del trasporto su gomma

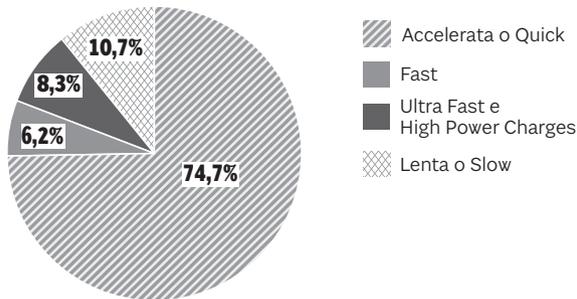


Figura 5.4 Punti di ricarica installati in Italia per potenza.

Lombardia in testa per ritmo di sviluppo. Crescono anche Liguria, Lazio e Sicilia.

Lo scenario presentato dallo *Smart Mobility Report 2022*, redatto dal Politecnico di Milano, prevede un numero totale di punti di ricarica ad accesso pubblico in Italia pari a 55.000 al 2025 e a 95.000 al 2030. Le infrastrutture di ricarica lungo le arterie autostradali sono indispensabili per facilitare gli spostamenti su tratti extraurbani e per favorire l'elettrificazione delle flotte aziendali. Al momento si contano sulle autostrade italiane un totale di punti di ricarica a uso pubblico pari a 657 unità, di cui oltre il 77% con potenza superiore a 43 kW. Considerando i 7318 km di rete autostradale in Italia, sono presenti 8,9 punti di ricarica ogni 100 km di rete autostradale, di cui 6,8 a ricarica veloce e ultraveloce.

Per far fronte all'espansione dell'elettrico sono necessari importanti interventi infrastrutturali a supporto dell'installazione delle stazioni di ricarica, in contesti extraurbani e urbani (ove le criticità sono ancora più si-

gnificative per come sono strutturate le città), e un'accelerazione del processo di installazione di impianti per fonti rinnovabili per rendere effettivamente «green» questa mobilità.

Gas naturale e biometano

Il terzo vettore di questa rassegna è il gas naturale, detto comunemente metano, e la sua componente di derivazione rinnovabile, ovvero il biometano. Prodotto dalla decomposizione anaerobica di materiale organico, è una miscela gassosa composta essenzialmente da metano, idrocarburo incolore, inodore, non tossico e non corrosivo. È una delle principali fonti energetiche disponibili attualmente su scala globale, sia nella forma gassosa sia in quella liquefatta (identificate dalle sigle GNC e GNL), ed è caratterizzata da una crescente diffusione anche nel settore della mobilità.

In Italia, la maggioranza dei volumi oggi disponibili è di origine fossile, ma aumenta in misura sempre maggiore il biometano ottenuto dall'upgrading di un biogas di partenza, prodotto dalla digestione anaerobica (un processo di tipo biologico, che avviene in assenza di ossigeno tramite reazioni biochimiche a opera di specifici batteri) di diverse materie organiche, come rifiuti, liquami, fanghi, scarti dell'agroindustria.

Il gas naturale compresso è ampiamente utilizzato nel campo dell'autotrazione, sia per la mobilità leggera sia per il trasporto pesante. L'Italia, forte della sua rete di metanodotti estesa e capillare, riveste il ruolo di primo mercato europeo per i consumi di metano per autotra-

zione, con oltre 1 miliardo di metri cubi di consumi di gas naturale nel 2020 (ridotti a 680 milioni di metri cubi consumati nel 2022, a causa dell'aumento repentino dei prezzi per effetto della crisi geopolitica internazionale, ma oggi in fase di recupero). Nell'ultimo decennio ha trovato sempre più spazio il metano allo stato liquido (gas naturale liquefatto), che permette una più ampia autonomia (superiore ai 1600 km) rispetto all'utilizzo di veicoli alimentati a gas naturale compresso. È una alternativa valida al diesel per i veicoli pesanti da lunghe percorrenze. Il biometano, in forma sia gassosa sia liquefatta, è perfettamente idoneo all'utilizzo nei veicoli alimentati con il gas naturale senza necessità di modifiche motoristiche e con le stesse prestazioni.

L'utilizzo del gas naturale comporta una serie di vantaggi ambientali. Rispetto ai combustibili tradizionali permette di ridurre le emissioni di CO₂ di circa il 20%, di ossidi di azoto di circa il 75% e di polveri sottili di circa il 97%. Nel caso di utilizzo di biometano (in forma sia compressa sia liquefatta) è possibile conseguire, nel ciclo Well-to-Wheel, importanti riduzioni delle emissioni climalteranti.

L'attuale disponibilità di veicoli a metano garantisce una sufficiente copertura per tutti i segmenti della mobilità su strada, dal trasporto leggero al trasporto pesante. Oltre un milione di veicoli a metano circolano sulle strade italiane (circa il 2% dell'intero parco veicolare nazionale), il numero più alto a livello europeo e tra i più importanti a livello mondiale. Le auto alimentate a GNC, rappresentano circa il 90% dell'intero parco veico-

lare alimentato a gas naturale con oltre 970.000 mezzi circolanti, hanno prezzi di listino analoghi a quelli dei modelli diesel o benzina. Sono circa 95.000 i veicoli commerciali leggeri L-CNG circolanti in Italia. Anche nel segmento autobus, l'Italia ha una posizione robusta: oltre 5000 autobus GNC-GNL circolanti. In Italia il gas naturale rappresenta circa il 5% dell'intero parco autobus, che sale quasi al 25% se si considera il segmento del trasporto pubblico locale. Nel 2022, il metano ha rappresentato oltre il 15% delle nuove immatricolazioni di autobus sopra i 3500 kg.

Una crescita analoga per il metano riguarda il trasporto merci su lunga distanza. Sono disponibili diversi modelli, sia a metano liquido sia compresso, con un'immatricolazione in Italia di oltre 4500 mezzi a partire dal 2015. La rete di rifornimento italiana del gas naturale conta oltre 1500 distributori pubblici ed è stata in crescita costante nell'ultimo decennio, di gran lunga la più consistente in Europa. Con specifico riferimento alla rete autostradale, risultano aperte al pubblico 63 stazioni GNC e 7 stazioni GNL. I distributori di GNL per il trasporto stradale pesante, il cui impiego è relativamente più recente (2014), sono complessivamente circa 140 e nel 2022 hanno avuto una crescita di 19 unità, +16% rispetto all'anno precedente. L'attuale infrastruttura può essere interamente sfruttata anche per il biometano. Attualmente risultano già rifornite a biometano 27 stazioni GNC e 7 stazioni GNL. I tempi e le modalità di rifornimento dei veicoli a gas naturale sono paragonabili a quelli dei veicoli tradizionali. Il pieno di un'autovettura

a gas naturale richiede mediamente 5 minuti, mentre ne occorrono circa 7 per un camion alimentato a GNL.

In termini di scenari di sviluppo del biometano, l'Italia, la cui produzione attuale si attesta a 0,3 miliardi di metri cubi (bcm), vanta un importante potenziale di crescita grazie al processo di conversione degli impianti biogas, ampiamente diffusi sul territorio con circa 2000 unità. Al 31 dicembre 2022 risultavano operativi 45 impianti di biometano¹⁷ e 10 di bio GNL. È atteso inoltre lo sviluppo di infrastrutture e servizi che assicureranno una crescita esponenziale di disponibilità di bio GNL.

Secondo il Consorzio italiano biogas (CIB), il potenziale massimo teorico del biometano in Italia al 2030 può arrivare a un livello totale di circa 8 miliardi di metri cubi. Inoltre, nella proposta di aggiornamento del Piano nazionale integrato energia e clima (PNIEC) del 2023 il biometano è stato identificato come una fonte importante per la decarbonizzazione del settore dei trasporti, prevedendone un suo uso per circa 1,2 Mtep (megatep, un milione di tep, ossia tonnellata equivalente di petrolio) al 2030, valore superiore a quello previsto dai DM biometano 2018 e 2022, ovvero 0,8 Mtep/a.

Idrogeno

Poi c'è l'idrogeno, una specie di invitato di pietra, sempre evocato, affascinante e problematico. È un gas inodore, incolore e insapore. Sulla terra è prevalentemente presente combinato con altri elementi (ad esempio acqua o composti organici). Non è una fonte di energia primaria, ma un vettore energetico (ossia un mezzo che

veicola energia) e pertanto deve essere prodotto tramite processi chimici, fisici o biologici che richiedono l'impiego di quantità di energia più elevate di quelle ottenibili dal suo utilizzo. L'idrogeno è considerato un vettore di energia pulita: nei suoi utilizzi, compresa la mobilità, non genera emissioni di anidride carbonica e, con opportuni accorgimenti tecnologici, non genera altri gas dannosi o climalteranti, ma non è di semplice gestione. È pulito, ma costa molto ottenerlo.

Ha densità molto bassa ed elevate diffusività e permeazione attraverso materiali, valvole, giunzioni, ma anche elevata dispersione in aria. In caso di perdite in spazi confinati può accumularsi velocemente e raggiungere la concentrazione di infiammabilità. Benché possenga il più elevato contenuto energetico per unità di massa rispetto a tutti gli altri carburanti, ha il contenuto energetico inferiore per unità di volume. Il potere calorifico volumetrico inferiore ha implicazioni per lo stoccaggio, in quanto è necessario più spazio o maggiore pressione. Oggi l'idrogeno è prodotto quasi esclusivamente a partire dal metano e dal carbone. Gli obiettivi di decarbonizzazione richiedono l'utilizzo di idrogeno prodotto con tecnologie diverse da quelle convenzionali e idonee a ridurre significativamente le emissioni di CO₂. A questo fine, le produzioni di idrogeno rinnovabile (verde) e low carbon rappresentano due strade complementari che, coesistendo, potrebbero garantire un percorso di sviluppo della filiera dell'idrogeno più efficiente dal punto di vista sia tecnico sia economico, anche se al momento non risultano competitive se comparate all'idrogeno

prodotto da gas o carbone. In particolare, l'idrogeno verde risente, oltre che degli elevati costi d'investimento, anche dell'elevato costo dell'energia elettrica necessaria per la produzione e del basso fattore di utilizzo degli impianti per l'intermittenza delle rinnovabili.

A livello mondiale, l'idrogeno è prodotto per circa il 99% a partire dal metano e dal carbone. Rispetto alla produzione complessiva di 94 megatonnellate annue, meno di 1 Mton/a è a basse emissioni.

In Italia, la domanda di idrogeno nel 2020 è stata pari a circa 0,5 Mton/a derivante principalmente dal settore della raffinazione (75%), della produzione di ammoniaca (15%) e della chimica (5%).

Per promuovere lo sviluppo di una filiera nazionale ed europea dell'idrogeno sono stati fissati degli obiettivi sull'idrogeno rinnovabile. Essendo una fonte secondaria, si considera rinnovabile solo se è rinnovabile la fonte

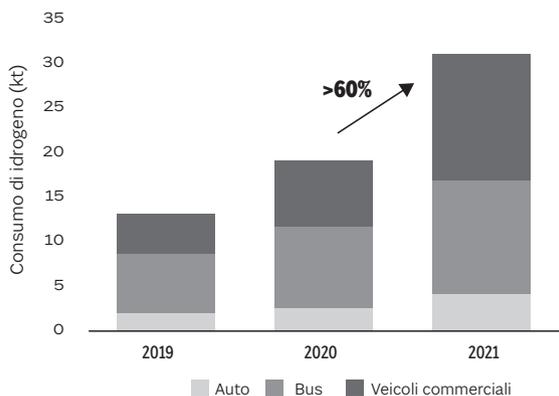


Figura 5.5 Consumo di idrogeno per il trasporto su strada. Fonte: IEA, Global Hydrogen Review, 2022.

primaria da cui è prodotto. Quindi è rinnovabile l'idrogeno da elettrolisi alimentata da elettricità di natura rinnovabile e l'idrogeno da biomassa. Anche l'idrogeno da carbonio riciclato e quello prodotto da flussi di rifiuti liquidi o solidi di origine non rinnovabile o dal gas di scarico di origine non rinnovabile dei processi industriali può essere utilizzato. Lo sviluppo dell'idrogeno nella mobilità potrà ricevere un forte impulso dal regolamento sulle infrastrutture per i combustibili alternativi.

In Italia nel 2020 sono state pubblicate le Linee guida preliminari per la strategia italiana dell'idrogeno, in cui viene fissato un obiettivo del 2% di penetrazione nel mix energetico, pari a 0,7 megatonnellate annue, entro il 2030 e, nell'ambito del trasporto stradale, sempre al 2030, un obiettivo del 2% di penetrazione dell'idrogeno nei camion a lungo raggio a celle a combustibili. In linea con tali obiettivi, il Piano nazionale di ripresa e resilienza, promuove lo sviluppo dell'idrogeno destinando risorse per 3,6 miliardi di euro. A fine giugno 2023 è stata trasmessa alla Commissione europea la proposta di aggiornamento del Piano nazionale energia e clima, in cui vengono riportati nuovi obiettivi minimi di consumo di H₂ rinnovabile al 2030.

La mobilità è uno dei settori in cui la diffusione dell'idrogeno può aiutare la decarbonizzazione. I veicoli a idrogeno possono essere complementari ai veicoli elettrici a batteria, in particolare per applicazioni che richiedono ampia autonomia, tempi di rifornimento rapidi e carico trasportato rilevante. Quindi: trasporto medio-pesante, trasporto pubblico e applicazioni del trasporto leggero quali il servizio taxi.

La tecnologia oggi predominante tra i veicoli disponibili è rappresentata dai veicoli a cella a combustibile (FCEV), che garantiscono autonomie elevate grazie alla pressione di immagazzinamento (650 km con un pieno, per i mezzi pesanti si arriverà a superare i 1000 km), modalità e tempi di rifornimento pressoché comparabili a un'auto ad alimentazione tradizionale, beneficio ambientale delle zero emissioni. Tra i principali limiti della tecnologia FCEV restano gli elevati costi d'acquisto del veicolo, la disponibilità infrastrutturale di idrogeno a costi competitivi, la complessità della gestione delle alte pressioni. Alcune case automobilistiche, in complementarità con la tecnologia fuel cell, stanno sviluppando soluzioni che garantiscano l'alimentazione a idrogeno anche dei motori tradizionali a combustione interna, che assicureranno l'annullamento delle emissioni di CO₂.

La diffusione nel mondo dei veicoli alimentati a idrogeno sta gradualmente crescendo. Il segmento più diffuso sono le autovetture, con oltre 60.000 unità vendute nel mondo. In crescita anche la disponibilità di autobus, operativi in Europa a partire dal 2019 con i modelli urbani Classe I e oggi presenti sulle strade con oltre 300 unità. Per quanto concerne il segmento degli autocarri medio-pesanti l'offerta di veicoli è finora limitata: i principali produttori di camion heavy-duty al mondo prevedono invece il lancio sul mercato dei loro mezzi fuel cell tra il 2024 e il 2027. Infine, i maggiori player del mercato di veicoli commerciali leggeri si stanno indirizzando verso una soluzione ibrida (c.d. mid power) tra l'architettura di alimentazione a fuel cell e l'architettura

elettrica a batteria, la cui commercializzazione è stata avviata nel luglio 2022 in Francia e Germania.

Parallelamente alla disponibilità dei veicoli, emerge la necessità di pianificare e implementare un'adeguata infrastruttura di distribuzione, in particolar modo le stazioni di rifornimento per l'idrogeno. Attualmente in Italia sono presenti solo due stazioni di rifornimento di H₂. Nel mondo, a giugno 2022, erano 975, di cui 175 in Europa. Le criticità infrastrutturali da affrontare per la diffusione di una parte della mobilità a idrogeno non sono secondarie. Una criticità, ad esempio, riguarda l'approccio alla sicurezza antincendio delle stazioni di servizio a idrogeno e degli impianti di generazione. Esso è molto cautelativo e impone requisiti stringenti in termini di distanze di sicurezza e infrastrutture di protezione, restringendo le possibili aree di sviluppo di questa tecnologia di rifornimento.

Gli obiettivi europei sono molto ambiziosi e il PNRR prevede in Italia almeno quaranta stazioni di ricarica entro giugno 2026.

L'idrogeno ha più energia per unità di massa rispetto al gas naturale o alla benzina, ma ha una scarsa densità energetica per volume, quindi per muovere una quantità di energia pari a quella di altre fonti fossili richiede volumi maggiori (a parità di contenuto energetico, 1 litro di benzina corrisponde a circa 7 litri di idrogeno a 700 bar di pressione). Per questo motivo, e per l'inesistenza di un network di distribuzione di questo gas, i modelli distributivi possono variare rispetto a quelli adottati per il metano e ancor più per i carburanti liquidi. Nello specifico, gli impianti di distribuzione di idrogeno possono

essere alimentati secondo diverse modalità: rifornimento con carri bombolai, produzione in sito (per esempio tramite elettrolisi o reforming di biometano), idrogenodotto oppure rifornimento con autocisterne che trasportano idrogeno in forma liquefatta (Figura 5.6).

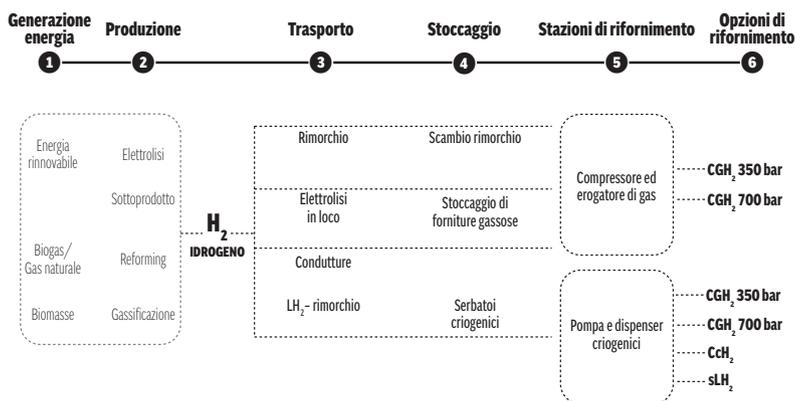


Figura 5.6 Modello distributivo dell'idrogeno.

Nel prossimo futuro, per poter soddisfare livelli di domanda di idrogeno crescente, risulta fondamentale uno sviluppo dell'infrastruttura di trasporto dell'idrogeno centralizzata. Gli idrogenodotti sono il sistema più efficace per poter trasportare grandi volumi di idrogeno in forma gassosa da impianti dedicati di grande taglia, localizzati in aree ad alto potenziale di fonti rinnovabili, e veicarli ai centri di consumo. Una modalità più efficiente rispetto a un sistema basato sul trasporto dell'energia elettrica e conseguente conversione in idrogeno al punto di consumo.

E-fuel

Gli e-fuel sono combustibili liquidi o gassosi, di origine sintetica, derivanti dalla combinazione di CO₂ (o azoto) con idrogeno («green» o «low carbon») prodotto dall'elettrolisi dell'acqua con elettricità a totale o prevalente contenuto rinnovabile.

Per la produzione degli e-fuel il punto di partenza è dunque l'utilizzo di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili per alimentare il processo di elettrolisi, in grado di scindere i componenti dell'acqua (demineralizzata) in ossigeno e idrogeno, quest'ultimo il reagente principale dei processi di sintesi considerati a valle. I consumi specifici di acqua sono elevati (circa 10 kg per ciascun chilogrammo di idrogeno prodotto).

L'anidride carbonica, che costituisce la fonte di carbonio necessaria alla sintesi di e-fuel idrocarburici, può essere estratta direttamente dall'atmosfera (DAC, Direct Air Capture), oppure catturata da processi terzi (Carbon Capture) di natura biogenica.¹⁸

A valle di questa prima fase, sono disponibili vari processi di conversione che passano attraverso la tradizionale chimica del gas di sintesi (syngas), ossia la miscela reattiva di H₂, CO e CO₂. Più in particolare, nello specifico dei processi di produzione indirizzati a e-fuel liquidi per il trasporto si fa riferimento alla sintesi di Fischer-Tropsch e alla sintesi del metanolo:

- Il processo di Fischer-Tropsch¹⁹ (FT) è in grado di produrre un «syncrude» a partire da un gas di sintesi composto da CO, CO₂ e H₂, opportunamente

calibrato mediante il processo catalitico «Reverse Water Gas Shift» (RWGS).

Il «syncrude» ottenuto viene successivamente raffinato e convertito con i processi tradizionali industriali per produrre tagli jet fuel, diesel, benzina (quest'ultimo solo se si impiegano catalizzatori a base di ferro), che possono infine essere utilizzati come combustibili sostitutivi rispetto a quelli tradizionali.

- La sintesi del metanolo, mediante il processo catalitico tradizionalmente licenziato da società come Haldor Topsoe, Johnson Matthey, Air Liquide, prevede, analogamente alla sintesi FT, il ricondizionamento del syngas mediante RWGS dovuto alla presenza di CO, CO₂ e H₂ nella miscela reagente. Un'alternativa innovativa dichiarata dai sostenitori di questa via di sintesi e-fuel sembra essere l'idrogenazione diretta della CO₂ a metanolo. La sintesi «diretta» determina una semplificazione impiantistica, con conseguente riduzione dei costi d'investimento e operativi, migliorando l'efficienza del sistema. La chiave del processo di sintesi diretta risiede nello sviluppo di catalizzatori a più alta selettività rispetto a reazioni competitive (ad esempio RWGS) e resistenti al deterioramento dovuto alla presenza dell'acqua di reazione.

Allo stato attuale, processi su scala industriale per produrre e-fuel partendo da H₂ e CO₂ non sono anco-

ra disponibili. Sebbene vi siano numerose compagnie e consorzi che dichiarano la propria tecnologia già pronta a livello commerciale, di fatto quasi nessuno ha sviluppato impianti di taglia industriale o semindustriale, a eccezione della società islandese CRI (Carbon Recycling International). La sola CRI rivendica, infatti, una tecnologia comprovata e sviluppata per la sintesi diretta, concretizzatasi nel 2011 con il primo impianto dimostrativo al mondo per la produzione di combustibile da CO₂.

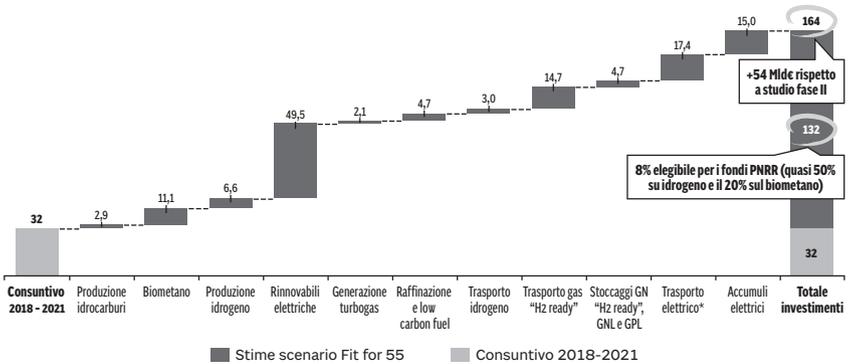
Tra gli altri processi di produzione che possono utilizzare per via diretta la CO₂ si segnalano il processo di idrogenazione della CO₂ a metano o metanazione e la sintesi di «e-ammonia» mediante la reazione di produzione ammoniacale Haber-Bosch, che richiede idrogeno, prodotto via elettrolisi dell'H₂O, e azoto mediante processi di separazione dall'aria (ASU).

In accordo ai piani REPowerEU l'Unione Europea ha previsto nel 2030 l'importazione di 4 Mton/a di ammoniacale per uso chimico ed energetico.

5.4 Investimenti nazionali

Gli investimenti in infrastrutture energetiche necessari per raggiungere gli obiettivi europei di decarbonizzazione previsti dal Fit for 55 sono stimati in 132 miliardi di euro tra il 2022 e il 2030. Buona parte degli investimenti riguardano la produzione di energia elettrica rinnovabile, per cui è previsto un incremento significativo della

I vettori energetici per la decarbonizzazione del trasporto su gomma



Nota: la stima degli investimenti non considera l'aumento dei costi delle materie prime attualmente in atto; numeri a consuntivo e totale investimenti arrotondati.

* Valorizzazione investimenti su 9 anni rispetto alla vista decennale del Piano di Sviluppo di Terna.

Figura 5.7 - Consuntivo (mld €, 2018-2021) e stima investimenti (mld €, 2022-2030) nel settore energetico. Fonte: Confindustria Energia, *Infrastrutture energetiche per una transizione giusta e sostenibile*, 3^a edizione, 2022.

produzione, del suo trasporto e dei sistemi di accumulo, necessari per garantire il bilanciamento della rete elettrica nazionale.

Anche l'idrogeno ha una parte consistente degli investimenti, specialmente per la realizzazione della rete di trasporto. Considerando anche gli obiettivi di sicurezza energetica e sostenibilità sociale, gli investimenti superano i 180 miliardi di euro. In particolare, gli investimenti che impattano sul sistema trasporti sono: interventi di ottimizzazione e sviluppo della produzione di gas nazionale per aumentare l'indipendenza energetica, adeguamento dei gasdotti già pronti per lo sviluppo dell'idrogeno, sviluppo della capacità di rigassificazione

e potenziamento delle infrastrutture di stoccaggio; sviluppo nazionale della produzione di idrogeno e delle infrastrutture di importazione; aumento della produzione di energia rinnovabile e di biocombustibili (biometano, bio GPL, HVO, bioetanolo, metanolo ed etanolo eccetera) e altri carburanti a emissioni ridotte (tra cui i recycled carbon fuel e gli e-fuel); progetti di sviluppo della cosiddetta cattura di carbonio per la decarbonizzazione dei settori power tradizionali e di quelli particolarmente difficili da abbattere; investimenti sulla rete elettrica e sui sistemi di accumulo di grande taglia per accompagnare la crescita di capacità rinnovabile installata.

5.5 Sintesi e confronto delle fonti e dei vettori energetici

Molte sono le tecnologie che ci aiuteranno a raggiungere la decarbonizzazione dei trasporti, alcune già disponibili e altre ancora in via di sviluppo, e crediamo sia importante sceglierne la combinazione ottimale, massimizzando l'efficienza e l'efficacia nel breve-medio-lungo periodo adottando una visione multidimensionale che contempli gli impatti:

- sulla *macroeconomia*: puntando ad accrescere il valore aggiunto e l'occupazione, valorizzando la competitività dell'industria e riducendo l'impatto sulle finanze pubbliche grazie all'impiego efficiente delle risorse e delle competenze dei lavoratori;
- sulla *catena del valore*: valutando le implicazio-

ni sulle filiere automotive, aviazione e marittima, senza tralasciare il settore agricolo e le potenzialità del comparto di trattamento rifiuti;

- sulla *sicurezza dell'approvvigionamento energetico e delle materie prime dell'UE*: riducendo al minimo la dipendenza da Paesi extra UE, in particolare quelli meno affidabili;
- sulla *resilienza dell'UE*: accrescendo la capacità di resistere a sfide impreviste ma, oggi più che mai, presenti, come pandemie o conflitti armati;
- sulle *regioni limitrofe*: promuovendo la cooperazione dell'UE con aree extra UE, partendo dalle più vulnerabili, come ad esempio l'Africa;
- Sul *clima*: secondo una visione olistica fondata su una valutazione delle azioni per la decarbonizzazione basata sul ciclo di vita o, quantomeno, Well-to-Wheel.
- Sui *cittadini*: considerando le disponibilità di spesa (accesso alla mobilità) e l'importanza di una transizione giusta, che non lasci indietro nessuno, con una partecipazione attiva la più ampia possibile.

Tenuto conto di tali impatti, la strada più efficiente ed efficace per la decarbonizzazione della mobilità è senza dubbio quella che, secondo un principio di neutralità tecnologica, considera le soluzioni disponibili in modo sinergico e complementare tra di loro, sulla base dello specifico segmento di utilizzo.

Nei paragrafi precedenti sono state evidenziate le opportunità che possono essere colte grazie allo sviluppo

delle soluzioni di mobilità stradale sostenibile, sinteticamente riassunte nella Tabella 5.3.

La Figura 5.8 rende ancora più evidente la comparazione tra vettori andando ad analizzare, a parità di fonti primarie di produzione, il loro rendimento energetico e il contributo alla riduzione di $\text{CO}_{2\text{eq}}$ lungo il ciclo dal “pozzo alla ruota” (wTW). Dall’analisi emerge che:

- il vettore elettrico contribuisce alla riduzione delle emissioni in misura sempre più significativa – fino ad azzeramento delle stesse – soltanto al crescere della quota di fonte primaria rinnovabile, pur restando in ogni caso la soluzione con il miglior rendimento energetico rispetto agli altri vettori valutati;
- per gestire la transizione verso l’utilizzo sempre maggiore di fonti rinnovabili e riuscire a raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione, è utile anche l’utilizzo di vettori derivanti dalle biomasse (HVO e biometano) che assicurano una netta riduzione delle emissioni rispetto ai veicoli alimentati da combustibili fossili e sono allo stesso tempo direttamente utilizzabili nei motori a combustione interna.

L’efficacia della risposta di decarbonizzazione del trasporto stradale, in particolare, deve essere posta in relazione alla composizione del parco auto, e garantita dall’adozione di soluzioni complementari e attuabili nel minor tempo possibile, secondo scelte basate sulla maturità tecnologica, la neutralità tecnologica e la disponibilità delle fonti e dei vettori energetici. Come anticipato nei

I vettori energetici per la decarbonizzazione del trasporto su gomma

| Parametri | HVO | GNC/GNL | Biometano | Elettrico | Idrogeno | E-fuel | |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Riduzione emissioni gas a effetto serra ⁽¹⁾ | 65-90% ⁽²⁾ | 20-25% | 74-93% ⁽⁵⁾ | 75% - 100% ⁽⁶⁾ | >70% ⁽¹⁰⁾ | > 70% ⁽¹⁰⁾ | |
| Emissioni locali gassose | Presenti | Presenti | Presenti | Assenti | Assenti | Presenti | |
| Standard di sicurezza | Compa-rabili a vettori tra-dizionali | Più strin-genti | Compa-rabili a vettori tra-dizionali | |
| Efficienza energetica dell'applicazione (TTW) | 20-38% | 20-38% | 20-38% | 70-80% | 50-55% | 20-38% | |
| Punti di rifornimento disponibili in Italia | 600 ⁽³⁾ | >1500 | 34 | ≈41.000 | 2 | - | |
| Disponibi-lità veicoli al 2021 (mln) | LDV | ≈17 ⁽⁴⁾ | 1 | | ≈0,4 ⁽⁷⁾ | 13 unità | ≈36 ⁽¹¹⁾ |
| | HDV | ≈5 ⁽⁴⁾ | ≈0,1 | | ≈0,03 ⁽⁸⁾ | <0,001 | ≈5,2 ⁽¹¹⁾ |
| Tempi di riforni-mento (minuti) | LDV | ≈2 | ≈2 | ≈2 | 10-720 ⁽⁹⁾ | ≈3-5 | ≈2 |
| | HDV | ≈4 | ≈4 | ≈4 | ≈120-600 ⁽⁹⁾ | ≈8-20 | ≈4 |

1) Emissioni delle fonti/vettori calcolata secondo un approccio Well-to-Wheel come previsto dalla Renewable Energy Directive 2018/2001 (RED II); riduzione rispetto al valore del *fossil fuel comparator* (94 CO_{2eq}/Mj).

2) Valore massimo raggiungibile con feedstock da residui e rifiuti, che potrebbe superare il 100% con il recupero del biochar (cattura del carbonio al suolo).

3) Sono considerate solo le stazioni a marchio ENI, a fine 2023. È in programma la progressiva disponibilità di punti vendita HVO sull'intera rete ENI (1000 nel 2024).

4) Veicoli diesel in circolazione in Italia.

5) Il valore medio per il 2021 in Italia è stato pari a ≈77% (fonte GSE). Valore massimo raggiungibile con feedstock di tipo municipal waste (fonte: report JRC, *JEC Well-To-Wheels report v5*), che potrebbe superare il 100% utilizzando per esempio concime animale come feedstock.

6) In chiave Well-to-Wheel: valore massimo con alimentazione 100% rinnovabile (FER), valore minimo con alimentazione da rete (considerando l'emissività media del mercato elettrico in Italia, media 2021, dato ISPRA); il dato già sconta l'efficienza del motore elettrico. Valore riferito al solo vettore energetico, non considera gli impatti di manifattura e smaltimento delle batterie che riducono il potenziale di GHG saving in chiave LCA, in particolare con riferimento al valore massimo (100% non più raggiungibile).

7) Considerando veicoli BEV e PHEV al 31 agosto 2023, fonte UNRAE.

8) Di cui 0,02 ibride.

9) Dipende dalla capacità della batteria e dal tipo di corrente AC/DC.

10) 70% è il valore minimo richiesto dalla Renewable Energy Directive 2018/2001 (RED II) per gli RFNBO (Renewable Fuels of Non Biological Origin).

11) Veicoli circolanti diesel, benzina e GPL.

Tabella 5.3 Confronto vettori energetici.

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade

| Fonte Primaria | Combinazione vettore - veicolo | Rendimento energetico WTW | Emissioni (gCO _{2eq} /kWh) | | |
|---------------------------------|--|---------------------------|-------------------------------------|-----|------|
| | | | WTT | TTW | WTW |
| Petrolio | Diesel - ICE | 27% | 68 | 264 | 332 |
| | Elettrico - BEV* | 38% | 356 | 0 | 356 |
| Gas naturale | Metano - ICE | 28% | 54 | 202 | 256 |
| | Idrogeno grigio - FCEV | 20% | 367 | 0 | 367 |
| Biomasse | HVO - ICE | 16% | -178 | 254 | 76** |
| | Biometano - ICE | 18% | -172 | 202 | 30 |
| Mix produzione elettrica Italia | Elettrico - BEV* ~40% da rinnovabili (2021) | 34% | 267 | 0 | 267 |
| | Elettrico - BEV* 55% da rinnovabili (al 2030) | 38% | 140 | 0 | 140 |
| Fonti energia rinnovabile | Elettrico - BEV* tendenziale post 2050 | 62% | 0 | 0 | 0 |
| | Idrogeno verde - FCEV* tendenziale post 2050 | 18% | 0 | 0 | 0 |

* I dati sono relativi ai processi a valle della produzione di energia (es. non viene considerata l'efficienza del pannello fotovoltaico).

** Il valore rappresenta la media di riduzione attuale e nel breve termine. Il GHG saving è atteso in aumento per «utilizzo di feedstock a più alta sostenibilità e miglioramento dei processi produttivi».

Figura 5.8 Confronto tra vettori energetici, provenienti da diverse fonti primarie, in base alle proprietà energetiche (rendimenti) e ambientali (emissioni di CO_{2eq}) lungo il ciclo WTW. Fonte: elaborazione su dati JEC Well to Wheel Report V5, Joint Research Centre, 2020.

paragrafi precedenti, alcune norme definite o in corso di definizione in ambito europeo (ad esempio regolamenti standard CO₂ per Light Duty Vehicles, LDV, e Heavy Duty Vehicles, HDV) non considerano appieno i benefici ottenibili dall'impiego di fuel rinnovabili e low carbon nei

motori a combustione interna (ICE), poiché adottano un approccio sul calcolo delle emissioni allo scarico del veicolo e non LCA. Nell'impact assessment che accompagna le proposte legislative in questione, la Commissione giustifica l'approccio limitato allo scarico sulla convinzione che, anche in un'ottica *life cycle*, uno Zero Emission Vehicle (ZEV) presenti impatti inferiori sui gas serra. A dimostrazione della tesi vengono prese a riferimento le analisi sul ciclo di vita dei fuel e dei veicoli presenti nello studio sviluppato dalla società Ricardo Energy & Environment dal titolo *Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA*, sviluppato per la DG Clima nel 2020.

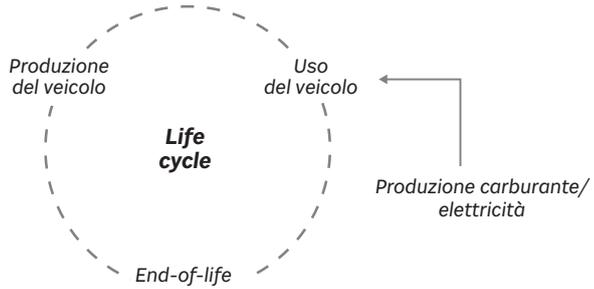
Tuttavia, un'analisi critica e più approfondita del lavoro di Ricardo rivela una realtà più complessa, almeno per quanto riguarda la componente GHG. Lo studio, infatti, confronta dei veicoli elettrici (prodotti con sempre minori emissioni associate e alimentati da una rete elettrica progressivamente altamente decarbonizzata) con veicoli a combustione interna alimentati con un *blending* che anche nel lungo termine presenta almeno il 60% di componenti fossili. In un tale confronto il livello emissivo di tutte le tipologie di veicoli ICE considerate (autovetture, autocarri rigidi e autoarticolati) è sempre superiore alle emissioni LCA dei relativi veicoli elettrici e a celle a combustibile. Non vengono pertanto analizzati i benefici ambientali derivanti dall'utilizzo in purezza di biocarburanti liquidi e gassosi ed e-fuel. Utilizzando gli elementi presenti nello studio Ricardo e integrandoli con il report V5 elaborato dal JRC per la Commissione

UE, sono stati calcolati i livelli delle emissioni LCA di un motore ICE alimentato esclusivamente da carburanti low carbon. A titolo di esempio, si riporta nella Figura 5.9 il confronto²⁰ fra le emissioni di veicoli ICE, BEV e fuel cell, come sintetizzate nelle conclusioni di Ricardo, e le emissioni generate da un veicolo ICE-diesel che utilizza HVO da UCO in purezza e da un veicolo ICE-L-CNG che utilizza biometano da rifiuti urbani in purezza.

Osservando l'evoluzione temporale al 2030 proposta nello studio, si può affermare che l'impiego di feedstock altamente sostenibili derivati da residui e rifiuti (ad esempio HVO da UCO, biometano da rifiuti urbani), come anche l'applicazione di migliori pratiche agricole che permettono di accumulare carbonio al suolo o l'utilizzo di sistemi di cattura e stoccaggio di CO₂, possono permettere di ottenere benefici ambientali competitivi nel breve, medio e lungo termine con le soluzioni elettriche e fuel cell, anche qualora alimentate completamente da fonti rinnovabili. Ciò grazie alle emissioni assorbite nella fase a monte della catena di produzione dei fuel e alle minori emissioni generate durante la manifattura del veicolo.

Risulta pertanto evidente che al processo di penetrazione dell'elettrico possa essere affiancata l'adozione di biocarburanti liquidi e gassosi al fine di raggiungere complessivamente i medesimi obiettivi di sostenibilità ambientale, accelerando al contempo la traiettoria di decarbonizzazione. Ciò permette altresì di garantire una *just transition* nel settore della mobilità in quanto, benché le immatricolazioni di mezzi alimentati con i nuovi vettori energetici siano in crescita, e i trend evidenzino

Principali fonti di emissione in ottica LCA



Emissioni
gCO₂e/km

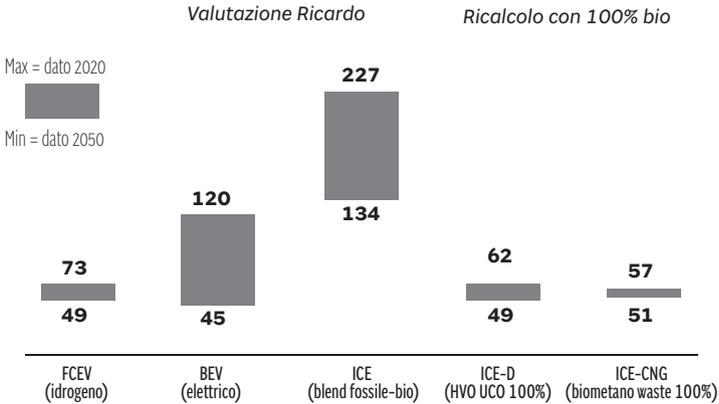


Figura 5.9 Emissioni di gas serra durante il ciclo di vita per ICE, BEV e FCEV. Lower medium cars (consumo: ≈ 6 l diesel/100 km; percorrenza vita utile: 225.000 km). I valori relativi all'HVO sono stati ricalcolati a partire dai dati nativi dello studio Ricardo.²¹

un parco mezzi ICE preponderante anche nel medio e lungo periodo. A tal fine risulta prioritario un cambio di approccio nella valutazione delle emissioni dei veicoli, passando dall'approccio Tank-to-Wheel a quello LCA.

Una valutazione comparativa delle diverse alternative per la mobilità sostenibile non può poi prescindere dall'analisi della sostenibilità economica delle soluzioni adottate. Dal punto di vista del consumatore un'informazione utile al confronto è rappresentata dal Total Cost of Ownership (TCO), ovvero dal montante economico necessario per acquistare il veicolo, utilizzarlo e, da ultimo, rottamarlo o rivenderlo nel mercato dell'usato.

Il TCO dipende da molte variabili e non è semplice darne una lettura comparativa. Ad esempio, a oggi esistono differenze anche sostanziali nel valore di acquisto delle diverse tecnologie, con i motori a combustione interna meno onerosi delle opzioni elettrica e fuel cell che possono però beneficiare di incentivi statali. Nel futuro queste differenze potrebbero ridursi, almeno per ciò che concerne la mobilità leggera, grazie agli ingenti investimenti attesi in questo campo da parte delle case automobilistiche. Difficile invece fare previsioni per quanto riguarda il valore residuo del mezzo, soprattutto per le nuove tecnologie; saranno rilevanti parametri come lo stato degli asset tecnologici, ad esempio la durata/capacità di ricarica delle batterie dei veicoli elettrici.

Per quanto riguarda i costi legati all'utilizzo dei veicoli, si deve tener conto sia del differente costo di fonte/vettore energetici (biocarburante, ad esempio HVO; biometano, energia elettrica e idrogeno rinnovabile), sia del rendimento dei motori (consumo energetico a parità di chilometri percorsi), sia della presenza di una tassazione differenziata, caratterizzata da riduzioni o esenzioni dal pagamento di accise e altre imposte (ad esempio bollo

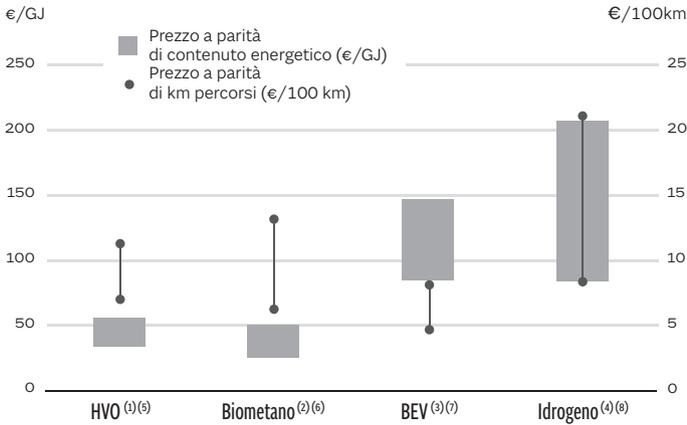
auto, parcheggi eccetera) per i veicoli elettrici, a metano e fuel cell che non trovano riscontro nell'utilizzo in purezza di biocarburanti liquidi,²² e da un diverso fabbisogno di investimenti infrastrutturali,²³ con i biocarburanti e il biometano che possono utilizzare gli asset esistenti.

Al fine di presentare un confronto il più possibile scervro da alterazioni, nella Figura 5.10 è riportata una prima ricostruzione esemplificativa dei valori minimi e massimi del solo prezzo dei combustibili al consumo nel 2021²⁴ in assenza di politiche di agevolazione o aggravio fiscale. L'analisi è stata effettuata considerando le componenti di costo relative alla materia prima fino al punto di fornitura (includendo quindi eventuali oneri di sistema o costi legati a logistica e distribuzione, come oneri di rete e bilanciamento del sistema), al netto della fiscalità (IVA e accise) e di forme di supporto delle fonti rinnovabili nei trasporti. Non si tratta pertanto di un confronto destinato al consumatore finale, quanto di una valutazione critica dei costi al netto di interventi fiscali o di policy.

Il confronto in termini di contenuto energetico (vale a dire il costo in euro di 1 GJ di energia) premia i biocarburanti usati in purezza, come l'hvo e il biometano. Il confronto a parità di chilometri percorsi (€/100 km) dipende dall'efficienza dei motori e dalla tipologia di veicoli; con le ipotesi dell'analisi (autovetture del segmento C) i differenziali tra le soluzioni si riducono molto, con la sola eccezione dell'idrogeno rinnovabile, il cui costo sconta per il momento un livello inferiore di maturità tecnologica.

Queste considerazioni assumono ancora più valore se applicate al settore del trasporto hard-to-abate (pesante

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade



1) Prezzo: 1,2-1,9 €/l, calcolato sulla base delle quotazioni Argus FOB ARA 2021 e la stima dei costi di logistica.

2) Prezzo: 1,1-2,3 €/kg, calcolato come prezzo gas di mercato 2021 (psv e oneri di trasporto) + CIC DM 2018.

3) Prezzo: 307-531 €/MWh, come forchetta coerente con valori PUN 2021, rappresentativa del prezzo di ricarica medio per utenze pubbliche in modalità quick/fast charging. La forchetta potrebbe ampliarsi considerando specifiche tariffe per la ricarica pubblica (ad esempio abbonamenti) o diverse modalità di ricarica (per esempio domestica o ultrafast).

4) Prezzo: 10-25 €/kg, come forchetta coerente con valori PUN 2021 (non include la quota dei costi stazione).

5) Ipotesi sul consumo dell'autovettura alimentata a HVO: 6 l/100 km.

6) Ipotesi sul consumo dell'autovettura alimentata a biometano: 5,6 kg/100 km.

7) Ipotesi sul consumo dell'auto BEV: 15,5 kWh/100 km.

8) Ipotesi sul consumo dell'auto fuel cell alimentata a H₂: 0,85 kg/100 km.

Figura 5.10 Ricostruzione del prezzo dei combustibili al consumo per veicoli leggeri, anno 2021 (valori al netto di forme di supporto, IVA e accise).

su strada, avio e marina) per il quale l'elettrificazione, oltre all'aggravio di costi dovuto allo sviluppo delle infrastrutture e al ricambio del parco veicolare, si scontra con difficoltà tecniche e la bassa maturità tecnologica delle soluzioni disponibili, almeno nel breve-medio termine.

Azioni e scenari di decarbonizzazione del trasporto su gomma

La prima Convenzione quadro dell'ONU sull'ambiente, la cosiddetta Convenzione di Rio, risale al 1993. Ma il tema del riscaldamento globale e del contributo antropico a questo fenomeno dovuto alle crescenti concentrazioni di gas climalteranti – essenzialmente CO₂ – nell'atmosfera era quasi assente nell'opinione pubblica. Nel 2007 uscì il film *Una scomoda verità* con Al Gore e la testimonianza di un personaggio politico di quel livello aiutò a cambiare la percezione del problema e nello stesso anno valse ad Al Gore il premio Nobel per la pace. Negli ultimi trenta anni questa consapevolezza ha fatto passi da gigante: la Convenzione quadro delle Nazioni Unite, le Conferenze annuali delle Parti (COP), le scelte molto sfidanti dell'Unione Europea sono ormai entrate nella percezione comune, nel dibattito pubblico e nella sensibilità soprattutto delle nuove generazioni. Tuttavia, se è ampiamente condiviso l'obiettivo finale al 2050 (azzeramento delle emissioni non compensate di CO₂), molto meno condivisa e certa è la strada per raggiungerlo. Oggi l'Italia, e il mondo intero, sono in una fase di profonda

incertezza. Non solo è incerto l'orizzonte geoeconomico ed energetico internazionale, ma sono profondamente incerti i parametri fondamentali della nostra economia: PIL, inflazione, costo dell'energia. Incertezze che si sommano alle incertezze di cui abbiamo parlato nei capitoli precedenti sui tempi e le modalità della rivoluzione dei trasporti che stiamo attraversando. Quando il livello di incertezza è così elevato, non ha senso fare previsioni, anche nel medio periodo, ma bisogna piuttosto immaginarsi degli scenari potenziali che possano indicare la direzione e l'intensità dei cambiamenti in atto. La simulazione della decarbonizzazione del trasporto stradale non fa eccezione e sconta l'impossibilità di prevedere con sufficiente attendibilità l'evoluzione della maggior parte delle variabili che determinano le emissioni, anche rispetto a un periodo sufficientemente breve come i sette anni che mancano al 2030, il termine previsto dal Fit for 55 per il primo target. Proveremo a immaginare scenari estremi, e come tali improbabili, con ipotesi tutte favorevoli alla decarbonizzazione del trasporto stradale (scenario Max Decarbonizzazione), oppure tutte sfavorevoli (scenario Min Decarbonizzazione). L'insieme delle ipotesi considera l'andamento del PIL e della domanda di trasporto, oltre che delle politiche messe in atto negli ultimi anni per ridurre le emissioni (riduzione della mobilità da smart working, intermodalità, diffusione incentivata per i veicoli elettrici). I risultati delle simulazioni indicano un'ampia forchetta, con riduzioni delle emissioni di CO₂ che vanno dal 12 al 28% nel 2030, rispetto ai valori del 2005, anno di riferimento del Fit for 55 per

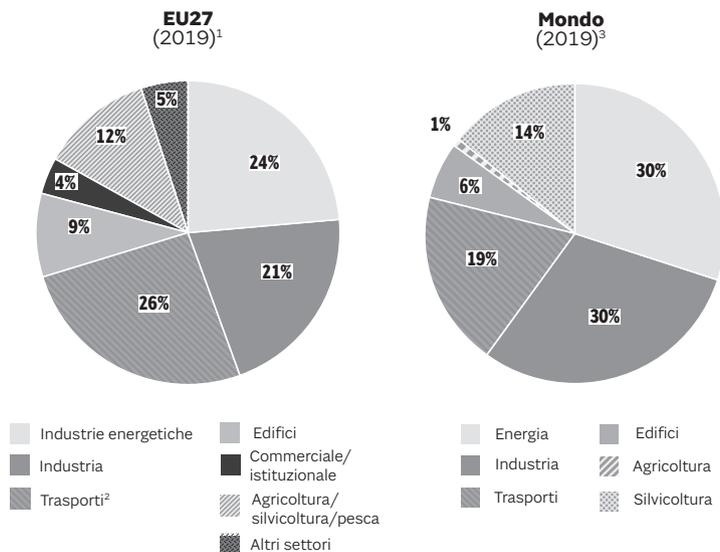
il computo della riduzione delle emissioni. Il mancato raggiungimento degli obiettivi del Fit for 55 (-43% per l'Italia), anche nelle ipotesi più favorevoli, soprattutto in termini di penetrazione di veicoli a emissioni zero nelle flotte, ha motivato la simulazione di alcuni scenari di decarbonizzazione accelerata che possono suggerire politiche ulteriori di veloce attuazione. Si è immaginato uno scenario di diffusione incentivata di maggiori quantità di biofuel (HVO e biometano) in grado di sfruttare un'infrastruttura di distribuzione già capillare, e uno scenario di promozione di comportamenti degli utenti della strada che riducano gli sprechi. Entrambi gli scenari mostrano risultati molto promettenti con costi e tempi probabilmente più contenuti rispetto ai tendenziali. In particolare, lo scenario biofuel, sommato ai tendenziali, mostra un potenziale di riduzione delle emissioni Well-to-Wheel (WTW) compreso fra il 22 e il 40%. Questo risultato conferma l'utilità di rivedere i target formali delle direttive europee per renderli tecnologicamente neutrali, per raggiungere il vero obiettivo – la riduzione delle emissioni climalteranti della filiera energetica – dovunque avvengano. Lo scenario che modifica i comportamenti ha altrettanto potenziale. Le riduzioni di emissioni Tank-to-Wheel (TTW) passerebbero dall'intervallo 12-28% delle simulazioni Max e Min a un intervallo 25-39%, e addirittura 28-44% per quelle WTW. Infine, combinando gli scenari tendenziali Min e Max con quelli di introduzione accelerata di biocombustibili ed eco-comportamenti, si raggiungerebbero livelli di riduzione WTW compresi nella forchetta 35-50%. La conclu-

sione delle simulazioni condotte è che nessuna politica, da sola, consente di raggiungere in pochi anni obiettivi di decarbonizzazione ambiziosi come quelli individuati dalla UE, anche nelle ipotesi più ottimistiche. Questa conclusione contrasta con alcune semplificazioni non verificate sulla base di dati: il massimo sforzo di rilancio del trasporto pubblico e della intermodalità ferroviaria, dove competitivi, unito a una transizione dallo 0,3 al 24% (+800%) di auto elettriche BEV e PHEV circolanti in soli sette anni, da soli non riescono a centrare gli obiettivi al 2030 e, nello scenario pessimistico, ne rimangono molto lontani. Bisogna utilizzare e coordinare una strategia che riduca l'incertezza del risultato globale, inclusa una cultura della sostenibilità alla base dei comportamenti di acquisto, di uso e di guida degli utenti e dei gestori della strada. Inoltre, il livello di incertezza su molti dei parametri chiave a oggi non consente di affermare che gli obiettivi saranno raggiunti, è quindi necessario monitorare il sistema e adeguare le politiche ai cambiamenti che interverranno in questi anni di transizione.

6.1 Il contributo attuale del trasporto stradale alle emissioni di gas serra

Nel 2019, ultimo anno pre Covid-19, il settore dei trasporti in EU27 è responsabile del 26% delle emissioni di gas serra (29% includendo il traffico marittimo internazionale), valore superiore di dieci punti percentuali rispetto alla media globale (19%) (Figura 6.1).

Azioni e scenari di decarbonizzazione del trasporto su gomma



1) Fonte: European Commission, *Transport in figures: Statistical pocketbook*, 2021.

2) Escluso il traffico marittimo internazionale (traffico internazionale in partenza dall'UE), incluso il trasporto aereo internazionale. Includendo il traffico marittimo internazionale, l'incidenza dei trasporti diventa circa il 29%.

3) Fonte: McKinsey & Company, report *The net-zero transition. What it would cost, what it could bring*, 2022

Figura 6.1 Incidenza emissioni di gas serra dei trasporti per macrosettore di appartenenza.

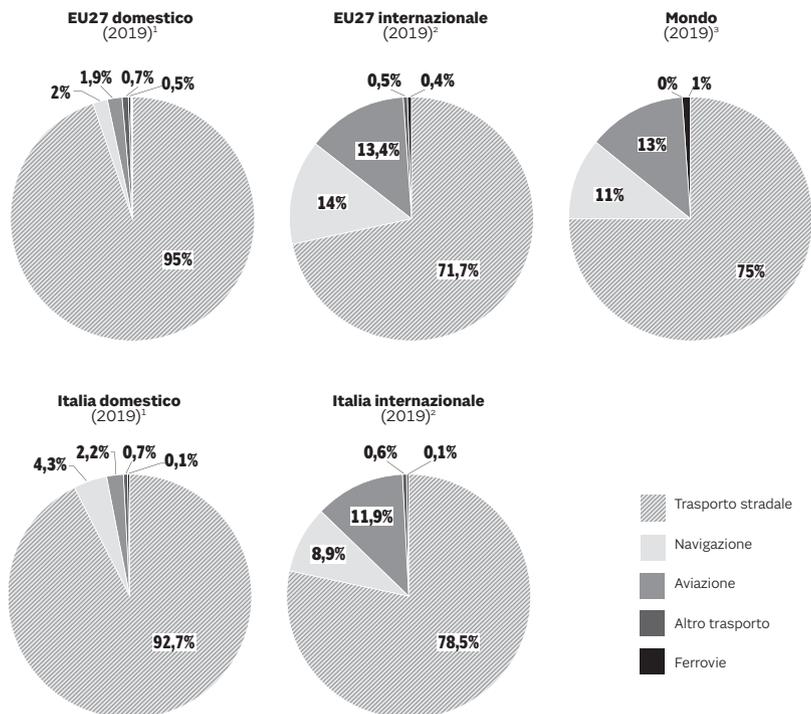
Di queste emissioni, il settore stradale EU27 è responsabile del 95% del totale se si considerano i soli impatti domestici, ovvero il 72% se si valutano anche le emissioni extra EU (per esempio, le emissioni navali fuori dalle acque territoriali), valore in linea con la media mondiale (75%). L'Italia, se da un lato risulta allineata con la media EU27 per l'incidenza del settore stradale sulle emissioni di gas serra domestiche (93% contro 95%), dall'altro

presenta un'incidenza percentuale maggiore del comparto stradale sulle emissioni internazionali (79% contro 72%), probabilmente a causa di una minore incidenza dell'extracontinentale marittimo e aereo sul totale rispetto alla media dei Paesi EU27, oltre al fatto che la rilevante quota di cabotaggio marittimo per il nostro Paese non viene conteggiata nelle statistiche europee sul trasporto interno. È giusto il caso di far notare che la quota di trasporto stradale resta pressoché invariata anche per il 2020, nonostante il rilevante calo generalizzato dei livelli di domanda nazionali e globali (Figura 6.2).

Il punto di partenza per la progettazione di qualsiasi strategia di decarbonizzazione è la quantificazione delle emissioni di CO₂ del trasporto stradale nelle diverse componenti e nei diversi ambiti, che a sua volta richiede la stima corretta della domanda di mobilità su strada di passeggeri e merci. Le principali fonti dati ufficiali (AISCAT, Conto nazionale del MIT, ISPRA, ISTAT) non permettono una ricostruzione completa e univoca della mobilità sul territorio italiano, ma piuttosto forniscono stime parziali e/o in contraddizione tra loro e/o basate su ipotesi di calcolo differenti. L'associazione di soggetti pubblici e privati al Cluster Trasporti ha prodotto una sintesi, integrando le diverse fonti e i dati da traiettorie dei veicoli.¹

I risultati delle stime riferiti al 2019 (anno pre Covid-19 per il quale si dispone di dati maggiormente consolidati), mostrano come complessivamente le auto, con oltre 386 miliardi di veicoli chilometro, rappresentano circa il 77% della mobilità su strada in Italia (espressa sempre in veicoli chilometro) e di questi il 15% (circa 77

Azioni e scenari di decarbonizzazione del trasporto su gomma



1) Fonte: Elaborazione su dati European Commission, *Transport in figures: Statistical pocket-book*, 2021

2) Fonte: European Commission, *Transport in figures: Statistical pocketbook*, 2021.

3) Fonte: McKinsey & Company, report *The net-zero transition. What it would cost, what it could bring*, 2022.

Figura 6.2 Incidenza emissioni di gas serra dei trasporti per macrosettore di appartenenza.

miliardi di veicoli chilometro) sono percorsi in autostrada. I veicoli merci ricoprono circa il 18% del totale con oltre 90 miliardi di veicoli chilometro e di questi circa il 5% (circa 24 miliardi di veicoli chilometro) sono percorsi

in autostrada. Infine, meno rilevanti in termini di veicoli chilometro annui sono le percorrenze di motocicli (circa 25 miliardi di veicoli chilometro) e di bus (3 miliardi di veicoli chilometro) che per le autostrade rappresentano poco più dello 0,2% del totale.

| | Autostrade | Altre strade (urbane ed extraurbane) | Totale |
|------------------|----------------|--|----------------|
| Auto | 76.832 | 309.303 | 386.135 |
| | (15,25%) | (61,38%) | (76,63%) |
| Motocicli | 309 | 24.476 | 24.785 |
| | (0,06%) | (4,86%) | (4,92%) |
| Bus | 754 | 2.088 | 2.842 |
| | (0,15%) | (0,41%) | (0,56%) |
| Veicoli merci | 23.693 | 66.436 | 90.129 |
| | (4,70%) | (13,18%) | (17,89%) |
| Totale | 101.588 | 402.303 | 503.891 |
| | (20,16%) | (79,84%) | (100,00%) |

Tabella 6.1 La domanda di mobilità dei veicoli stradali al 2019 (Mln veicoli chilometro), Italia. Fonte: elaborazione su dati Cluster Trasporti.²

Nel 2019 la mobilità dei veicoli per il trasporto delle persone era pari all'82% delle percorrenze complessive, causando circa il 65% delle emissioni di gas serra totali. Vale il contrario per il contributo emissivo dei veicoli merci con i veicoli pesanti, che a fronte di un traffico minore di quello dei leggeri emettono quasi il doppio. Supposto uno scenario analogo anche per il 2023, si può dire che sulle autostrade c'è una ripartizione quasi del

50% tra il contributo emissivo dei veicoli merci e di quelli passeggeri, percentuale che sulle altre strade (urbane ed extraurbane) è decisamente più sbilanciata a favore dei veicoli passeggeri (70% contro 30%).

| TTW | Autostrade | Altre strade (urbane ed extraurbane) | Totale |
|-----------------------------|-------------------|--|--------------------|
| Auto | 11.447.131 | 52.162.329 | 63.609.460 |
| | (10,93%) | (49,80%) | (60,73%) |
| Motocicli | 36.157 | 2.458.691 | 2.494.848 |
| | (0,03%) | (2,35%) | (2,38%) |
| Bus | 429.823 | 1.791.129 | 2.220.952 |
| | (0,41%) | (1,71%) | (2,12%) |
| Veicoli merci | 11.082.346 | 25.334.088 | 36.416.434 |
| | (10,58%) | (24,19%) | (34,77%) |
| Totale TTW | 22.995.457 | 81.746.237 | 104.741.694 |
| | (21,95%) | (78,05%) | (100,00%) |
| Totale WTW | 28.863.772 | 102.359.280 | 131.223.052 |
| Rapporto TTW/WTW | 80% | | |

Tabella 6.2 Emissioni gas climalteranti TTW e WTW dei veicoli al 2019 (ton di CO₂ equivalente), Italia.

Sebbene i target europei (ad esempio Fit for 55) facciano riferimento alle emissioni climalteranti dal serbatoio alla ruota (TTW), per una valutazione più completa dell'impatto climalterante del settore dei trasporti l'analisi dovrebbe tenere conto anche delle fasi di estrazione o produzione, raffinazione, trasformazione, trasporto e

distribuzione della materia prima del vettore energetico (WTW). Le emissioni WTW del trasporto stradale riproducono le ripartizioni calcolate per le emissioni TTW, ma con un incremento del totale, che passa dai circa 105 milioni di tonnellate del TTW a oltre 131 milioni di tonnellate del WTW, con un incremento del 25%. È da precisare che per una valutazione complessiva dell'impatto climalterante dei mezzi di trasporto sarebbe preferibile la metodologia del Life Cycle Assessment (LCA), che considera le emissioni lungo l'intera catena, dalla costruzione del veicolo fino alla sua rottamazione. Questa metodologia è ancora in fase di perfezionamento quando applicata alla produzione, dismissione e riciclo dei veicoli.

6.2 L'approccio Evita-Cambia-Migliora e le politiche in atto per la decarbonizzazione (scenari tendenziali)

Per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione nazionali e internazionali sono in corso numerose politiche che si propongono di ridurre l'impatto climalterante del trasporto su strada. Per valutarne i possibili effetti, queste politiche sono state classificate secondo il paradigma Evita-Cambia-Migliora, o altrimenti noto con l'acronimo ASI, ovvero si sono classificate le ipotesi sulle variabili di contesto e sugli effetti delle politiche a seconda che aiutino a evitare viaggi sostituibili (Avoid), favoriscano l'uso di modalità di trasporto più efficienti (Shift), aumentino efficienza e sicurezza della mobilità stradale (Improve). L'approccio ASI è quello suggerito

nei principali documenti programmatici sulla decarbonizzazione e lo sviluppo sostenibile.³

Tuttavia, nel prevedere gli effetti a medio termine di scenari di proiezione delle politiche in corso, si è considerato esplicitamente lo stato di profonda incertezza («*deep uncertainty*») che oggi caratterizza tutte le variabili che possono determinare tali effetti. Si sono quindi definiti due scenari limite, uno di «massima decarbonizzazione» (nel seguito, scenario Max Decarb.) e uno di «minima decarbonizzazione» (nel seguito, scenario Min Decarb.). Lo scenario di «massima decarbonizzazione» risulta dall'insieme di tutte le ipotesi più favorevoli alla riduzione del footprint del settore stradale e vale il contrario per quello di «minima decarbonizzazione».

Per entrambi gli scenari tendenziali sono stati considerati i possibili effetti delle politiche nazionali attivate negli ultimi anni e complessivamente sono state fatte le ipotesi sintetizzate nelle successive tabelle. In particolare, le politiche di miglioramento dell'efficienza energetica e di riduzione delle emissioni ipotizzano una maggiore diffusione dei vettori energetici alternativi ai combustibili tradizionali (benzina e gasolio) e l'adozione di nuovi motori (in particolare elettrici). Queste combinazioni vettori energetici/motori sono indicate con le sigle introdotte nel capitolo 5 e che sono riportate di seguito per comodità di consultazione, mentre le ipotesi alla base dei due scenari Min e Max sono riportate nella Tabella 6.3 e nella Tabella 6.4, rispettivamente per passeggeri e merci.

| | Scenario Massima Decarbonizzazione al 2030 | Scenario Minima Decarbonizzazione al 2030 |
|---------------------------------|---|--|
| Evoluzione della domanda | +0,55% anno (-50% vs scenario di Min Decarb.) ¹ | +1,1% anno (HP tassi annui paragonabili a quelli ottimistici osservati dagli anni Novanta) ¹ |
| A-Avoid | Permanenza strutturale e crescita smart working ² | Riduzione smart working (impatto sulla domanda del -50% vs scenario di Max Decarb.) |
| S-Shift | <p>Diversione modale dall'auto al trasporto collettivo (strada e ferrovia) e diffusione Sharing Mobility (in ragione di investimenti e azioni in atto, es. PNNR, PUMS, penetrazione Sharing Mobility)³</p> <p>Tassi annui di rinnovo del parco veicolare</p> <ul style="list-style-type: none">  7,6% all'anno (ottimistici)⁴  3,7% all'anno⁵  4% all'anno per bus extraurbani⁶  8% all'anno per bus urbani (x2 vs bus extraurbani) | <p>Diversione modale dall'auto al trasporto collettivo (strada e ferrovia) e crescita della Sharing Mobility nelle città con tassi di penetrazione prudenziali vs scenario Max Decarb. (70%)¹²</p> <p>Tassi annui di rinnovo del parco veicolare</p> <ul style="list-style-type: none">  4% all'anno (prudenziali, come da ultimo decennio)  3% all'anno (prudenziali, come da ultimo decennio)  3% all'anno (prudenziali, come da ultimo decennio)  3% all'anno (prudenziali, come da ultimo decennio) |
| I-Improve | <p>Tassi di nuove immatricolazioni</p> <ul style="list-style-type: none">  BEV 24% medio all'anno (valore max 35% nel 2030)⁷  PHEV 7,5% medio all'anno⁸  HEV 40% medio all'anno⁹  BEV 1,5% all'anno (10% delle nuove immatricolazioni 2024-30)¹⁰  BEV BEV/FCEV Nuove immatricolazioni 85%  ICE zero emissioni (BEV+FCEV)  ICE a vantaggio di decarbonizzazione, HP rinnovo a parità di tipologia e a partire dai veicoli più vecchi (di cui nuove immatricolazioni autobus 15% (bio) L-CNG al 2030) | <p>Tassi di nuove immatricolazioni</p> <ul style="list-style-type: none">  BEV 85% di Hp scenario Max decarbonizzazione  PHEV 6.4% medio all'anno  HEV 35% medio all'anno (-10% di Hp scenario Max decarb.)¹⁴  BEV BEV/FCEV Nuove immatricolazioni 43%  ICE zero emissioni (BEV+FCEV)  ICE a vantaggio di decarbonizzazione, HP rinnovo a parità di tipologia e a partire dai veicoli più vecchi (di cui nuove immatricolazioni autobus 7% (bio) L-CNG al 2030) |

BEV (Battery Electric Vehicle), veicolo 100% elettrico; PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), veicolo ibrido ricaricabile con anche possibilità di autonomia in full-electric per alcune decine di chilometri; HEV (Hybrid Electric Vehicle), veicolo full-hybrid; ICE (Internal Combustion Engine), veicolo a combustione interna.

1 In ragione, ad esempio, sia di una possibile crescita del Paese meno ottimistica che di una possibile riduzione del parco circolante (e quindi della domanda di mobilità) che ci potrebbe essere nei prossimi anni a seguito dell'aumento dei costi delle materie prime e/o di una penetrazione nel mercato di veicoli elettrici mediamente più costosi.

2. Nello specifico, oltre a quanto già osservato e consolidato rispetto al periodo pre-pandemico, si stima che nei prossimi anni ci sarà un aumento dei lavoratori da remoto per effetto del consolidamento dei modelli di smart working/telelavoro nelle grandi imprese (che a oggi contano circa la metà degli smart worker complessivi) oltre a un probabile incremento/insertimento anche nel settore pubblico (fonte: Osservatorio Smart Working della School of Management del Politecnico di Milano).

3. Secondo la documentazione e le analisi di impatto a supporto; I) degli investimenti in corso in infrastrutture e servizi di trasporto programmati dal MIT (es. PNRR e Fondo complementare); II) dell'attuazione di politiche di mobilità sostenibile dei POMS di alcune delle principali Città metropolitane (anche in ragione del Fondo per la mobilità sostenibile istituito con la legge di bilancio per il 2022); III) della crescita della quota modale di sharing mobility (fassi doppi rispetto agli ultimi anni) (fonti: Osservatorio Nazionale Sharing Mobility (osservatoriosharingmobility.it)).

4 superiori del 15% rispetto a quanto osservato nel periodo di massimo rinnovo del parco italiano verificatosi nel periodo 2014-2017.

5 comparabili a quanto osservato nel periodo di massimo rinnovo degli ultimi decenni (dal 2002 al 2005).

6 comparabili a quanto osservato nel periodo di massimo rinnovo del parco bus degli ultimi decenni (dal 2002 al 2005).

7 tassi di nuove immatricolazioni crescenti con legge quadratica a partire da dati storici osservati nei Paesi EU3 (Francia, Germania e Spagna) nel periodo 2013-2020, anche in ragione di un maggior impatto delle nuove direttive EU che si risentiranno già al 2030 (es. divieto di vendita di nuove auto termiche dal 2035). Tale ipotesi più ottimistica deriva anche dalle recenti politiche/incentivi nazionali per il rinnovo del parco veicoli, oltre a un ulteriore rinnovo del parco circolante derivante dalla diffusione crescente della sharing mobility (come ipotizzato per le politiche di shift modale) che, per la quota di car-sharing, impiega mediamente flotte veicolari più sostenibili (es. BEV).

8 in ragione di ottenere una quota di mercato per questi veicoli al 2030 del 5% come ipotizzato dalla Commissione EU; aumento della loro utilizzazione in modalità full electric anche in ragione della diffusione dei punti di ricarica a cui corrispondono tassi emissivi fino al 50% inferiori di quelli degli equivalenti veicoli ICE (Internal Combustion Engine).

9 tassi di nuove immatricolazioni crescenti linearmente a partire da dati storici osservati in Italia nel periodo 2010-2021 (mediamente circa il 40% delle nuove immatricolazioni saranno HEV nel periodo 2024-2030).

10 a cui corrisponde una quota di mercato per questi veicoli al 2030 del 2,6% (oltre 185 mila motocicli BEV complessivi).

11 coerenti con l'elasticità osservata in analogo periodo del traffico passeggeri sia al PIL che alla variazione della popolazione.

12 in ragione di possibili ritardi nel completamento delle opere, della disponibilità di fondi per aumentare i servizi di TPL, di comportamenti meno reattivi dall'utenza eccetera.

13 in ragione di ottenere una quota di mercato nella flotta delle auto totali per questi veicoli al 2030 pari al 50% della quota ipotizzata nello Scen. MAX DECARB.

14 mediamente si è ipotizzato che saranno circa il 35% delle nuove immatricolazioni nel periodo 2024-2030.

Nota: Le immatricolazioni dei bus urbani al 2030 prevedono sia BEV che FCEV, con una quota molto minoritaria per gli ultimi.

Tabella 6.3 Ipotesi di scenari tendenziali di Max e Min Decarb.: evoluzione della mobilità passeggeri dal 2023 al 2030.

| | Scenario Massima Decarbonizzazione al 2030 | Scenario Minima Decarbonizzazione al 2030 |
|---------------------------------|---|--|
| Evoluzione della domanda | +0,8% anno (circa -50% vs scenario di Min Decarb.) ¹ | +1,9% anno (HP tassi annui paragonabili a quelli ottimistici osservati dagli anni Novanta) ¹¹ |
| A-Avoid | Riduzione della domanda a fronte di un aumento del riempimento medio dei veicoli ² | Riduzione della domanda (-50% di HP scenario Max Decarb.) |
| S-Shift | HP di pieno raggiungimento degli obiettivi UE 30/30 (P.I. di FS) ³ e HP attivi gli incentivi «marebonus» e «sconto traccia» ⁴ nel 2030 | HP attivi gli incentivi «marebonus» e «sconto traccia» nel 2030 e HP di raggiungimento al 70% degli obiettivi UE 30/30 |
| I-Improve | <p>Tassi annui di rinnovo del parco veicolare</p> <p> 5,6% all'anno per veicoli merci leggeri⁵</p> <p> 2,4% all'anno per veicoli merci pesanti⁶</p> <p>Tassi di nuove immatricolazioni</p> <p> BEV -30% vs HP scenario Max Decarb. per auto⁷</p> <p> BEV Tale che al 2030 è 3,6% del parco circolante merci pesanti (0,7% del totale)⁸</p> <p> FCEV/HICE Tale che al 2030 è 0,8% del parco circolante merci pesanti (0,1% del totale)⁹</p> <p> ICE A vantaggio di decarbonizzazione (tassi di immatricolazioni (bio) L-CNG tali da ottenere una quota di mercato dello 7% del parco circolante merci pesanti¹⁰ al 2030), HP rottamazione come le auto</p> | <p>Tassi annui di rinnovo del parco veicolare</p> <p> 3,4% all'anno (prudenziali, costanti a stime 2022)</p> <p> 1,7% all'anno (prudenziali, costanti a stime 2022)</p> <p>Tassi di nuove immatricolazioni</p> <p> BEV -30% vs HP scenario Min Decarb. per auto</p> <p> BEV -50% vs HP tasso scenario Max Decarb.</p> <p> FCEV/HICE -50%vs HP tasso scenario Max Decarb.</p> <p> ICE A vantaggio di decarbonizzazione (tassi di immatricolazioni (bio) L-CNG tali da ottenere una quota di mercato dell'1% del parco circolante merci pesanti¹⁰ al 2030), HP rottamazione come le auto</p> <p><i>nessuna penetrazione nel mercato 2030 per veicoli merci PHBEV, BEV</i></p> |

BEV (Battery Electric Vehicle), veicolo 100% elettrico; PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), veicolo ibrido ricaricabile con anche possibilità di autonomia in full-electric per alcune decine di chilometri; HEV (Hybrid Electric Vehicle), veicolo full-hybrid; ICE (Internal Combustion Engine), veicolo a combustione interna; FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle), veicolo a idrogeno a celle di combustibile; HICE (Hydrogen Internal Combustion Engines), veicolo a combustione interna a idrogeno.

1 in ragione, ad esempio, sia di una possibile crescita del Paese meno ottimistica che di una possibile riduzione del parco circolante (e quindi della domanda di mobilità) che ci potrebbe essere nei prossimi anni a seguito dell'aumento dei costi delle materie prime.

2 dovuto a un incremento del costo del carburante e/o a un efficientamento dei percorsi, tale da quasi annullare la crescita tendenziale (evoluzione) della domanda ipotizzata.

3 ossia uno shift modale dai veicoli merci pesanti al fine di raggiungere una quota del 30% del trasporto ferroviario al 2030 per i viaggi superiori ai 300 km, anche coe-

rentemente con quanto previsto nel Piano Industriale di FS.

4 per incoraggiare il trasferimento delle merci dal trasporto su strada a quello marittimo, incentivando il cabotaggio e favorendo il trasporto marittimo tra porti italiani.

5 comparabili a quanto osservato nel periodo di massimo rinnovo del parco degli ultimi decenni (dal 2013 al 2019).

6 comparabili a quanto osservato nel periodo di massimo rinnovo del parco degli ultimi decenni (dal 2014 al 2018).

7 in ragione di una minore penetrazione di questa categoria rispetto alle auto osservata negli ultimi anni.

8 in linea con quanto stimato per l'Italia nello scenario dall'European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) per raggiungere gli obiettivi EU.

9 in linea con quanto stimato per l'Italia nello scenario dall'European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) per raggiungere gli obiettivi EU.

10 Veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 ton.

11, e coerenti con l'elasticità osservata in analogo periodo del traffico merci al PIL, che alla variazione della popolazione e/o di una possibile maggiore penetrazione dell'e-commerce nel mercato.

Tabella 6.4 Ipotesi di scenari tendenziali di Max e Min Decarb.: evoluzione della mobilità merci dal 2023 al 2030.⁴

Per gli scenari tendenziali, si è inoltre considerato l'impiego dei biocarburanti destinati alla trazione stradale, secondo quanto previsto dal decreto-legge del 18 novembre 2022, n. 176, che impone la produzione annua di un milione di tonnellate di Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) e di 1,1 miliardi di metri cubi di biometano entro il 2030 (si veda il capitolo 5). Più in particolare, per lo scenario Min Decarb. si è assunto il pieno recepimento del decreto-legge citato, invece per lo scenario di Max Decarb. si è ipotizzato un incremento di produzione e utilizzo dei biocombustibili, fino a due milioni di tonnellate di HVO e 1,5 miliardi di metri cubi di biometano. Sebbene siano quantità decisamente superiori a quelle decretate, appaiono fattibili per il sistema industriale, anche attraverso la commercializzazione in Italia di HVO prodotto all'estero.

Infine, per il calcolo di consumi ed emissioni degli scenari al 2030 non sono state fatte ipotesi particolari sull'efficientamento dei motori a combustione interna o dei motori elettrici dei BEV rispetto alle attuali tecnologie. Nonostante un leggero aumento di efficienza sia realistico, l'influenza sui risultati complessivi è al momento ritenuta trascurabile, sia in ragione dell'effetto combinato di valori percentualmente bassi di incremento dell'efficienza su quote di veicoli circolanti comunque marginali, sia per un'incertezza nelle informazioni disponibili sul miglioramento delle tecnologie. La stessa ipotesi è stata fatta per i processi WTT a eccezione del mix elettrico italiano.

Vale la pena di osservare che entrambi gli scenari individuati (Max e Min Decarb.) sono altamente improbabili, in quanto difficilmente si potranno allineare tutte le

circostanze favorevoli/sfavorevoli alla decarbonizzazione ipotizzate. Tuttavia, i due scenari individuati consentono di definire una forchetta sufficientemente ampia di possibili traiettorie di evoluzione, e permettono quindi di misurare il peso delle diverse ipotesi fatte sui risultati finali in termini di contributo al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione per il settore dei trasporti su strada.

In Tabella 6.5 e Tabella 6.6 sono sintetizzati i principali effetti degli scenari di Max e Min Decarb., rispettivamente per il trasporto di persone e merci.

Al fine di verificare la congruità delle ipotesi di penetrazione nel mercato dei veicoli BEV per i due scenari individuati sono stati condotti dei confronti con studi/report di benchmark (Tabella 6.7) che sostanzialmente confermano la bontà delle ipotesi effettuate.

Nella simulazione degli scenari tendenziali al 2030, in assenza di ulteriori politiche, azioni e investimenti che potrebbero essere programmati nei prossimi anni, si è preferito non fare ricorso a ulteriori scenari «accelerati» di penetrazione dei veicoli BEV nel mercato, anche in ragione dei soli sette anni che mancano al 2030.

6.3 Effetti degli scenari tendenziali su consumi energetici ed emissioni climalteranti al 2030

I risultati delle stime in termini di emissioni climalteranti sono sinteticamente riassunti nelle figure successive, con un confronto tra la stima dell'evoluzione della domanda di mobilità e l'impatto delle emissioni.

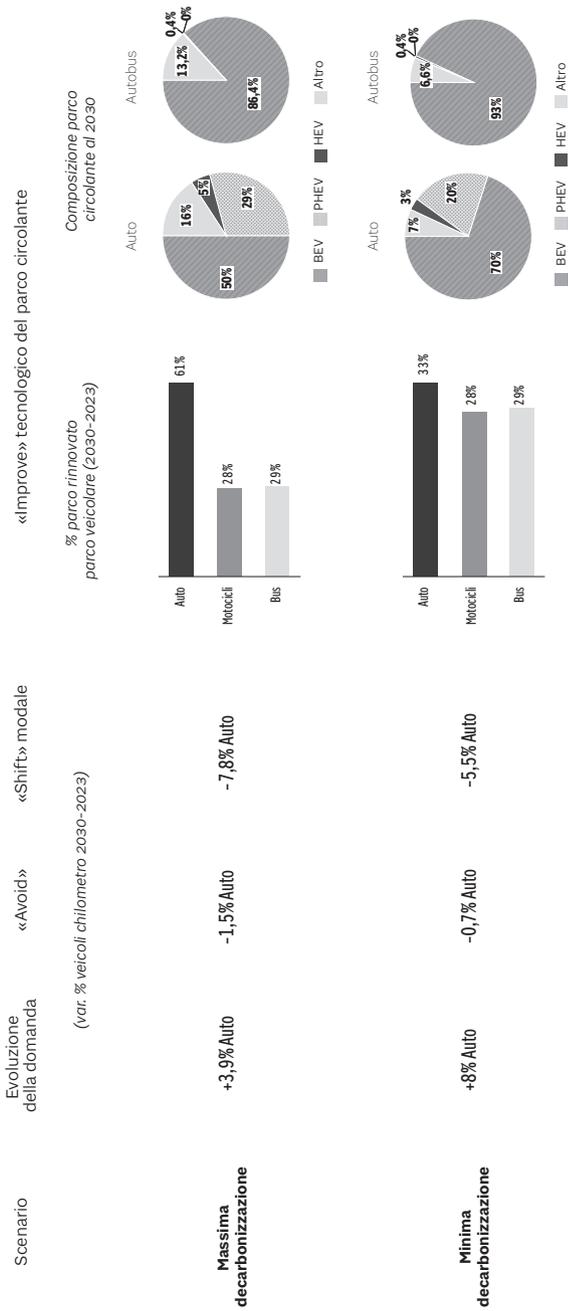


Tabella 6.5 Quadro sinottico delle ipotesi di scenario di Max e Min Decarb. per il trasporto di persone.

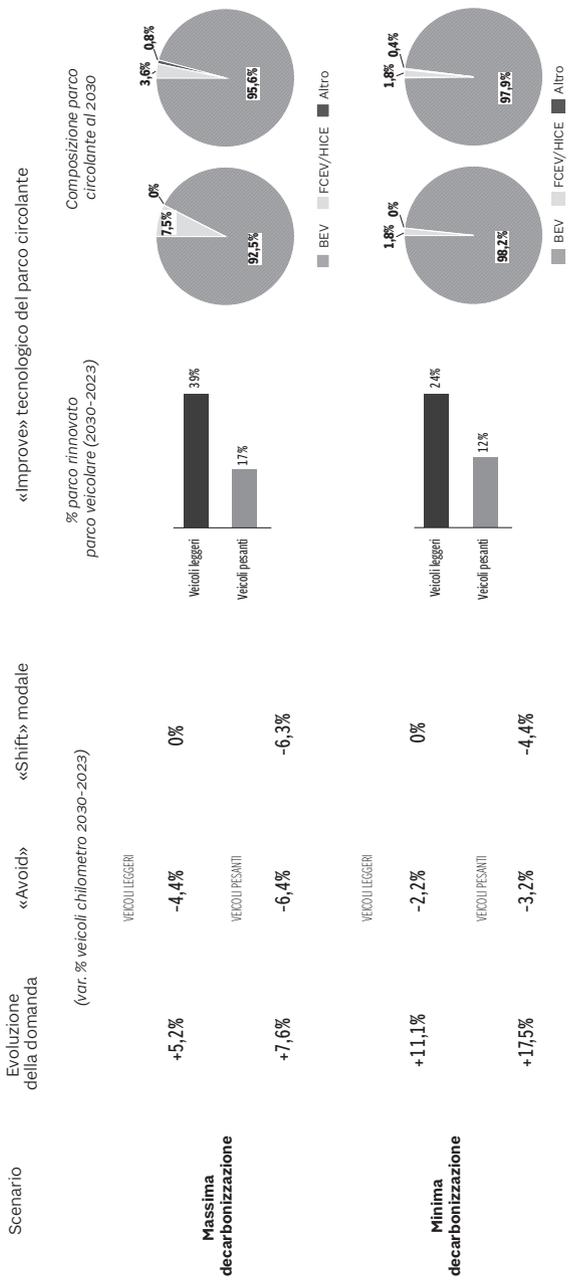


Tabella 6.6 Quadro sinottico delle ipotesi di scenario di Max e Min Decarb. per il trasporto merci.

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade

| <i>Categoria</i> | <i>Massima Decarbonizzazione</i> | <i>Minima Decarbonizzazione</i> | <i>Benchmark al 2030</i> | |
|---|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--|
| Percentuale di autovetture e veicoli merci leggeri BEV nel parco circolante | 14,5% | 6% | 11% ¹ | EU ³ |
| Percentuale di autobus e i veicoli merci pesanti BEV nel parco circolante | 4% | 2% | 1% ¹ | EU |
| Percentuale di autovetture PHEV nel parco circolante | 5% | 2,5% | 5% ¹ | EU |
| Percentuale di veicoli merci pesanti BEV +FCEV nel parco circolante | 4,4% | 2,2% | 4,4%- 7,2% ¹ | ACEA ⁴ |
| Autovetture BEV+PHEV | 8,3 mln | 3,9 mln | 6,6 mln ² | Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica |
| Percentuali di auto BEV nuove immatricolazioni | 35% | 30% | 35% ² | Politecnico di Milano |

1) Valore riferito al contesto EU27

2) Valore riferito al contesto italiano

3) EU Reference Scenario 2020 Energy, transport and GHG emissions - Trends to 2050. Luglio 2021

4) CO₂ standards for heavy-duty vehicles. ACEA

Tabella 6.7 La penetrazione dei veicoli BEV e PHEV al 2030: quadro sinottico di confronto tra le ipotesi di scenario Min e Max Decarb. e alcuni dati di benchmark.

Il grafico in Figura 6.3 riporta la stima dell'evoluzione della domanda di mobilità al 2030 per i due scenari tendenziali. Gli scostamenti percentuali forniscono una prima indicazione dei guadagni di impatto emissivo solo per la riduzione di domanda.

Quanto agli istogrammi relativi alle emissioni TTW di CO₂ equivalente, i risultati dei due scenari al 2030, forniti in Figura 6.4, differiscono notevolmente.

Nel caso dello scenario di Min Decarb., la riduzione sarebbe ampiamente insufficiente per raggiungere gli

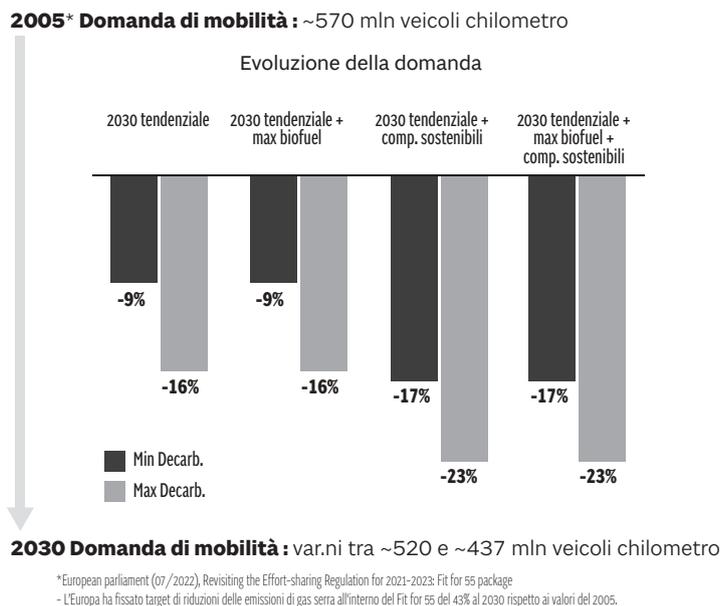
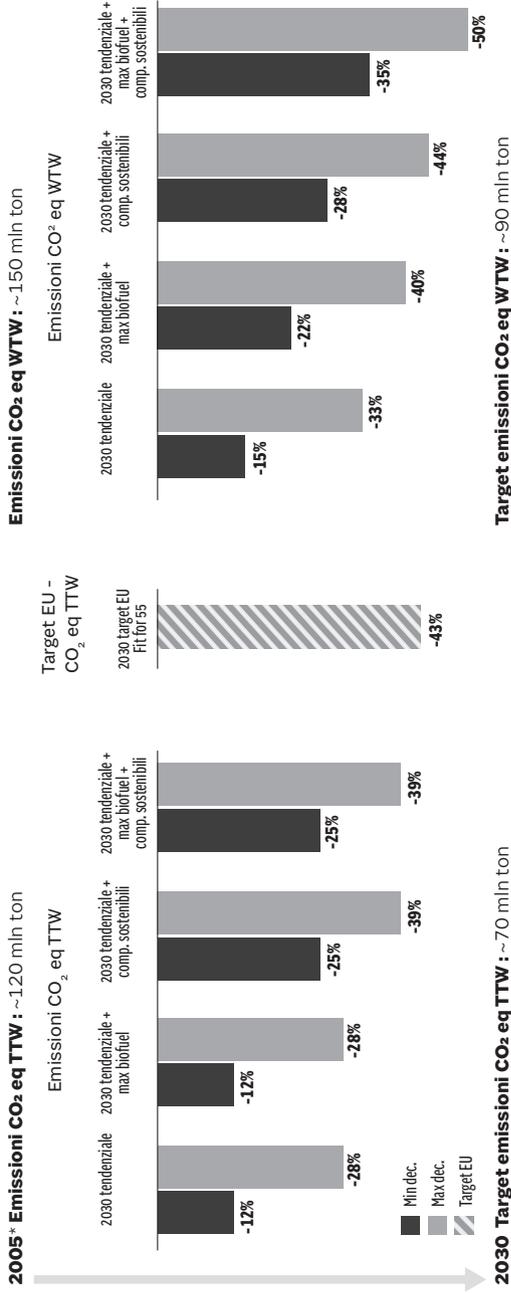


Figura 6.3 Sintesi degli impatti stimati per scenari tendenziali e accelerati al 2030 in termini di domanda di mobilità stradale (veicoli*km).

obiettivi europei (-12% di CO₂ equivalente rispetto al 2005), mentre nello scenario di Max Decarb., anche in ragione delle ipotesi particolarmente favorevoli utilizzate per definire lo scenario, ci si avvicinerebbe maggiormente alla riduzione indicata, arrivando a raggiungere una riduzione del 28,3% delle emissioni di CO₂ equivalente rispetto al 2005, restando comunque ancora lontani dagli obiettivi fissati.

La Figura 6.4 riporta inoltre stime di impatto derivanti da scenari definibili come accelerati relativi a un maggior sfruttamento di biocombustibili e comportamenti di uso e guida più sostenibili, di cui si dirà di seguito. I risultati si riferiscono al confronto tra le stime al 2030 e quelle al 2005, coerentemente con quanto recentemente proposto della Commissione europea,⁵ che fissa, per il settore dei trasporti (non coperto dall'Emission Trading System, ETS) un target di riduzione delle emissioni di gas serra all'interno del Fit for 55 del 43% al 2030 rispetto ai valori del 2005.

Spostando l'analisi dal bilancio TTW (dal serbatoio alla ruota) a quello WTW (dal pozzo alla ruota), i risultati delle stime tendenziali evidenziano l'effetto incrementale verso la decarbonizzazione dei biocombustibili (HVO e biometano) sul ciclo globale (Figura 6.4). Infatti, mentre con il bilancio TTW le emissioni allo scarico di CO₂ tra un combustibile fossile e uno biologico sono all'incirca equivalenti (a meno di differenze marginali dipendenti dal contenuto di carbonio del combustibile), il bilancio WTW mostra significative riduzioni delle emissioni nette, fino a cinque punti percentuali per entrambi gli sce-



*European parliament (07/2002), Revisiting the Effort Sharing Regulation for 2022-2025: Fit for 55 package
 - Europa ha fissato i target di riduzione delle emissioni di gas serra all'interno del Fit for 55 del 14.3% al 2030 rispetto a valori del 2005

Figura 6.4 Sintesi degli impatti degli scenari sulle emissioni di gas climalteranti (CO₂ equivalente) TTW e WTW rispetto ai valori 2005.

nari simulati, grazie all'uso di biocombustibile derivante da biomassa che riassorbirà la CO₂ immessa in atmosfera. L'evoluzione del fabbisogno energetico complessivo della mobilità su strada è rappresentata in Figura 6.5.

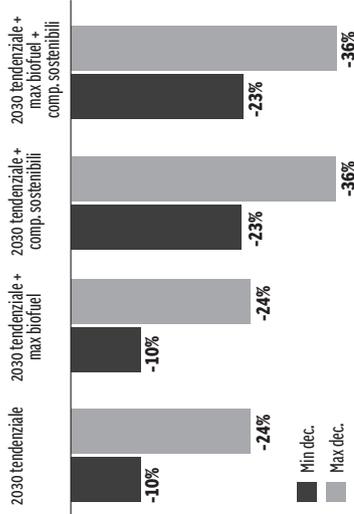
Sulla base dei numeri riportati, la realizzazione dello scenario di Max Decarb. (tendenziale) produrrebbe una riduzione dei consumi energetici per il settore di circa il 24%, anche grazie alla rilevante penetrazione nel mercato dei BEV che presentano un'efficienza energetica molto superiore rispetto a veicoli dotati di motore termico, e comunque superiore a tutte le altre tecnologie di trazione, come evidenziato nel capitolo 5. Tuttavia, i benefici sui consumi elettrici nel processo WTW sono minori dei benefici sulle emissioni TTW di oltre tre punti percentuali; tale differenza è ovviamente imputabile alle perdite energetiche della rete nel processo WTT. La diffusione di veicoli elettrici richiederebbe un surplus di energia elettrica pari al 4,1% del consumo nazionale medio annuo per la quota TTW e del 9,5% per l'intero ciclo WTW.

Ulteriori considerazioni possono essere dedotte analizzando l'evoluzione della composizione del mercato dei vettori energetici per i due scenari considerati a confronto con il 2005 e il 2019 e illustrati nella Figura 6.6.

È interessante osservare come la leggera contrazione del consumo energetico del trasporto (su base WTW) dal 2005 (463 TWh) al 2019 (411 TWh) sia sostanzialmente riconducibile all'evoluzione della domanda di mobilità e in parte alla maggiore efficienza dei veicoli moderni unita a un incremento di L-CNG e GPL. La distribuzione al 2019 ha in senso anche una quota minoritaria di

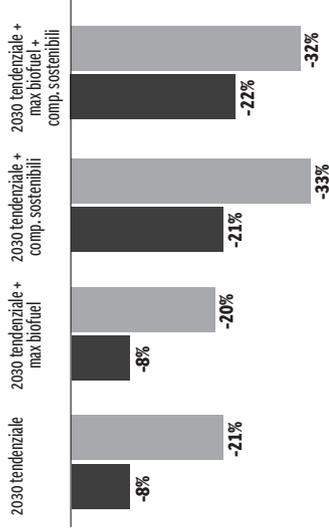
2005 * Fabbisogno energetico : ~460 TWh

Fabbisogno energetico TTW



Fabbisogno energetico : ~580 TWh

Fabbisogno energetico WTW



2030 Fabbisogno energetico TTW: var. max a ~298 TWh

*European parliament (07/2002). Revisiting the Effort Sharing Regulation for 2021-2023: Fit for 55 package
 - Europa ha fissato target di riduzioni delle emissioni di gas serra all'interno del Fit for 55 del 143% al 2030 rispetto ai valori del 2005

Fabbisogno energetico WTW : var. max a ~390 TWh

Figura 6.5 Sintesi degli impatti stimati per scenari tendenziali al 2030 in termini di consumi di energia TTW e WTW rispetto ai valori 2005.

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade

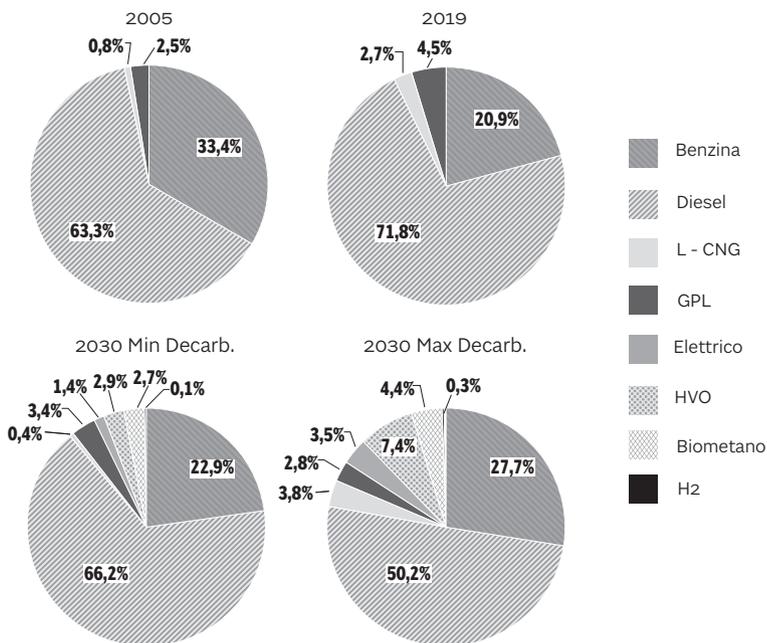


Figura 6.6 Distribuzione di vettori energetici nel mercato per tutti gli scenari considerati.

veicoli elettrici, che però diventa trascurabile nella rappresentazione grafica del mercato dei vettori. Confrontando gli scenari 2005 e 2019 è altresì rilevabile l'effetto della crescita del consumo di diesel rispetto alla benzina, a seguito del corrispondente incremento delle vendite di veicoli diesel.

Lo scenario 2030 di Min Decarb., che prevede una leggera crescita della domanda energetica (418 TWh su base wtw) rispetto al 2019, deve la riduzione delle emissioni di CO₂ a una contrazione di mercato dei vet-

tori fossili (diesel, benzina, GPL e L-CNG), a favore dei vettori alternativi (elettrico, HVO, biometano e in quota trascurabile idrogeno).

La riduzione del 33% delle emissioni su base WTW previsto al 2030 con lo scenario di Max Decarb. risulta perseguibile solo con una contrazione significativa di diesel (-22%) e GPL (-1,7%) a favore dei vettori alternativi, a eccezione del CNG ma soprattutto della benzina, che incrementa la quota di consumo di circa il 7%, effetto sostanzialmente legato alla diffusione di HEV e PHEV quasi esclusivamente motorizzati con ICE benzina.

Alla luce delle distribuzioni illustrate, è facilmente intuibile che il contributo alla riduzione delle emissioni globali di CO₂ è all'incirca proporzionale alle quote di mercato dei vettori energetici.

6.4 Alcuni scenari accelerati di decarbonizzazione al 2030

Entrambi gli scenari simulati non permetterebbero di raggiungere gli obiettivi UE di decarbonizzazione al 2030. Da un lato appare imprescindibile spingere sulle politiche tradizionali di mobilità sostenibile, come gli incentivi ai veicoli elettrici e la promozione della ferrovia (compreso il sostegno finanziario agli investimenti). Dall'altro appare chiaro che questo non è sufficiente nel medio periodo. Bisogna aggiungere altre azioni; alcune di queste potrebbero essere: l'uso più intensivo dei biocombustibili; la stimolazione di nuove abitudini e comportamenti di mobilità e di acquisto della popolazione,

per evitare gli sprechi (ad esempio aumentare il riempimento delle auto, scelte di guida e di acquisto orientate all'ecorazionalità).

Per accelerare la penetrazione del biocarburante per trazione stradale si potrebbero sfruttare appieno le potenzialità infrastrutturali della filiera dell'HVO e del biometano, e aumentarne il consumo attraverso l'importazione di biocombustibile prodotto all'estero. I partner industriali stimano una capacità di distribuzione in rete al 2030 fino a 4,5 milioni di tonnellate di HVO e 2,8 miliardi di metri cubi di biometano. Tali quantità di HVO e biometano permetterebbero di soddisfare tutta la domanda di veicoli diesel commerciali, oltre che quelli alimentati a gas naturale compresso (L-CNG) e gas naturale liquefatto (LNG).

Come già precisato, l'introduzione di ulteriore quantità di biocombustibili in rete non altera né la domanda né (sostanzialmente) l'emissione TTW, mentre permetterebbe di abbassare notevolmente l'impronta carbonica del sistema, arrivando a -22% se associata allo scenario di Min Decarb. e oltre il 40% in quello di Max Decarb. per le emissioni wtw. In questo ultimo caso ci si avvicinerebbe molto all'obiettivo Fit for 55. Ovviamente, il verificarsi dello scenario Max Biofuel non altera la domanda energetica del sistema del trasporto stradale, andando solo a sostituire gasolio e gas naturali consumati dalle flotte.

La Figura 6.7 mostra l'evoluzione del mercato dei vettori energetici al 2030 nel caso si verificasse lo scenario Max Biofuel, in aggiunta ai due scenari Min e Max Decarb.

La distribuzione dei vettori per i due scenari combinati Min Decarb.-Max Biofuel e Max Decarb.-Max. Bio-

Azioni e scenari di decarbonizzazione del trasporto su gomma

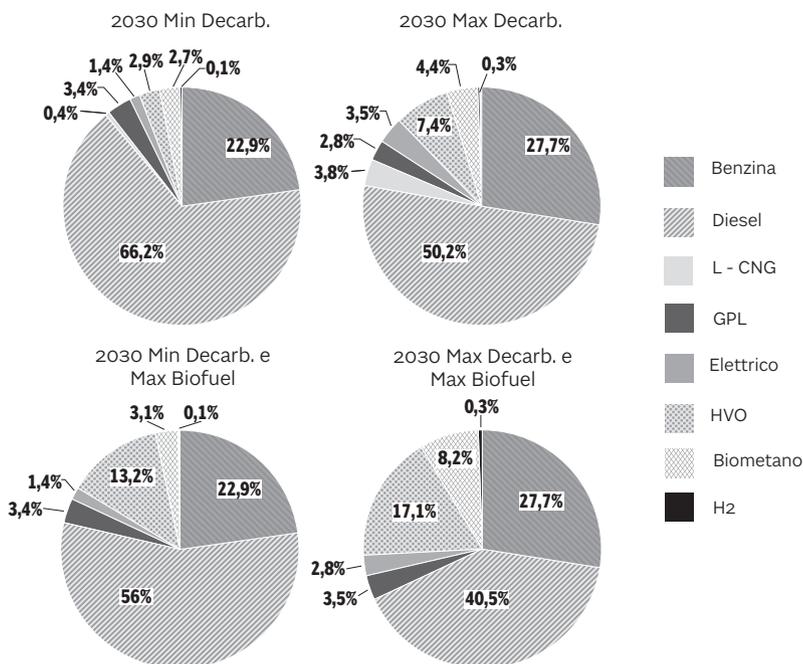


Figura 6.7 Distribuzione dei vettori energetici nel mercato al 2030 per lo scenario Max Biofuel in aggiunta ai due scenari di Min e Max Decarb.

fuel mostra che l'avvicinamento al target europeo nei successivi sette anni (-40%) richiede, oltre a una accelerazione della penetrazione di veicoli BEV, come per lo scenario di Max Decarb., una contrazione accelerata del consumo di diesel e L-CNG a favore di HVO e biometano, mentre la riduzione delle emissioni dei veicoli a benzina sarà legata essenzialmente al passaggio a veicoli più efficienti quali HEV e PHEV.

Una ulteriore politica «win-win», in cui guadagnerebbero tutti, consiste nella promozione di eco comporta-

menti. Per esempio, si potrebbe spingere ad aumentare il coefficiente di riempimento medio dei veicoli del 10%: passando da 1,3 a 1,43 passeggeri per ciascuna auto; aumentando il carico di un veicolo merci dal 50% al 55% dello stivaggio possibile. In aggiunta, le emissioni unitarie medie di auto e veicoli merci potrebbero ridursi del 10%, in ragione della promozione e incentivazione di stili di guida più sostenibili (*ecodriving*), di una penetrazione nel mercato dei livelli di automazione dei veicoli e di una riduzione delle dimensioni delle auto di nuova immatricolazione. Quest'ultimo accorgimento è più difficile da implementare, perché va contro la tendenza dominante dei costruttori e dei consumatori, anche se inizia a diffondersi l'idea «*not so big is smart*». Gli incentivi da erogare per raggiungere queste percentuali di efficientamento comunque contenute e prudenziali possono essere di diverso tipo; alcuni sono già oggi possibili e addirittura in fase di attuazione, come sconti e bonus dai produttori di veicoli, sconti tariffari su assicurazioni e pedaggi, chilometraggio aggiuntivo nelle aree a traffico limitato. Tutte le azioni ipotizzate andrebbero comunque accompagnate da adeguate e capillari campagne di formazione, comunicazione e pubblicità, al pari di quanto fatto per altri ambiti di sviluppo sostenibile (ad esempio la raccolta differenziata dei rifiuti).

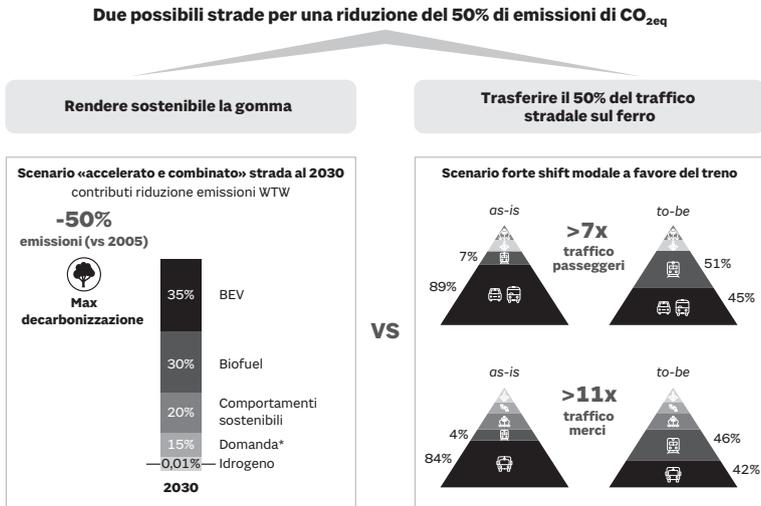
Complessivamente, l'incentivazione di comportamenti sostenibili si stima possa produrre un beneficio addizionale al raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione del settore dei trasporti compreso tra i dieci e i tredici punti percentuali al 2030, portando lo

scenario di Max Decarb. a un -39% e quello di Min Decarb. a un -25% di emissioni climalteranti rispetto ai valori del 2005, cioè rispettivamente a una distanza di cinque e diciannove punti percentuali rispetto all'obiettivo fissato dall'Unione.

Va quindi osservato come in entrambi gli scenari di accelerazione gli obiettivi di riduzione della direttiva Fit for 55 sarebbero al più sfiorati, e solo nelle ipotesi più ottimistiche dello scenario tendenziale di Max Decarb. Per contro, la combinazione dei due scenari «accelerazione introduzione Biofuel» e «incentivazione comportamenti sostenibili» consentirebbe di far rientrare gli obiettivi all'interno di una forchetta di possibili futuri, ma solo a patto di rivedere i target formali delle direttive europee al ciclo wtw (attualmente sono impostati sul TTW), per renderli «*technology neutral*» per raggiungere il vero obiettivo, ossia la riduzione delle emissioni climalteranti.

La conclusione delle simulazioni condotte è che nessuna politica, da sola, consente di raggiungere in pochi anni obiettivi di decarbonizzazione ambiziosi come quelli individuati dalla UE, anche nelle ipotesi più ottimistiche. Questa conclusione contrasta con alcune semplificazioni non verificate sulla base di dati: il massimo sforzo di rilancio del trasporto pubblico e della intermodalità ferroviaria, dove competitivi, unito a una transizione dallo 0,3 al 24% (+800%) di auto elettriche BEV e PHEV circolanti in soli sette anni, da soli non riescono a centrare gli obiettivi al 2030 e, nello scenario pessimistico, ne rimangono molto lontani. Anche l'idea di tra-

guardare gli obiettivi di decarbonizzazione soltanto con l'esclusivo ricorso allo shift modale non trova riscontro se analizzata attraverso i dati. La Figura 6.8, a tal proposito, mostra cosa accadrebbe nell'ipotesi puramente teorica di raggiungere l'obiettivo di massima decarbonizzazione del trasporto su strada (-50% di emissioni nello scenario che include comportamenti sostenibili e accelerazione biofuel) trasferendo esclusivamente il 50% del traffico stradale sulla rete ferroviaria. Nello specifico, sarebbe richiesto un incremento della capacità di trasporto ferroviario pari a 7 volte l'attuale per quanto



* Variazioni connesse a tutte le manovre Shift (diversione modale vs modalità di trasporto più efficienti), Avoid (riduzione del numero di veicoli chilometro – meno viaggi, meno km, maggior riempimento) e di Improve tecnologico, che non tengono conto di elettrificazione, biofuel e idrogeno già esplicitate.

Figura 6.8 La convenienza di rendere sostenibile la gomma.

riguarda il traffico passeggeri e 11 volte per il traffico merci. Ipotesi evidentemente non sostenibile dal punto di vista tecnico ed economico.

Bisogna, dunque, utilizzare e coordinare una strategia fatta di politiche congiunte che riducano l'incertezza del risultato globale, favorendo anche una cultura della sostenibilità alla base dei comportamenti di acquisto, di uso e di guida degli utenti e dei gestori della strada.

Si tratterebbe, quindi, della via italiana alla decarbonizzazione, coerente con la struttura del Paese e con gli obiettivi europei.

6.5 Contributo del trasporto autostradale negli scenari al 2030

Valutando il ruolo delle autostrade in termini di contributo aggiuntivo alla riduzione della CO₂ per i tre scenari accelerati simulati, emerge come le tre azioni/politiche proposte sarebbero più incisive per le autostrade che per le altre strade (del 50-90%). Quasi trenta punti percentuali aggiuntivi per lo scenario combinato biofuel + comportamenti sostenibili (a fronte di quindici-diciotto per le altre strade) e circa dieci-venti punti percentuali addizionali per i due scenari presi singolarmente (a fronte di sette-dodici per le altre strade) (Figura 6.9).

Questo risultato è coerente con le differenze nella composizione del parco veicoli che circola in autostrada, nella maggiore incidenza del trasporto merci, nella maggiore diffusione di veicoli con sistemi avanzati di

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade

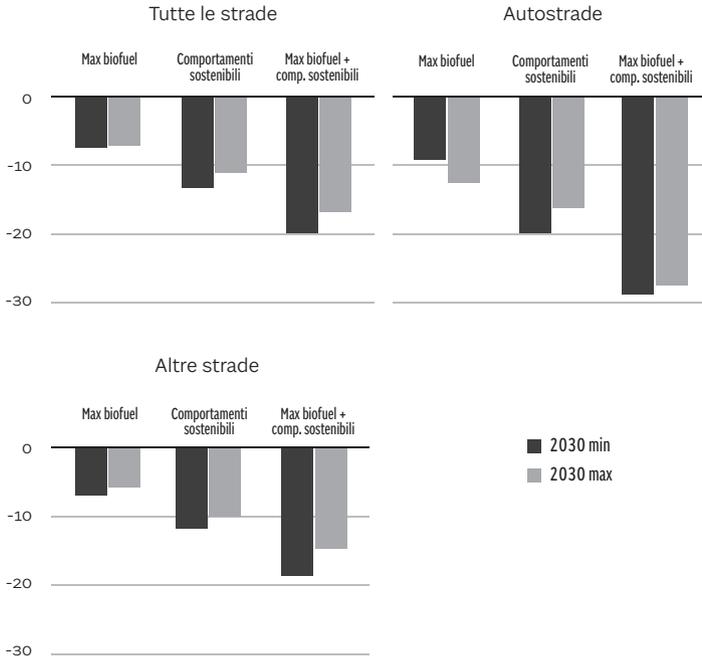


Figura 6.9 Impatto aggiuntivo prodotto dagli scenari accelerati rispetto al tendenziale 2033 (delta punti percentuali addizionali di CO₂ equivalenti risparmiati) per tipologia di strada.

assistenza alla guida, nei sistemi di digitalizzazione e nell'introduzione di sistemi di Smart Road di controllo del traffico e della velocità, oltre che nella possibilità di incentivare comportamenti più sostenibili con politiche tariffarie.

Nuove regole per un nuovo modello di mobilità

Il trasporto su gomma, nella sua accezione più ampia di domanda di mobilità, di logistica e di infrastruttura stradale e autostradale a supporto, si trova davanti a una fase di transizione verso un nuovo modello di mobilità integrata e sostenibile, ma anche di fronte alla necessità di importanti investimenti per prolungare la vita utile e la resilienza rispetto all'impatto dei cambiamenti climatici sulle infrastrutture.

Si tratta di una sfida epocale, paragonabile a quelle affrontate con successo nel dopoguerra. Se non si coglie questa necessità/opportunità sarà difficile promuovere un reale rilancio del sistema Paese, con la conseguenza di ritardare progetti fondamentali per lo sviluppo e la sicurezza del sistema autostradale e di non contribuire al raggiungimento degli obiettivi comunitari di decarbonizzazione.Cogliere questa opportunità vuol dire innanzitutto avere la consapevolezza di non poterla affrontare per singole parti, ma che è necessario agire in un'ottica di ecosistema d'innovazione.

I «fattori della produzione» che abilitano il cambia-

mento e le necessarie innovazioni sono sintetizzabili nella disponibilità di risorse umane adeguate a gestire un'intensità di investimenti senza precedenti (fino a quattro volte superiore a quella riscontrata nei decenni passati) e un sistema normativo e regolamentare efficace e trasparente che, alla luce dell'eccezionalità del momento, riconsideri i modelli regolatori e di finanziamento degli ingenti fabbisogni di investimento necessari a rigenerare, potenziare e sostenere la transizione digitale ed energetica del trasporto autostradale, mantenendo, al contempo, la sostenibilità delle tariffe per gli utenti.

Si tratta, detto in altri termini, di innovare in modo strutturato e con una visione di medio-lungo termine anche il sistema di regole necessario per rendere possibile il rinnovamento e potenziamento delle infrastrutture e rispettare una doverosa sostenibilità tariffaria per gli utenti.

7.1 Innovazione e fattori abilitanti per un nuovo modello di mobilità

L'innovazione è un sistema complesso di fattori economici, sociali, politici, organizzativi e istituzionali. Serve per gestire una transizione così radicale e trasversale. Sarà indispensabile l'azione congiunta di imprese, organizzazioni (università, centri di ricerca, banche) e istituzioni (ministeri, enti governativi, authority), che mettano a disposizione e favoriscano la condivisione

di specifici fattori della produzione (tecnologie, competenze, risorse economiche e regole).

La qualità e la quantità delle relazioni fra gli attori coinvolti nella combinazione di tali fattori determineranno il successo (o l'insuccesso) nella realizzazione della transizione del trasporto su gomma e, conseguentemente, le prospettive di crescita del Paese.

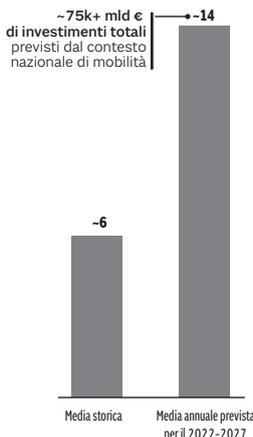
Tra i fattori della produzione, la pietra angolare è rappresentata senza dubbio dalla disponibilità di adeguate competenze professionali e dall'efficacia e chiarezza del quadro normativo e regolamentare, che rappresentano il software del sistema. Tecnologie e risorse economiche sono la componente hardware, relativamente più semplice da reperire e gestire.

Sulle competenze professionali, è noto a oggi il forte gap di risorse umane che si rileva rispetto ai fabbisogni di investimento. Nel rapporto sulle grandi opere realizzato da McKinsey nel 2022 emerge un gap fra 115.000 e 145.000 persone nel solo settore degli investimenti infrastrutturali. Da questo punto di vista, il compito delle imprese e delle organizzazioni (in questo caso scolastiche e universitarie) all'interno del sistema di innovazione è quello di collaborare per accelerare il più possibile il recupero delle competenze, formando risorse qualificate attraverso programmi congiunti di recruiting e formazione (Figura 7.1).

Al contempo, le istituzioni devono mettere a punto un insieme di regole e procedure che diano certezza e favoriscano la tempestività degli interventi.

Ci sono recenti esempi virtuosi. La riforma del Codice degli Appalti, ispirata a principi innovativi quali quelli del

Investimenti infrastrutturali previsti dalle principali stazioni appaltanti, Mld €



Gap di figure professionali rispetto a oggi, '000 risorse

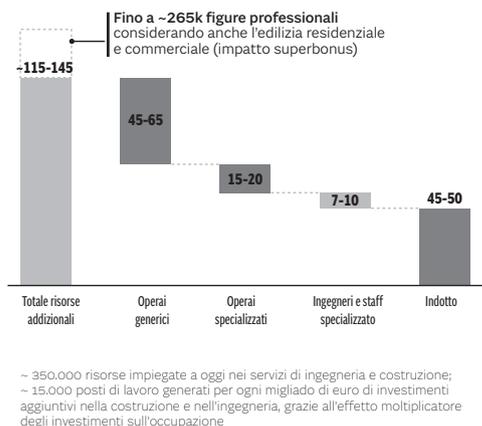


Figura 7.1 Fabbisogno di investimenti e gap di competenze. Fonte: McKinsey, rapporto grandi opere del 9 settembre 2022.

risultato e della fiducia, che da luglio 2023 ha reso più veloce e più semplice aprire un cantiere grazie a una serie di semplificazioni in fase di affidamento. Oppure gli incentivi all'acquisto delle auto, che contribuiscono alla riduzione delle emissioni (sconti e contributi, riduzione del carico fiscale, autorizzazioni all'accesso in aree ZTL). Si tratta di iniziative efficaci per mettere in moto il sistema d'innovazione funzionale al raggiungimento degli obiettivi di transizione del settore del trasporto su gomma, ma da sole non bastano, perché agiscono prevalentemente in un'ottica di breve periodo e di partenza di un processo, specie per la parte di evoluzione tecnologica del sistema.

Come abbiamo visto, esiste una relazione molto chiara tra gli obiettivi di decarbonizzazione e l'ammodernamento e il potenziamento delle infrastrutture autostradali. Occorre avere il coraggio di innovare in modo strutturato e con una visione di medio-lungo termine anche il sistema normativo e regolamentare necessario a sostenere il rinnovamento e potenziamento delle infrastrutture.

Il trasporto autostradale è soggetto a una disciplina complessa, frutto di successivi affinamenti ma anche figlia dei tempi in cui è stata elaborata. In una situazione straordinaria, a fronte di nuove esigenze e sfide economiche, sociali e ambientali, non si può fare a meno di porsi il problema dei possibili correttivi ai modelli regolatori e a singoli aspetti della disciplina stessa.

7.2 L'attuale sistema concessorio e tariffario

La rete autostradale italiana è stata storicamente gestita attraverso lo strumento della concessione affidata a soggetti pubblici, nazionali e locali, e privati. C'è anche una parte della rete autostradale in gestione diretta da parte dello Stato attraverso l'ANAS, i cui costi sono interamente a carico della fiscalità generale.

Sul piano della disciplina generale il Codice degli Appalti precisa che nelle concessioni deve essere trasferito al concessionario il rischio operativo: al concessionario non è garantito il recupero degli investimenti effettuati o dei costi sostenuti, ma il rispetto dell'equilibrio econo-

mico-finanziario del contratto, con un'equa remunerazione del capitale investito e cash flow sufficienti a rimborsare i finanziamenti. La modalità di finanziamento con cui il concessionario viene remunerato è legata al pagamento del pedaggio autostradale, cioè l'importo che l'utente paga per l'utilizzo dell'autostrada commisurato al percorso compiuto. Le disposizioni vigenti escludono qualsiasi autonomia o discrezionalità nella quantificazione della tariffa di partenza di ciascun periodo regolatorio e negli aggiornamenti annuali. L'interesse pubblico risiede nel mantenimento di tariffe accessibili, nella sicurezza e nella qualità dell'infrastruttura: è importante che gli obiettivi siano perseguiti al fine di incentivare l'efficienza produttiva dei concessionari e gli effettivi risultati – agibilità e sicurezza – del servizio autostradale. Tuttavia, l'attuale condizione della rete infrastrutturale e le necessità di ammodernamento descritte nei capitoli precedenti comporterebbero interventi non economicamente sostenibili per l'utente finale, che vedrebbe ribaltato in tariffa un costo di rigenerazione della rete non compatibile né con la durata attuale della concessione (si avrebbe un disequilibrio economico-finanziario del contratto di concessione) né con l'obiettivo da parte del regolatore di contenere gli aumenti tariffari nel corso della concessione. È un difficile esercizio: rendere compatibili gli obiettivi potenzialmente confliggenti della sostenibilità della tariffa e della indifferibilità degli investimenti. Gli obiettivi di sviluppo economico e decarbonizzazione richiedono risorse ben maggiori di quelle programmate a carico della finanza pubblica o sosteni-

bili sulla base dell'attuale equilibrio delle concessioni. Gli investimenti pubblici nel settore dei trasporti, compresi quelli previsti dal Piano nazionale di ripresa e resilienza, sono volti a sviluppare altre forme di mobilità, ma l'analisi che precede ha dimostrato che il contributo del sistema autostradale è essenziale rivolto a raggiungere quegli obiettivi.

L'attuale sistema giuridico regolatorio consente di riequilibrare il piano economico-finanziario per esigenze straordinarie in due soli casi: le modifiche non sostanziali e i lavori necessari e aggiuntivi. In entrambi i casi, comunque, le esigenze straordinarie sono confinate nel sistema di equilibrio finanziario ordinario della concessione, sulla base della capacità della tariffa entro il termine della concessione. Per accompagnare la transizione al nuovo modello di mobilità occorre invece far fronte alle straordinarie esigenze d'investimento, individuando soluzioni e strumenti che consentano un intervento altrettanto straordinario della cornice normativa, così come accadde all'origine dei modelli concessori degli anni Venti e degli anni Cinquanta e che determinarono la prima infrastrutturazione del Paese con una visione di medio-lungo termine. La revisione di queste norme si affiancherebbe a completare in ottica sistemica l'evoluzione in corso delle policy che regolano gli aspetti connessi alla decarbonizzazione del settore trasporti su gomma (emissioni di CO₂, energie rinnovabili e altri aspetti affrontati nel precedente capitolo 5).

7.3 La necessità di confronto per una nuova regolamentazione

Individuare il giusto equilibrio tra equità (in termini di sostenibilità tariffaria degli investimenti da parte della collettività, presente e futura), efficienza, sicurezza delle infrastrutture e sostenibilità del trasporto (la decarbonizzazione del trasporto non potrà avvenire senza che il trasporto stradale migliori la propria efficienza energetica e i propri standard di sicurezza) richiede una visione strategica di medio-lungo periodo condivisa tra società concessionarie e istituzioni.

Questo impone nuove valutazioni e decisioni, anche in discontinuità rispetto al passato, sulla calibrazione e la selezione delle priorità degli investimenti e sulle modalità di finanziamento. Detto in altri termini, servono ingenti investimenti e c'è un'esigenza imprescindibile: contenere l'impatto sulla collettività degli adeguamenti tariffari conseguenti alla realizzazione degli investimenti.

Al riguardo si segnala che in altri settori infrastrutturali in concessione, per esempio le reti di trasmissione e distribuzione di energia elettrica, si è consolidato un modello normativo e di regolazione che garantisce il riequilibrio economico in funzione della vita utile tecnica degli investimenti, e quindi della fruibilità del servizio da essi garantito, indipendentemente dalla durata della concessione. Questo modello ha consentito ingenti investimenti con dinamiche tariffarie sostenibili e ha funzionato dal punto di vista sociale in situazioni di

straordinarietà, come quelle in cui ci si trova a dover intervenire per ammodernare e potenziare l'infrastruttura autostradale.

La riproposizione di un meccanismo regolatorio con riequilibrio interamente tariffario limitato al recupero degli investimenti entro la scadenza della concessione, come quello delle concessionarie autostradali, determinerebbe una crescita significativa della tariffa da applicare agli utenti, concentrando l'onere sui clienti attuali, senza tenere conto che il servizio resterà fruibile anche dopo la scadenza della concessione. Bisogna evitare che il disallineamento tra i tempi del rapporto concessorio e quelli di realizzazione e ammortamento degli investimenti renda impossibile ripagare gli investimenti con i pedaggi o richieda aumenti tariffari insostenibili per gli utenti attuali (fino al termine della concessione), chiamati a sostenere per intero l'onere di un investimento di cui trarranno beneficio anche gli utenti futuri (oltre la fine della concessione).

Le soluzioni possibili possono essere molte, e per individuarle e approfondirle occorrerà un confronto serrato e costruttivo fra operatori del settore e istituzioni nazionali e internazionali, partendo tutti dal comune riconoscimento:

- che la condizione di partenza è la necessità di investire, direttamente e indirettamente, sulla resilienza e la sostenibilità di infrastrutture costruite da molti decenni e prossime al termine della loro vita tecnica;

- che intervenire sul quadro normativo e regolamentare non è uno strumento che rischia di alterare l'equilibrio finanziario di un rapporto concessorio e/o di incidere sui meccanismi di concorrenza e di mercato. Ma è uno strumento che, al contrario, servirebbe a ristabilire gli equilibri e iniettare nei mercati risorse preziose per il rilancio dell'economia, a beneficio anche della sostenibilità sociale e ambientale.

Glossario dei termini e degli acronimi

Lista degli acronimi

| | |
|--------|--|
| AISCAT | Associazione italiana società concessionarie autostrade e trafori. |
| ANAS | Azienda nazionale autonoma delle strade statali. |
| ASPI | Autostrade per l'Italia SPA. |
| AV/AC | Alta velocità/ Alta capacità. |
| AVR | Alta velocità di rete. |
| MASE | Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica. |
| MIT | Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti. |
| PIL | Prodotto interno lordo. |

Glossario dei termini relativi al tema trasporti

| | |
|-------------------------|---|
| Matrici casello-casello | Matrici composte da tutti gli spostamenti di veicoli che hanno origine e destinazione in un casello autostradale. |
| Nearshoring | Ricollocamento delle attività e servizi aziendali in un Paese limitrofo (<i>near</i> , «vicino») a quello di origine. |
| Passeggeri chilometro | Chilometri complessivamente percorsi dal numero di passeggeri trasportati; il numero di tali passeggeri è definito come sommatoria dei prodotti del numero di passeggeri trasportati per le relative percorrenze. |
| Reshoring | Trasferimento delle attività produttive o delle forniture di un'azienda in un Paese diverso rispetto a quello in cui erano state precedentemente delocalizzate. |

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade

| | |
|---|--|
| Share modale | Ripartizione modale nei trasporti. |
| Shift modale | Trasferimento di una quota di mobilità verso un'altra modalità di trasporto. |
| Tonnellate chilometro | Tonnellate di merci per un chilometro di strada; sono definite come il prodotto tra la quantità trasportata e i chilometri percorsi da una singola partita di merce. |
| Veicoli chilometro | Chilometri complessivamente percorsi dalle unità veicolari. |
| Veicoli leggeri o Traffico leggero | Motocicli e autoveicoli a due assi con altezza da terra, in corrispondenza dell'asse anteriore, inferiore a 1,30 m. |
| Veicoli merci leggeri | Veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima non superiore a 3,5 ton. |
| Veicoli merci pesanti | Veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 ton. |
| Veicoli pesanti o Traffico pesante | Autoveicoli a due assi con altezza da terra, in corrispondenza dell'asse anteriore, superiore a 1,30 m, e tutti gli autoveicoli a tre o più assi. |
| Veicoli teorici medi giornalieri (VTGM) | Unità veicolari che idealmente, percorrendo una intera tratta stradale, danno luogo nel complesso a percorrenze pari a quelle ottenute realmente (veicoli chilometro di cui sopra); il numero di tali veicoli è definito dal rapporto tra i veicoli chilometro e la lunghezza della tratta stradale. |

Glossario dei termini relativi al tema digitalizzazione

| | | |
|-----|--------------------------------|---|
| ACC | <i>Adaptive Cruise Control</i> | Controllo adattativo del veicolo durante la marcia. Sistema che permette di mantenere una distanza di sicurezza dal veicolo che precede e modulare la propria velocità di crociera. Può gestire lo sterzo e l'accelerazione/decelerazione senza la necessità di un controllo attivo del guidatore, come la guida in autostrada o il traffico stop-and-go. |
|-----|--------------------------------|---|

Glossario dei termini e degli acronimi

| | | |
|-------|---|--|
| ADAS | <i>Advanced Driver Assistance System</i> | Assistente alla guida. Complessi sistemi di rilevamento e azionamento progettati per ridurre al minimo l'errore umano del guidatore quando il veicolo è in movimento in «qualsiasi» ambiente si trovi. |
| ADDAW | <i>Advanced Driver Drowsiness and Attention Warning</i> | Avviso avanzato di distrazione del conducente. Sistema che aiuta il conducente a continuare a prestare attenzione alla situazione del traffico e che avverte il conducente quando si distrae. |
| AEB | <i>Automated Emergency Braking</i> | Frenata di emergenza. Sistema di frenata che interviene in caso di emergenza, riconoscendo la pressione che il guidatore sta imprimendo sul pedale del freno ed esercitando la massima pressione possibile in quell'occasione. |
| ALKS | <i>Automated Lane Keeping System</i> | Mantenimento automatico della corsia di marcia. Mantiene il veicolo all'interno della corsia attuale, attuando delle leggere correzioni – laterali e longitudinali – anche per lunghi periodi, nel caso in cui il veicolo stia per oltrepassare la linea di demarcazione della corsia stessa, agendo anche sullo sterzo. |
| CAS | <i>Collision Avoidance System</i> | Sistema di prevenzione delle collisioni. Riconosce la situazione di pericolo del veicolo che precede e calcolando le accelerazioni/decelerazioni del veicolo, valutando la distanza dal veicolo, la sterzata, la marcia inserita, l'aderenza con l'asfalto di tutte le gomme, interviene immediatamente, riducendo a zero (o quasi) i normali tempi di reazione. |
| CCAM | <i>Connected, Cooperative and Automated Mobility</i> | Si riferisce allo sviluppo di concetti di mobilità lungo le reti stradali, centrati sull'utente, inclusivi e condivisi, a costi sostenibili, per persone e merci, basati sull'automazione dei mezzi e sulla connettività. |

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade

| | | |
|-------|--|---|
| C-ITS | <i>Cooperative Intelligent Transport Systems</i> | Sono funzionalità avanzate per la guida connessa e includono in particolare i sistemi per la sicurezza passiva e attiva (ADAS), quelli per la gestione del traffico (segnalatica a bordo veicolo, prioritizzazione dei mezzi d'emergenza, sincronizzazione con i semafori), fino ai servizi avanzati per la guida assistita/autonoma (protezione del pedone, anticollisione). |
| DATEX | <i>Data Exchange</i> | Standard per lo scambio di informazioni di traffico tra i Centri di controllo del traffico, Service Providers, media. |
| DDAW | <i>Driver Drowsiness and Attention Warning</i> | Avviso di disattenzione e stanchezza del conducente. Sistema che valuta il livello di attenzione del conducente mediante l'analisi dei sistemi del veicolo e, se necessario, avverte il conducente. |
| EDR | <i>Event Data Recorder</i> | Registratore di dati di evento. Sistema progettato esclusivamente al fine di registrare e memorizzare i parametri relativi agli incidenti e le informazioni immediatamente prima, durante e immediatamente dopo una collisione. |
| ELKS | <i>Emergency Lane Keeping System</i> | Mantenimento corsia di marcia in caso di emergenza. Sistema che supporta il conducente nel mantenere la corsia di marcia riconoscendo le linee di demarcazione delle corsie. |
| EMS | <i>Energy Management System</i> | Piattaforma di gestione dei flussi di energia tra componenti di rete come pannelli fotovoltaici, sistemi di immagazzinamento di energia, stazioni di ricarica. |
| HDV | <i>Heavy Duty Vehicle</i> | Veicolo di massa superiore a 3500 kg. |
| HPC | <i>High Power Charger</i> | Stazioni di ricarica elettrica a elevata potenza. |

Glossario dei termini e degli acronimi

| | | |
|-----|--|---|
| ISA | <i>Intelligent Speed Assistance</i> | Adattamento intelligente della velocità. Sistema che aiuta il conducente a mantenere la velocità più appropriata all'ambiente stradale fornendo un segnale apposito adeguato. |
| SAE | <i>Society of Automotive Engineers</i> | Ente di normazione nel campo dell'industria automobilistica. |
| SHM | <i>Structural Health Monitoring</i> | Sistema di monitoraggio della salute delle strutture (ponti, viadotti, gallerie). |
| V2G | <i>Vehicle to Grid</i> | Sistemi di gestione dell'energia «veicolo verso la rete». |
| V2X | <i>Vehicle to Everything</i> | Indicano tecnologie di comunicazione tra il veicolo e qualsiasi mezzo/persona mobile nei pressi. |

Glossario termini relativi a energia e veicoli

| | |
|-------------|--|
| AF | Animal Fats, ovvero grassi animali. |
| AFIR | Alternative Fuels Infrastructure Regulation. Regolamento che fissa standard minimi per le infrastrutture di ricarica dei veicoli elettrici o a idrogeno. |
| Analisi LCA | Life Cycle Assessment, ovvero Analisi del ciclo di vita. Metodologia che permette di valutare l'impronta ambientale di un prodotto, lungo il suo intero ciclo di vita. Ad esempio, nel caso di un veicolo elettrico, la LCA permette di analizzare l'impatto che tale veicolo ha a partire dall'approvvigionamento delle materie prime utilizzate per realizzarlo, fino allo smaltimento dei componenti a fine vita. |

| | |
|-----------------------------------|--|
| Approccio wrw | L'approccio Well-to-Whell, letteralmente «dal pozzo alla ruota», permette di confrontare tra di loro le differenti combinazioni di carburante/tecnologia propulsiva. L'analisi può essere suddivisa in due fasi. La prima prende il nome di Well-to-Tank (wTT), ovvero «dal pozzo al serbatoio». Tale fase si focalizza sui diversi processi (estrazione, trasporto, trasformazione, stoccaggio e distribuzione) che permettono di ottenere uno specifico vettore (ad esempio il diesel) a partire dalla fonte primaria (ad esempio il petrolio). La seconda fase prende il nome di Tank-to-Wheel (TTW), ovvero «dal serbatoio alla ruota». Questa fase si focalizza sul veicolo, ovvero permette di analizzare come l'energia contenuta nel combustibile (ad esempio energia chimica nel caso del diesel) possa essere convertita in energia meccanica disponibile alle ruote per far muovere il veicolo. |
| Bcm | Billion cubic meters, ovvero miliardi di metri cubi. Unità di misura tipicamente utilizzata per il gas naturale. |
| BEV | Battery Electric Vehicle, ovvero veicolo elettrico a batteria. Indica un veicolo che sfrutta unicamente energia elettrica accumulata in una batteria e uno o più motori elettrici. Non presenta motori a combustione interna o altri sistemi di accumulo. |
| Biocarburante (o biocombustibile) | Carburante derivato da materie prime di origine biologica, ovvero le biomasse. |
| Biomassa | Frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani. |

Glossario dei termini e degli acronimi

| | |
|---------------------------------|--|
| Carburante fossile | Carburante derivato dalla trasformazione naturale delle sostanze organiche seppellitesi nel sottosuolo nel corso di milioni di anni. Sono carburanti fossili i derivati del petrolio e il gas naturale. |
| CCUS | Carbon Capture, Utilisation and Storage, ossia Cattura, utilizzo e stoccaggio del carbonio. Insieme di tecnologie che impediscono alla CO ₂ di essere rilasciata nell'atmosfera da diversi processi industriali, stoccandola per sempre in formazioni rocciose profonde (CCS, Carbon Capture and Storage) o convertendola in materiali utili (CCU, Carbon Capture and Utilisation). |
| CO ₂ equivalente | Misura dell'impatto sul riscaldamento globale di una certa quantità di gas serra rispetto alla stessa quantità di anidride carbonica (CO ₂). La CO ₂ equivalente viene calcolata moltiplicando la quantità di gas serra per un opportuno parametro noto come Global Warming Potential (GWP). Spesso si fa riferimento alla CO _{2eq} semplicemente come CO ₂ . Tale approccio si trova anche nei testi di regolamenti e direttive europee. |
| DAC | Direct Air Capture. Tecniche atte a effettuare la cattura diretta di CO ₂ dall'aria. |
| Decarbonizzazione dei trasporti | Eliminazione dei vettori energetici a base di carbonio, migrando verso una mobilità basata su energia elettrica e idrogeno. |
| Defossilizzazione dei trasporti | Eliminazione dei vettori energetici che utilizzano fonti fossili come fonte primaria. Una mobilità «defossilizzata» si basa sull'utilizzo di energia elettrica, idrogeno, biocarburanti e carburanti sintetici. |
| Drop-in | Con tale termine si intende, ai fini del suo utilizzo, il biocarburante che: <ul style="list-style-type: none">• non richiede modifiche dei motori e dei sistemi-carburante esistenti in commercio;• possiede pressoché le stesse caratteristiche dei carburanti tradizionali; |

- non determina limitazioni alle prestazioni dei veicoli;
- non necessita di modifiche rilevanti dei sistemi di immagazzinamento e distribuzione del carburante;
- permette la piena miscibilità con i carburanti tradizionali senza comprometterne le caratteristiche finali.

| | |
|---------------------------|---|
| Efficienza di ricarica | Parametro misurato in min/100km. Indica quanto tempo è necessario per ricaricare la batteria di un'auto elettrica. |
| Effort Sharing Regulation | Regolamento che stabilisce per ogni Stato membro UE un obiettivo nazionale di riduzione di gas serra entro il 2030. |
| e-fuel | Elettrocarburanti, noti anche come Power-to-X (Power-to-Liquid e/o Power-to-Gas). Sono combustibili sintetici (liquidi o gassosi), ottenuti da processi sintetici e derivanti dalla combinazione di anidride carbonica e idrogeno da elettrolisi, alimentata totalmente da fonti rinnovabili. |
| Elettrolisi | Processo che consente di attuare delle trasformazioni chimiche grazie all'apporto di energia elettrica. La macchina che svolge l'elettrolisi prende il nome di elettrolizzatore. L'elettrolisi permette di ottenere idrogeno a partire dall'acqua. |
| ETS | Emission Trading System. Sistema di scambio delle emissioni introdotto dall'UE per raggiungere gli obiettivi del pacchetto Fit for 55. |
| EV | Electric Vehicle, ovvero veicolo elettrico. Comprende BEV, PHEV, HEV e FCEV. |
| FCEV | Fuel-cell Electric Vehicle, ovvero veicolo elettrico a cella a combustibile. Veicolo elettrico dotato di una batteria, un motore elettrico e una cella a combustibile che permette di convertire l'idrogeno accumulato in un opportuno serbatoio in energia elettrica. |

Glossario dei termini e degli acronimi

| | |
|-----------------|--|
| Feedstock | Materia prima per la produzione di un combustibile. Nel caso dei biocombustibili, la tipologia di feedstock assume un ruolo fondamentale per definirne l'impatto ambientale. |
| Fischer-Tropsch | Processo di sintesi in grado di produrre gli e-fuel a partire dal syngas. |
| Fit for 55 | Pacchetto dell'UE che consiste di un insieme di proposte volte a raggiungere l'obiettivo di ridurre le emissioni nette di gas serra di almeno il 55% entro il 2030. |
| GHG | Greenhouse Gases. Gas a effetto serra. |
| GNC | Gas naturale compresso. |
| GNL | Gas naturale liquefatto. Gas naturale che è stato sottoposto a opportuni trattamenti utili a trasformarlo da sostanza gassosa a liquida. |
| Hard-to-abate | Settori con i più elevati impatti inquinanti e difficili da riconvertire, che utilizzano i combustibili fossili come fonte di energia, per esempio: cementifici, cartiere, ceramica, industrie del vetro. |
| HDV | Heavy Duty Vehicles. Veicoli commerciali pesanti. |
| HEV | Hybrid Electric Vehicle, noto anche come Full-hybrid, ovvero veicolo elettrico ibrido. A differenza del PHEV, non è possibile prelevare energia elettrica dalla rete, ma viene ottenuta solo tramite frenata rigenerativa. |
| HRS | Hydrogen Refuelling Stations, ovvero stazioni di rifornimento di idrogeno per la mobilità. |
| HVO | Hydrotreated Vegetable Oil. Biocarburante composto da una miscela di iso-paraffine ad alto contenuto energetico, caratterizzata dalla totale assenza di composti aromatici e poliaromatici. |
| ICEV | Internal Combustion Engine Vehicle, veicolo con motore a combustione interna. |

| | |
|-------------------------------------|--|
| ILUC | Indirect Land Use Change. Cambiamento indiretto dell'utilizzo dei terreni agricoli che può avvenire quando i terreni utilizzati per colture a uso alimentare vengono convertiti in coltivazioni di biomasse da utilizzare nella produzione dei biocarburanti. |
| Impatto emissivo | Impatto ambientale che ha l'utilizzo di una determinata tecnologia e/o vettore energetico in termini di emissioni inquinanti e/o climalteranti. |
| LDV | Light Duty Vehicles. Veicoli leggeri come autovetture e van. |
| LOHC | Liquid Organic Hydrogen Carriers, ovvero vettori organici liquidi di idrogeno. Composti organici in grado di assorbire e rilasciare idrogeno mediante reazioni chimiche, al fine di agevolare trasporto e stoccaggio. |
| Net zero emissions | Emissioni nette nulle di gas a effetto serra. Il termine «nette» sta a indicare che il bilancio deve essere fatto su tutta la catena di trasformazione e utilizzo del vettore energetico. |
| Neutralità tecnologica | Approccio non discriminatorio alla regolazione dell'uso delle tecnologie, lasciando il mercato libero di deciderne la combinazione ottimale. In tal senso, le azioni politiche devono essere definite al fine di permettere lo sviluppo di tutti i vettori energetici in egual misura. |
| Parco circolante | «Fotografia» che rappresenta il numero e la tipologia di veicoli in circolazione. |
| Penetrazione dei veicoli | Percentuale di una determinata tipologia di veicolo (ad esempio BEV) sul parco auto circolante. |
| Penetrazione dei vettori energetici | Percentuale di un determinato vettore energetico sulla totalità dei vettori utilizzati in uno specifico settore, nella fattispecie della mobilità. |

Glossario dei termini e degli acronimi

| | |
|-------------------------------|--|
| PHEV | Plug-in Hybrid Electric Vehicle, veicolo elettrico plug-in. Veicolo ibrido che sfrutta due vettori energetici. Da un lato l'energia elettrica prelevata dalla rete, accumulata in una batteria interna al veicolo e utilizzata per alimentare un motore elettrico. Dall'altro un combustibile fossile, bio o sintetico per alimentare un motore endotermico. |
| PNIEC | Piano nazionale integrato energia e clima, che contribuisce a definire la traiettoria di decarbonizzazione dei trasporti a livello italiano. |
| Potenza di ricarica | Misura dell'energia per unità di tempo che viene erogata dalla colonnina di ricarica e assorbita dalla batteria del veicolo elettrico. Può essere considerata come un indicatore della velocità con cui avviene la ricarica. Si misura in kW. |
| Punto di ricarica | Colonnina adibita alla fornitura di energia elettrica per un unico veicolo alla volta. |
| Range anxiety | Letteralmente «ansia da autonomia». È la paura che il veicolo (in particolare quello elettrico) non abbia energia sufficiente per raggiungere la meta. |
| RED | Renewable Energy Directive. Direttiva UE che regola e promuove lo sviluppo di fonti di energia rinnovabile in tutti i settori economici dell'Unione Europea. |
| Rendimento vettore energetico | In termodinamica, il rendimento di una macchina rappresenta il rapporto tra l'energia utilizzabile e l'energia che è stata necessaria per far funzionare quella macchina. Applicato ai vettori energetici per la mobilità, il rendimento indica il rapporto tra l'energia utilizzabile e l'energia che è stata necessaria per produrre quel determinato vettore (cfr. WTW, WTT e TTW). |

La rivoluzione della mobilità sostenibile parte dalle autostrade

| | |
|-------------------------|---|
| RFNBO | Renewable Fuels of Non-Biological Origin. Combustibili rinnovabili di origine non biologica. Rientrano in questa categoria l'idrogeno, l'ammoniaca, il metanolo e i combustibili sintetici. |
| RUCO | Repurpose Used Cooking Oils, ovvero oli fritti rigenerati. |
| Smc | Standard metri cubi, ovvero volume di gas misurato in condizioni standard (1 atm e 15°C). |
| SMR | Steam Methane Reforming. Metodo che consente di produrre idrogeno e anidride carbonica a partire dalla reazione dell'acqua con il gas naturale e apporto di calore. |
| Stazione di ricarica | Infrastruttura che comprende l'insieme di più punti di ricarica. |
| Syngas | Gas di sintesi, ovvero miscela reattiva di H ₂ , CO e CO ₂ . |
| Total cost of ownership | Costo totale di possesso. Nel caso di un veicolo, indica il costo di acquisto, manutenzione, tasse e costo del vettore energetico utilizzato come alimentazione. |
| Upgrading | Processo di purificazione del biogas grezzo (ottenuto ad esempio dalla digestione anaerobica delle biomasse) che permette di ottenere biometano. |
| Vettore energetico | Mezzo in grado di trasferire l'energia da una forma a un'altra. Nella fattispecie della mobilità, un vettore energetico permette di ottenere energia meccanica a partire da energia chimica (nel caso di veicoli con motore a combustione interna) o elettrica (nel caso di veicoli elettrici). |

Note

1. Domanda e modalità di trasporto in Italia e in Europa

- ¹ La percentuale della popolazione mobile è coerente con quella stimata dall'Audimob dell'ISFORT (81%), mentre la percorrenza media per singolo spostamento risulta superiore (18 km contro 10 km). Tali differenze dipendono sia dall'esclusione in questa analisi di tutti gli spostamenti inferiori agli 800 metri sia dal fatto che l'indagine di Audimob si basa con maggior prevalenza su di un campione di utenti caratterizzato da spostamenti di breve percorrenza (ad esempio inferiori ai 50 km).
- ² Fonte: Moveo, MIT, *Mobilità e logistica sostenibili. Analisi e indirizzi strategici per il futuro*, 2022.
- ³ Per trasporto marittimo e aereo si tratta di spostamenti intra UE.

2. Le autostrade per la mobilità dei passeggeri e la logistica delle merci

- ¹ Stima condotta sulla base delle risultanze di studi, ricerche e analisi di valutazione disponibili e redatti per quantificare gli impatti trasportistici prodotti dall'AV in esercizio.
- ² Stime condotte sulla base delle matrici origine-destinazione casello-casello nazionali e finalizzate a individuare i traffici di veicoli leggeri sulle OD in potenziale competizione con i nuovi servizi ferroviari AV/AVR (ad esempio Milano-Bari; Napoli-Bari; Bologna-Ancona). A partire dalla domanda autostradale in competizione (per le sole tratte in competizione: ad esempio per la OD Milano-Bari sono stati considerati i passeggeri chilometro sulla sola tratta Bologna-Bari oggetto di investimento) è stata stimata la percentuale di questi passeggeri chilometro sul totale delle autostrade in competizione al fine di caratterizzare il «mercato contendibile», ovvero il bacino attuale potenzialmente interessato da nuovi servizi ferroviari di media e lunga percorrenza.

5. I vettori energetici per la decarbonizzazione del trasporto su gomma

- ¹ Regolamento 2019/631, emendato dal Regolamento 2023/851 per CO₂ LDV, e Regolamento 2019/1242 e relativa proposta di revisione, COM (2023) 88 final, per CO₂ HDV.
- ² Regolamenti 715/2007 e 595/2009 e relativa proposta di revisione COM (2022) 586.
- ³ Cosiddetta RED III, approvata dal Parlamento e dal Consiglio UE, che emenda la direttiva 2018/2001.

- ⁴ Direttiva 2009/30/CE, c.d. Fuel Quality Directive: FQD.
- ⁵ Direttiva 2003/87, modificata dalla direttiva 2023/959.
- ⁶ Regolamento 2018/842, modificato da Regolamento 2023/857.
- ⁷ Si tratta di: trasporti, edilizia, agricoltura, industria (settori non ETS) e rifiuti.
- ⁸ Il regolamento UE 2018/842 è stato modificato dal Regolamento 2023/857, pubblicato in GUUE il 26 aprile 2023.
- ⁹ COM (2022) 230 final.
- ¹⁰ Metano liquefatto è definito, solo con riferimento all'AFIR: «LNG, liquefied biogas or synthetic liquefied methane, including blends of these fuels».
- ¹¹ Regolamento UE 851/2023 che modifica il Regolamento UE 2019/631 per quanto riguarda il rafforzamento dei livelli di prestazione in materia di emissioni di CO₂ delle autovetture nuove e dei veicoli commerciali leggeri nuovi, in linea con la maggiore ambizione dell'Unione in materia di clima.
- ¹² Valore della penale = Emissioni in eccesso × 95 euro × numero di veicoli di nuova immatricolazione.
- ¹³ Il testo della direttiva è stato approvato da parte del Parlamento e del Consiglio UE tra settembre e ottobre 2023 e poi pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea serie L del 31 ottobre 2023.
- ¹⁴ Nel caso uno Stato opti per applicare un target di tipo energetico è previsto l'utilizzo di moltiplicatori che favoriscono il raggiungimento dell'obiettivo, riconoscendo così un beneficio ad alcune tipologie di prodotto: per i carburanti derivanti da materie prime ricomprese nell'allegato IX della direttiva e per gli RFNBO (carburanti rinnovabili di origine non biologica) il moltiplicatore è x2; per l'ener-

gia elettrica rinnovabile utilizzata per il trasporto stradale il moltiplicatore è x4 e per quello ferroviario è x1,5. Se l'opzione scelta dallo Stato membro è il target di riduzione delle emissioni serra, il consumo di elettricità prodotta da fonte rinnovabile è favorito (rispetto ad altri vettori rinnovabili) in ragione del maggiore valore (183 g CO₂/MJ vs 94 g CO₂/MJ) riconosciuto alle emissioni evitate rispetto ai carburanti fossili. I soggetti obbligati sono i fuel supplier su cui ricade l'obbligo di fornire al settore tutte le soluzioni possibili per raggiungere gli obiettivi illustrati, cui si aggiunge anche un contributo minimo complessivo di biocarburanti/biogas avanzati (ovvero prodotti a partire dai *feedstock* elencati nella parte A dell'allegato IX della direttiva) e di RFNBO, dell'1% al 2025 e del 5,5% al 2030 (di cui almeno 1% di RFNBO).

- ¹⁵ Regolamento, atti delegati relativi agli obiettivi sul cambiamento climatico (c.d. Atto Del. Clima e Complementary Delegated Act) e atto delegato sulla metodologia sono già in vigore. L'atto delegato sugli altri obiettivi della Tassonomia ambientale e quello che apporta degli emendamenti all'Atto Del. Clima sono stati adottati dalla Commissione a metà giugno 2023 e, salvo veto del Parlamento UE, diventeranno effettivi entro i successivi quattro mesi.
- ¹⁶ Il testo attualmente in valutazione si discosta dalla proposta iniziale della Commissione e prevede una tassazione minima per i fuel destinati al trasporto differenziata in tre categorie: la prima comprende sia i carburanti fossili sia i biocarburanti derivanti da colture food & feed, la seconda comprende fuel low carbon, biofuel e biogas sostenibili se non food & feed (a meno di deroghe nel periodo transi-

torio di iniziale applicazione della normativa) e la terza si riferisce a RFNBO e ai biocarburanti/biogas avanzati, che secondo l'impostazione di questa specifica direttiva ricomprendono biocarburanti e biogas prodotti da materie prime comprese sia nella parte A sia nella parte B dell'allegato IX della RED.

¹⁷ Rapporto trimestrale GSE, *Energia e clima in Italia, Q4 2022*. La capacità produttiva dei 45 impianti è di 41.374 smc/h, corrispondente a circa 250 kton/anno, considerando un numero teorico di ore annue di funzionamento dell'impianto pari a 8760.

¹⁸ Secondo l'Atto delegato sulla GHG methodology, art. 10, dell'UE, non ancora approvato formalmente, gli e-fuel includerebbero anche la CO₂ da fonte fossile (fino al 2036).

¹⁹ Il 1923 segnò la data della scoperta della reazione d'idrogenazione del monossido di carbonio per la sintesi di idrocarburi, in seguito chiamata «Sintesi di Fischer-Tropsch» dal nome dei suoi inventori Franz Fischer e Hans Tropsch, ricercatori presso il Kaiser Wilhelm Institut.

L'obiettivo principale fu la produzione di combustibili sintetici (*synfuels*), principalmente diesel per uso motoristico, durante la Seconda guerra mondiale. La soluzione del problema energetico che la Germania dovette affrontare durante il periodo bellico, vista la scarsità delle riserve di greggio, creò le condizioni favorevoli allo sviluppo del processo FT, soprattutto in considerazione del fatto che la Germania disponeva di grosse riserve di carbone utilizzabile come materia prima per la produzione del gas di sintesi.

Sul finire degli anni Quaranta la società SASOL, a partire

dall'esperienza tedesca, avviò la ripresa del processo FT in Sudafrica, culminata negli anni Ottanta con tre unità alimentate con carbone che miravano a produrre benzine. Oggi la tecnologia FT è licenziata da varie società, tra queste Shell Global Solution, Johnson Matthey, SASOL e Axens (gruppo IFPEN).

- ²⁰ I dati riportati nel grafico fanno riferimento al segmento delle autovetture; lo studio affronta anche i segmenti del settore del trasporto pesante (come, per esempio, *rigid lorry* (< 12 ton) o *articulated lorry* (< 40 ton)) con risultati ancora più sbilanciati verso l'utilizzo in purezza di HVO e biometano, in virtù della minor efficienza del vettore elettrico quando applicato ai veicoli pesanti.
- ²¹ Fonti: 1) Ricardo Energy & Environment, *Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA*, Relazione finale per la Commissione europea, DG Clima, 2020; 2) Joint Research Centre, *JEC Well-to-Wheel Report v5*, 2020.
- ²² Una revisione «tecnologicamente neutrale» del sistema di tassazione è attualmente in discussione a livello europeo nell'ambito della riforma della direttiva sulla tassazione energetica (ETD) e potrebbe portare a un medesimo livello minimo di tassazione per biocarburanti avanzati (liquidi e gassosi), idrogeno rinnovabile ed energia elettrica.
- ²³ Gli investimenti in infrastrutture energetiche necessari per raggiungere gli obiettivi europei di decarbonizzazione previsti dal Fit for 55 sono stati stimati in 132 miliardi di euro, tra il 2022 e il 2030, nello studio di Confindustria Energia, *Infrastrutture energetiche per una transizione giusta e sostenibile*, 3^a edizione, 2022.

- ²⁴ Si considera il 2021 come il periodo recente meno impattato da fenomeni esogeni (pandemia, crisi ucraina), per quanto la forte volatilità dei mercati energetici comunque registrata negli ultimi anni deve essere considerata criticamente nella lettura dei risultati.

6. Azioni e scenari di decarbonizzazione del trasporto su gomma

- ¹ Per tutti i dettagli si faccia riferimento allo studio del Cluster Trasporti, Cascetta et al., *PATHs to 2030: Possibili traiettorie del trasporto su strada per il raggiungimento degli obiettivi del pacchetto climatico EU «Fit for 55»*.
- ² Cascetta et al., *Alcune traiettorie di decarbonizzazione del trasporto stradale in Italia al 2030: verso il Fit For 55*, «leStrade», 6, 2023.
- ³ Per il caso italiano è opportuno menzionare i documenti: 1) *Decarbonizzare i trasporti. Evidenze scientifiche e proposte di policy*, aprile 2022, elaborato dagli esperti coinvolti nell'ambito della Struttura per la transizione ecologica della mobilità e delle infrastrutture (STEMI) istituita dal MIMS (oggi MIT), che individua alcune possibili soluzioni tecnologiche per perseguire la decarbonizzazione dei trasporti nel Paese; 2) *Moveo, Mobilità e logistica sostenibili. Analisi e indirizzi strategici per il futuro*, redatto dal MIMS (oggi MIT) nel 2022. Per il caso europeo è opportuno menzionare il documento: *Decarbonising Road Transport. The Role of Vehicles, Fuels and Transport Demand*, elaborato dall'European Environment Agency (EEA) nel 2022.
- ⁴ In Tabella sono utilizzati i seguenti acronimi: BEV (Battery Electric Vehicle), veicolo 100% elettrico; PHEV (Plug-in Hy-

brid Electric Vehicle), veicolo ibrido ricaricabile con anche possibilità di autonomia in full-electric per alcune decine di chilometri; HEV (Hybrid Electric Vehicle), veicolo full-hybrid; ICE (Internal Combustion Engine), veicolo a combustione interna.

- ⁵ European Parliament, *Revising the Effort-sharing Regulation for 2021-2030: «Fit for 55» package*, 07/2022.

Finito di stampare nel mese di novembre 2023

In collaborazione con:



POLITECNICO
MILANO 1863



Consiglio Nazionale delle Ricerche



autostrade // per l'italia

