



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI**  
**"M. FANNO"**

**CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA**

**PROVA FINALE**

**CAMBIAMENTO CLIMATICO, INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO E**  
**MOBILITÀ URBANA**

**RELATORE:**

**CH.MO PROF. CESARE DOSI**

**LAUREANDO: FRANCESCO AMBROGI**

**MATRICOLA N. 1219812**

**ANNO ACCADEMICO 2021 – 2022**

Dichiaro di aver preso visione del “Regolamento antiplagio” approvato dal Consiglio del Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali e, consapevole delle conseguenze derivanti da dichiarazioni mendaci, dichiaro che il presente lavoro non è già stato sottoposto, in tutto o in parte, per il conseguimento di un titolo accademico in altre Università italiane o straniere. Dichiaro inoltre che tutte le fonti utilizzate per la realizzazione del presente lavoro, inclusi i materiali digitali, sono state correttamente citate nel corpo del testo e nella sezione ‘Riferimenti bibliografici’.

*I hereby declare that I have read and understood the “Anti-plagiarism rules and regulations” approved by the Council of the Department of Economics and Management and I am aware of the consequences of making false statements. I declare that this piece of work has not been previously submitted – either fully or partially – for fulfilling the requirements of an academic degree, whether in Italy or abroad. Furthermore, I declare that the references used for this work – including the digital materials – have been appropriately cited and acknowledged in the text and in the section ‘References’.*

Firma (signature) .....  .....

# Indice

<b>Introduzione .....</b>	<b>2</b>
<b>Cambiamenti climatici e infrastrutture di trasporto .....</b>	<b>3</b>
1.1 Cambiamenti climatici: uno sguardo agli scenari ed agli impatti sull'Italia .....	3
1.2 L'interrelazione tra attività di trasporto e cambiamenti climatici .....	5
1.2.1 Il contributo delle attività di trasporto alle emissioni di gas serra .....	6
1.2.2 Gli impatti dei cambiamenti climatici sui trasporti .....	7
1.3 Cenni sulle misure di adattamento .....	10
<b>Misure di mitigazione .....</b>	<b>12</b>
2.1 I target europei di riduzione delle emissioni .....	12
2.2 Opere di mitigazione: gli interventi infrastrutturali .....	15
2.2.1 Trasporto su ferro .....	16
2.2.2 Trasporto su gomma .....	18
2.2.3 Trasporto aereo .....	21
2.2.4 Trasporto marittimo .....	22
2.3 Intermodalità .....	22
2.4 Politiche ed incentivi .....	23
<b>Nuove prospettive del trasporto urbano di persone e merci .....</b>	<b>26</b>
3.1 La mobilità di persone .....	26
3.1.1 Biglietti integrati e piattaforme "MAAS" .....	27
3.2 La mobilità delle merci e la logistica dell'ultimo miglio .....	28
3.2.1 Gli ostacoli alla sostenibilità .....	29
3.2.2 I nuovi modelli di <i>last-mile logisitcs</i> .....	29
<b>Considerazioni finali .....</b>	<b>31</b>
<b>Riferimenti bibliografici .....</b>	<b>33</b>

# Introduzione

I cambiamenti climatici, intesi come tutti quei fenomeni correlati all'aumento della temperatura media terrestre causato in gran parte allo svolgimento delle attività umane, sono un fenomeno attuale e sempre più innegabile, e lo stesso può essere detto per gli impatti che quest'ultimi esercitano sul nostro pianeta e su tutte le attività che gli esseri umani vi conducono. Tra queste occupa una posizione di rilievo la mobilità di persone, merci ed energia. Questo perché contribuisce ad accrescere il riscaldamento globale e, inoltre, le infrastrutture su cui essa si basa sono vulnerabili al mutamento delle condizioni climatiche.

La relazione biunivoca tra cambiamenti climatici e trasporti si riflette nelle due tipologie di misure che possono essere messe in atto nell'ambito della mobilità per cercare di correggere e invertire l'attuale tendenza: misure di adattamento con lo scopo principale di rendere resistenti e resilienti infrastrutture e mezzi; misure di mitigazione volte a ridurre l'incidenza climatica del settore trasporti.

Nel **primo capitolo** questo elaborato propone una panoramica sui principali rischi e scenari climatici futuri del nostro Paese; viene in seguito analizzata la doppia prospettiva della relazione tra cambiamenti climatici e il settore dei trasporti, per concludere con un veloce sguardo sul tema dell'adattamento. Il **secondo capitolo**, dopo un richiamo ai principali target per la riduzione delle emissioni fissati dall'Unione Europea, concentra l'attenzione sulle misure di mitigazione. Particolare enfasi è data alle opere di mitigazione di tipo infrastrutturale, tenendo sempre un occhio di riguardo per l'Italia, tralasciando per evitare sintesi estreme il tema legato all'introduzione di nuovi veicoli per il trasporto. Il **terzo capitolo** conclude l'analisi dell'argomento offrendo un approfondimento sul trasporto urbano, segmento la cui rilevanza è destinata ad aumentare vista la costante crescita della popolazione residente in aree urbane. Sia per il trasporto urbano dei passeggeri che per la logistica delle merci sono richiamate le principali sfide in ottica di sostenibilità e ne sono evidenziati alcuni possibili scenari di sviluppo, caratterizzati da uno sfruttamento sempre più intensivo delle tecnologie digitali.

# Capitolo 1

## Cambiamenti climatici e infrastrutture di trasporto

I cambiamenti climatici rappresentano con grande probabilità la principale sfida che il genere umano dovrà affrontare nei prossimi decenni. Sebbene i loro effetti siano evidenti già da anni, come concordano molti scienziati, il tempo sembra essere ancora dalla nostra parte. Elemento chiave per cercare di correggere delle traiettorie che sembrano già tracciate è la comprensione del fenomeno nella sua totalità: dalle cause, passando per le numerose e multiformi modalità in essi cui avvengono, sino alle conseguenze.

Questo capitolo si propone di offrire una descrizione sintetica, ma per quanto possibile esaustiva, delle relazioni tra cambiamento climatico, infrastrutture e sistemi di trasporto. Per raggiungere tale scopo sarà necessaria una premessa per comprendere gli scenari climatici attesi per il futuro dell'Italia. A conclusione del capitolo verrà invece posta brevemente l'attenzione sul tema dell'adattamento, per poi concentrarsi nel corso dei capitoli successivi sulle misure che possono essere adottate nell'ambito del settore dei trasporti e della logistica per cercare di contribuire alla mitigazione dei fenomeni correlati al mutamento climatico.

### 1.1 Cambiamenti climatici: uno sguardo agli scenari ed agli impatti sull'Italia

L'Italia è considerato un Paese particolarmente vulnerabile al mutamento climatico, così come tutti i Paesi facenti parte della regione Mediterranea, definita uno tra gli *hot-spot* dei cambiamenti climatici. Nel ventunesimo secolo, infatti, è previsto in questa regione un aumento della temperatura del 20% superiore a quello medio globale, oltre a una riduzione delle precipitazioni più marcata rispetto a quella di altre regioni (Lionello e Scarascia, 2018).

Con particolare riferimento al nostro Paese, analisi raccolte nel documento “*Analisi del Rischio: i cambiamenti climatici in Italia*” elaborato dalla fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), confermano un generale incremento della temperatura media annua: nel periodo 1981-2010, rispetto a quello 1971-2000, si è osservato un incremento di oltre 1,1°C (Spano et al, 2020). Questo aumento risulta evidente dalla [Figura 1](#).

Le rilevazioni al momento disponibili indicano nel 2018 l'anno più caldo dal 1800 con uno scostamento di +1,58°C sopra la media del periodo di riferimento 1971-2000<sup>1</sup>.

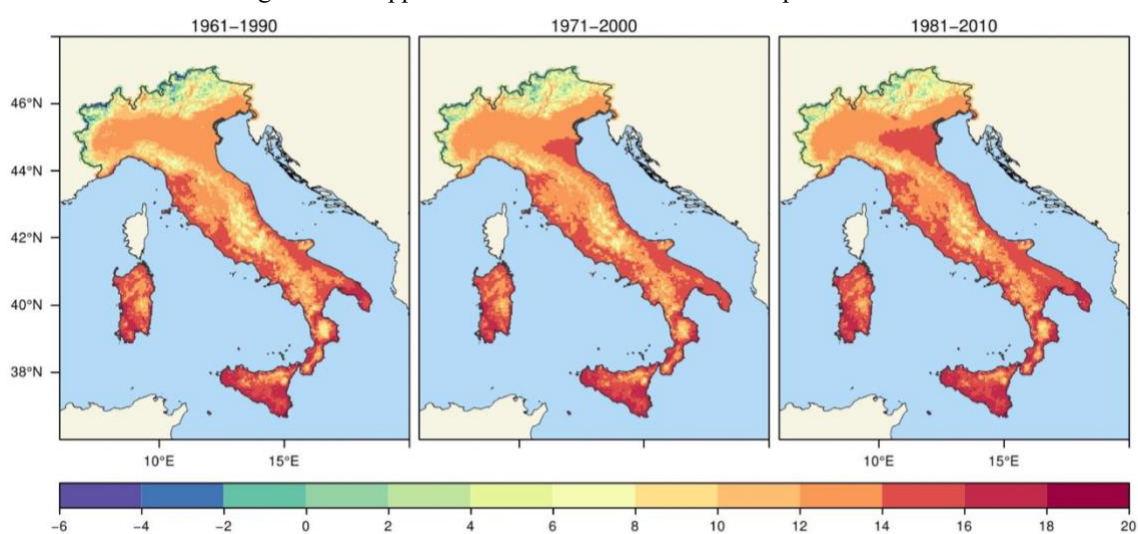
---

<sup>1</sup> Si veda nota stampa del Cnr-Isac del 07/01/2020.

Volgendo lo sguardo verso il futuro, lo studio del CMCC utilizza dei modelli climatici regionali per mettere a punto proiezioni climatiche di temperatura e precipitazioni per l'Italia, che fanno riferimento a differenti scenari di concentrazione di gas serra introdotti nel quinto rapporto IPCC<sup>2</sup>: gli RCP (*Representative Concentration Pathways*).

Tutti i modelli climatici considerati sono concordi nel predire un incremento della temperatura. Se si considerano per esempio gli scenari previsti utilizzando i modelli del programma EURO-CORDEX (Figura 2), “l'incremento di temperatura arriva fino a circa 1°C per lo scenario a più basse concentrazioni di gas serra a fine secolo (RCP2.6<sup>3</sup>) e fino a 5°C per lo scenario con concentrazioni più elevate (RCP8.5<sup>4</sup>)” (Spano et al, 2020, p.17).

Figura 1 – Mappe dei valori normali annuali di temperatura media



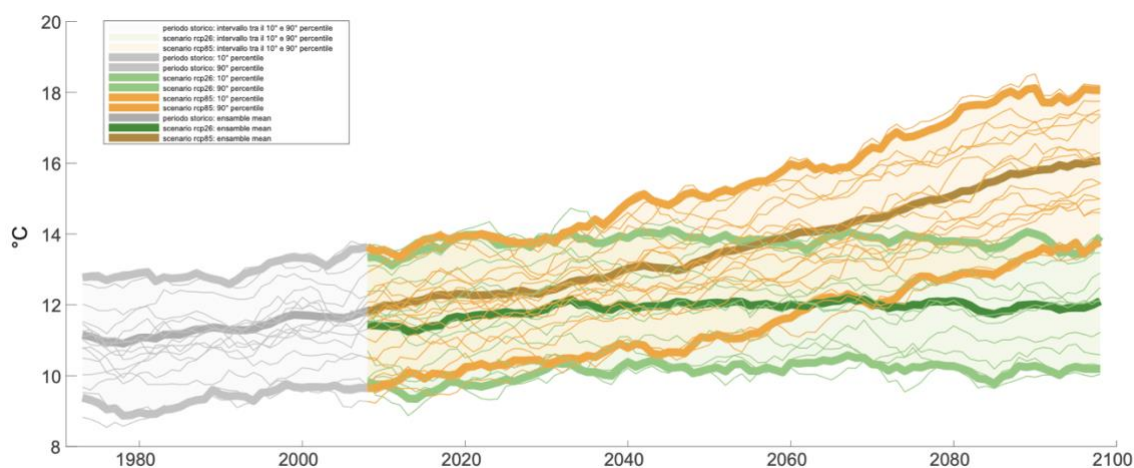
Fonte: Ispra 2014, *Stato dell'Ambiente: Valori climatici normali di temperatura e precipitazione in Italia*

<sup>2</sup> International Panel on Climate Change.

<sup>3</sup> Scenario di “mitigazione aggressiva” corrispondente ad un dimezzamento delle emissioni entro il 2050.

<sup>4</sup> Scenario “*Business as Usual*” corrispondente ad una crescita delle emissioni agli attuali ritmi.

Figura 2 – Proiezioni della temperatura media sull'Italia dall'ensemble EURO-CORDEX con gli scenari RCP2.6 e RCP8.5.



Fonte: CMCC, 2020

Sul fronte delle precipitazioni gli scenari climatici suggeriscono una tendenza che vede in diminuzione le piogge, ma in aumento l'intensità dei fenomeni e della massima precipitazione giornaliera nei mesi estivi e autunnali. Si evidenziano inoltre differenze a livello di macroarea del Paese: al Nord è previsto un aumento delle precipitazioni nel periodo invernale, il Centro-Sud sarà invece interessato da una forte riduzione delle piogge nei mesi estivi.

In questo contesto e seguendo lo scenario con assenza di mitigazione (RCP8.5), si prevede che l'Italia sperimenterà un aumento della desertificazione e con frequenza sempre più crescente siccità estreme (in particolare al Sud) che incrementeranno di conseguenza il rischio di incendi. È pronosticabile un aumento di fenomeni estremi quali piogge torrenziali ed eventi temporaleschi intensi, trombe d'aria e alluvioni. Tra gli impatti di portata maggiore vanno inoltre aggiunti un innalzamento del livello del mare, che interesserà le aree costiere, con conseguenti fenomeni di intrusione salina, nonché un aumento del rischio di frane poco profonde e di altri problemi di dissesto idrogeologico (van Maanen et al, 2020).

Le conseguenze di tali impatti sono settoriali, ma spesso interagiscono fra loro determinando effetti domino. Nel prosieguo di questo lavoro ci occuperemo di quelle riguardanti il settore dei trasporti e delle relative infrastrutture.

## 1.2 L'interrelazione tra attività di trasporto e cambiamenti climatici

Nel mondo interconnesso nel quale oggi viviamo i trasporti rappresentano un elemento chiave per la gran parte delle attività della nostra società, consentendo lo spostamento di volumi di

persone e merci sempre maggiori e garantendo importanti benefici economici. Sono inoltre considerati un valido indicatore della qualità della vita (Bernetti et al, 2020).

Nel contempo, tuttavia, quello dei trasporti si configura, attualmente, come uno tra i settori più nocivi nei confronti dell'ambiente e diviene quindi necessario indagare quanto e come tale settore contribuisce ad aggravare i cambiamenti climatici al fine di studiare misure appropriate che mitighino la sua impronta ambientale.

Dall'altro lato, constatando come il mutamento climatico sia un fenomeno che già sta manifestando i suoi effetti, è inevitabile studiare misure di adattamento che rendano il sistema delle infrastrutture e dei trasporti resiliente; a tale scopo è la relazione inversa a dover essere studiata: ovvero qual è l'effetto dei fenomeni legati al riscaldamento globale sui vari elementi del sistema stesso.

### 1.2.1 Il contributo delle attività di trasporto alle emissioni di gas serra

Dati riferiti al 2019, ultimo anno pre-pandemia, indicano che il settore dei trasporti è responsabile per "... il 25,2% delle emissioni totali di gas ad effetto serra in Italia e il 30,7% delle emissioni totali di CO<sub>2</sub>" (Accetturo et al, 2022, p. 33). Di queste emissioni il 92,6% sono attribuibili al Trasporto su strada di persone e merci, il 4,3% alla Navigazione e il 2,3% all'Aviazione. Le restanti quote sono rappresentate dallo 0,1% delle Ferrovie e dallo 0,7% rientrante sotto la classe di "Altro trasporto" (Figura 3). A livello quantitativo i GHG<sup>5</sup> emessi dal settore dei trasporti si attestano a 105,51 Mt CO<sub>2</sub> eq. (Ispra 341, 2021).

Figura 3 – Emissioni di gas serra derivanti dal trasporto, Anno 2019



Fonte: Ispra 2021, *Le emissioni del trasporto stradale in Italia*

<sup>5</sup> Greenhouse gases.



L'impronta ambientale del settore viene confermata anche osservando i dati in serie storiche: secondo il rapporto Ispra *“Le emissioni del trasporto stradale in Italia”* presentato nell'aprile 2021, nel periodo 1990-2019 le emissioni dei trasporti sono aumentate del 3,2%, in controtendenza rispetto alle performance di altri settori, esclusi quelli dei rifiuti, residenziale e dei servizi (Accetturo et al, 2022). A contribuire a tale aumento sono state la voce “Altro trasporto” (+ 64,9%), l'Aviazione (+ 59,3%) e il Trasporto su strada (+ 3,9%) mentre sono di segno contrario gli andamenti delle emissioni riferibili alle Ferrovie (- 78,0%) ed alla Navigazione (- 18,2%).

Se si allarga lo sguardo fino a comprendere tutti i 28 Paesi dell'Unione Europea, dati riferiti al 2017 e pubblicati dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) nel rapporto TERM<sup>6</sup> restituiscono una percentuale simile a quella italiana per il contributo alle emissioni di gas serra del settore trasporti (24,6%), ma rilevano una differenza nella componente del trasporto su strada, che incide per il 71,7% sul totale delle emissioni. Questa differenza indica come la ripartizione modale del nostro Paese sia maggiormente sbilanciata verso il trasporto su gomma, fatto confermato dalla classifica dei Paesi europei per numero di vetture su 1000 abitanti, che vede l'Italia superata solamente dal Lichtenstein e dal Lussemburgo (Bernetti et al, 2020). Ciò sembra indicare una preferenza degli italiani nei confronti del trasporto veicolare individuale, che potrebbe rendere più complicata una transizione verso mezzi di spostamento più sostenibili.

### **1.2.2 Gli impatti dei cambiamenti climatici sui trasporti**

I sistemi di trasporto sono particolarmente vulnerabili al cambiamento climatico poiché esposti alle condizioni meteorologiche. Tra i cambiamenti climatici che possono influenzare il trasporto vengono inclusi sia i cambiamenti gradualmente come l'incremento delle temperature e del livello del mare, sia l'intensificazione (anche in termini di frequenza) degli eventi estremi quali tempeste, raffiche di vento, precipitazioni intense, inondazioni, ondate di calore e siccità. Le operazioni e le infrastrutture di trasporto sono maggiormente sensibili a questi ultimi, che risultano essere i più dirompenti, ma anche i più difficili da valutare in termini di effetti (Christodoulou e Demirel, 2018).

Le infrastrutture di trasporto possono essere definite come “l'insieme dei sistemi e delle opere civili idonei e necessari all'esercizio di un modo di trasporto che si svolge su un determinato territorio” (Grimaldi, 2007).

---

<sup>6</sup> *Transport and environment reporting mechanism*, ci si riferisce qui al Rapporto del 2019.

Nell'esaminare gli impatti che i fenomeni elencati generano sulle infrastrutture di trasporto viene operata una distinzione tra impatti diretti e impatti indiretti, che determinano due tipologie di costi differenti. I primi fanno riferimento al danno che un fenomeno climatico può causare ad un'infrastruttura fisica, al quale conseguono costi di messa in sicurezza e ripristino oppure di sostituzione o ricostruzione; i secondi racchiudono le alterazioni delle funzioni svolte dall'infrastruttura, che causa costi economici relativi all'interruzione delle operazioni basate sul servizio offerto dall'infrastruttura stessa (Kreibich et al., 2014; Accetturo et al, 2020). Tra i costi indiretti possono essere compresi, ad esempio, quelli collegati a ritardi, deviazioni e cancellazioni di viaggio (Koetse and Rietveld, 2009).

L'interdipendenza tra i pericoli climatici, che talvolta interagiscono tra loro aggravandosi nel tempo e nello spazio, e l'interrelazione tra diverse tipologie di infrastrutture arricchiscono il quadro con impatti e costi a cascata. Questo complica la comprensione della varietà di meccanismi attraverso cui gli eventi climatici possono generare impatti economici sulle infrastrutture e sugli altri elementi del *network* dei trasporti (Accetturo et al, 2020). Comprensione che diventa cruciale per studiare dei dispositivi efficienti di gestione del rischio; tra questi un *framework* generalmente accettato è il "*Risk Management Cycle*", caratterizzato dalle fasi da seguire quando si vogliono ridurre gli impatti di eventi pericolosi: risposta all'emergenza, recupero e ricostruzione, analisi e riduzione del rischio (si veda Kreibich et al., 2014).

Per capire meglio l'entità degli effetti dei mutamenti climatici sui trasporti in Italia, è sufficiente osservare le stime dei soli impatti economici diretti determinati da eventi climatici estremi sul settore: se attualmente vengono quantificati a 0,15 miliardi di euro all'anno, tale cifra è prevista aumentare del 1900% circa entro il periodo 2040-2070, fino a raggiungere quindi 2,85 miliardi di euro all'anno nel caso in cui si consideri lo scenario RCP8.5 di assenza di mitigazione (Accetturo et al, 2020).

Questa stima andrebbe considerata con la dovuta cautela sia perché non comprensiva dei costi indiretti, sia perché si pensa che quelli diretti siano solitamente almeno il 50% più elevati di quanto riportato a livello internazionale (Kreibich et al., 2014).

Elencare tutti i possibili impatti dei cambiamenti climatici sul sistema dei trasporti richiederebbe uno spazio troppo ampio per i fini di questo lavoro, di seguito verranno quindi elencati solamente gli impatti di maggiore portata con riguardo alle principali tipologie di infrastrutture di trasporto.

- **Infrastrutture stradali:** il deterioramento, la deformazione e la rottura del manto stradale sono la principale problematica da affrontare in relazione alle ondate di calore. Per fenomeni quali esondazioni e allagamenti vanno considerati, oltre alla riduzione

dell'operatività, erosioni, cedimenti e danni strutturali. Questi ultimi possono essere causati anche da frane che, così come per le tempeste di vento, determinano inoltre questioni legate all'ostruzione della sede stradale.

- **Infrastrutture ferroviarie:** le problematiche risultano simili a quelle elencate per le infrastrutture stradali, ma in questo caso vanno aggiunte in caso di ondate di calore la deformazione dei binari o *buckling*, alla quale conseguono interruzioni del servizio o alterazioni della velocità di percorrenza (Nemry e Demirel, 2012), e la vulnerabilità a gran parte degli eventi estremi delle fondamentali componenti di segnaletica e telecomunicazione e dell'intero materiale rotabile. In concomitanza con i sopracitati eventi va perciò preventivata una limitazione dell'operatività.
- **Infrastrutture di trasporto aereo:** le ondate di calore determinano un incremento della viscosità delle pavimentazioni e quindi una maggiore resistenza al rotolamento, che a sua volta implica un maggior dispendio di carburante e la necessità di disporre di piste più lunghe. L'aumento della temperatura media, invece, riduce la densità dell'aria e dunque la portanza, forza necessaria a far volare un aeroplano (Puempel e Williams, 2016; Burbidge, 2016). Danni strutturali alle infrastrutture possono accadere in concomitanza con tutti gli eventi climatici estremi, che compromettono fortemente anche l'operatività di volo. Rilevante da sottolineare nel caso degli aeroporti è la minaccia correlata a variazioni nella direzione del vento, che possono costringere a implementare opere di adeguamento strutturale se si vogliono evitare chiusure complete delle piste. Un gran numero di aeroporti, infine, è soggetto a rischio inondazione a seguito dell'innalzamento del livello del mare (Christodoulou e Demirel, 2018).
- **Infrastrutture di trasporto marittimo:** la minaccia più rilevante in questo campo è probabilmente l'acutizzarsi di tempeste e dei fenomeni ventosi che incrementano il moto ondoso e danno luogo a "*Storm Surges*"<sup>7</sup> (Svendsen, 1980). Questi avvenimenti compromettono la normale operatività e possono provocare inondazioni alle quali possono far seguito danni strutturali alle infrastrutture portuali esterne (per esempio dighe foranee) e interne (quali bacini e terrapieni), oltre che ai mezzi marittimi (Accetturo et al, 2020).

---

<sup>7</sup> Onde di tempesta.

### 1.3 Cenni sulle misure di adattamento

Conoscere gli impatti climatici consente un management funzionale delle infrastrutture, anche attraverso l'adozione di misure di adattamento che le rendano resilienti ai mutamenti del clima stesso; tutto questo tramite un'anticipazione degli effetti avversi dovuti a quest'ultimi e la prevenzione o riduzione al minimo dei danni che possono causare, oppure sfruttando le opportunità che possono presentarsi (EEA, 2021).

Se, come detto, questo lavoro si concentrerà sull'analisi delle misure di mitigazione, è comunque utile spendere qualche parola sull'adattamento per offrire qualche spunto di riflessione anche su questo tema.

Per una comprensione sintetica delle misure di adattamento può essere utile osservare come l'Unione Europea è intervenuta sul tema attraverso la definizione della *EU Adaptation Strategy*, il cui ultimo aggiornamento risale al 2021. Essa stabilisce come ci si possa adattare agli impatti inevitabili del cambiamento climatico e diventare resilienti al clima entro il 2050, nel più ampio obiettivo di neutralità climatica fissato dall'Unione sempre per lo stesso anno (EC, 2021). Al suo interno viene introdotto l'*Adaptation Support Tool* (AST) che, disponibile sulla piattaforma *Climate-ADAPT*, ha lo scopo di "...potenziare [...] gli strumenti per sostenere e guidare il processo che porta alla definizione delle strategie e dei piani di adattamento" (Accetturo et al, 2022, p. 184). Tale strumento fornisce una delle possibili classificazioni di tipologie di misure di adattamento, implementabili anche nell'ambito delle infrastrutture per la mobilità e i trasporti:

- misure *grey*, che fanno riferimento ad interventi tecnologici e ingegneristici;
- misure *green*, basate su un approccio ecosistemico o *nature-based*;
- misure *soft*, ovvero di tipo politico, sociale, gestionale e finanziario che possono modificare il comportamento umano e lo stile di governance aumentando la consapevolezza sul tema;
- misure trasversali, risultanti dall'integrazione delle tre precedenti.

Qualsiasi sia il tipo di misura che viene intrapresa, vanno poi considerati tre principi fondamentali: una valutazione dei rischi adottando una prospettiva di medio-lungo termine da aggiornare costantemente e che consideri l'intero ciclo di vita delle infrastrutture (Love et al., 2010); l'adozione di misure "*no regrets*", "...ossia degne di essere perseguite a prescindere dal percorso climatico finale" (EC COM 82 final, 2021, p. 2); infine l'utilizzo di processi "*climate proof*" in un'ottica di pianificazione sistemica (Accetturo et al, 2022).

Nel concludere questo breve excursus è doveroso sottolineare una peculiarità del settore dei trasporti in tema di adattamento, ovvero la necessità di coordinamento a livello (inter)nazionale, regionale e locale vista la diffusione e l'estensione su larga scala dei cambiamenti climatici (Revi et al, 2014).

## Capitolo 2

### Misure di mitigazione

Nel chiudere il precedente capitolo abbiamo fatto un cenno alle misure di adattamento volte a rendere infrastrutture e sistemi di trasporto più resilienti agli impatti collegati al cambiamento climatico. In questo capitolo concentreremo invece l'attenzione sulle azioni di mitigazione. Sono comprese in questa tipologia di misure tutti gli interventi umani che hanno lo scopo di ridurre le fonti di emissione dei gas serra (per esempio potenziando le fonti rinnovabili o adottando sistemi di mobilità sostenibili) e/o potenziare i pozzi di assorbimento (ad esempio aumentando le aree forestali) (EEA, 2021a).

Non prima di aver speso qualche parola sui principali target europei sulla riduzione delle emissioni, utili per comprendere quanto incisive dovranno essere le misure di mitigazione da implementare soprattutto nel sistema dei trasporti, il capitolo sarà dedicato ad approfondire alcune misure di tipo infrastrutturale da applicare per raggiungerli. Verranno analizzate suddividendole per modalità di trasporto, per poi invece adottare un punto di vista sistemico parlando di intermodalità. La chiusura del capitolo verrà invece rivolta ad un rapido approfondimento sulle misure *soft*: politiche ed incentivi necessari a coinvolgere attivamente tutti gli attori nel processo di trasformazione *green* del sistema.

#### 2.1 I target europei di riduzione delle emissioni

I principali obiettivi dell'Unione Europea relativi alla riduzione delle emissioni sono contenuti all'interno dell'*European Green Deal* (EDG), un piano strategico condiviso dai 27 Stati membri che "... prevede una tabella di marcia con azioni per stimolare l'uso efficiente delle risorse, grazie al passaggio a un'economia circolare e pulita, arrestare i cambiamenti climatici, mettere fine alla perdita di biodiversità e ridurre l'inquinamento" (EC, 2019). L'ambizioso traguardo da raggiungere al termine di questa *road map* e con l'ausilio di leggi, decreti ed investimenti (Anon., 2022, QuiFinanza), è rendere entro il 2050 l'Unione Europea il primo continente ad impatto climatico zero. Fissata al 2030 la tappa intermedia per tale traguardo: la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra di almeno il 55% rispetto ai livelli raggiunti nel 1990. Questi target sono stati resi legalmente vincolanti tramite l'entrata in vigore nel luglio 2021 della *European Climate Law* che formalizza gli obiettivi dell'EDG, mentre non lo è ancora il pacchetto *Fit for 55* (Evans et Gabbatiss, 2021) che contiene una serie di proposte legislative da attuare per raggiungere il target intermedio del 2030. Grazie ad un iter legislativo accelerato

anche i contenuti di tale pacchetto potrebbero diventare vincolanti nel corso del 2022, previa l'approvazione del Consiglio dei Ministri e del Parlamento Europeo (Rankin, 2021).

Dato il suo grande peso nel contribuire all'emissioni di GHG (come visto nel sotto-paragrafo 1.2.1) il settore dei trasporti risulta tra quelli più coinvolti nelle misure comunitarie volte al raggiungimento degli obiettivi sopracitati. Molte sono per esempio le proposte per rendere la mobilità più sostenibile all'interno del *Fit for 55*; tra le più rilevanti si possono annoverare:

- la revisione dei livelli prestativi in materia di emissioni di CO<sub>2</sub> delle nuove automobili e dei nuovi furgoni, con l'obiettivo di ridurre del 50% le emissioni delle prime e del 55% quelle degli ultimi entro il 2030<sup>8</sup>;
- la vendita, a partire dal 2035, solamente di automobili a zero emissioni<sup>9</sup>;
- l'applicazione dal 2026 del mercato delle emissioni (EU ETS<sup>10</sup>) al trasporto su strada, fissando così un prezzo all'inquinamento. In questo caso, essendo le emissioni prodotte anche da piccole entità (i consumatori), i soggetti regolamentanti sarebbero i distributori di carburante, che dovrebbero scambiare quote in base alla quantità ed all'intensità del carburante immesse in consumo (European Parliament, 2022a);
- la rimozione delle esenzioni concesse al settore aereo nel mercato ETS e l'inclusione nel sistema del settore marittimo<sup>11</sup>;
- l'obbligo di promuovere carburanti sostenibili sia nel settore marittimo con il regolamento "*Fuel EU Maritime*", che nell'aviazione secondo il regolamento "*ReFuel EU Aviation*" che ne prevede l'utilizzo per tutti i voli in partenza dall'UE (EC, 2021a; EC, 2021b;).

Secondo il rapporto "Cambiamenti climatici infrastrutture e mobilità" pubblicato nel 2022 dal Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili (MIMS), la nuova strategia UE per la riduzione delle emissioni inquinanti contenuta all'interno del pacchetto *Fit for 55* può

---

<sup>8</sup> Rispetto ai livelli del 1990.

<sup>9</sup> La misura è stata approvata dal Parlamento Europeo in data 8 giugno 2022 (European Parliament, 2022) e in seguito anche il Consiglio Europeo, tra il 28 e il 29 giugno 2022, ha trovato l'accordo sul provvedimento. La prossima fase prevede i negoziati con il Parlamento per giungere ad un accordo definitivo sui testi legislativi (Anon., 2022, RaiNews).

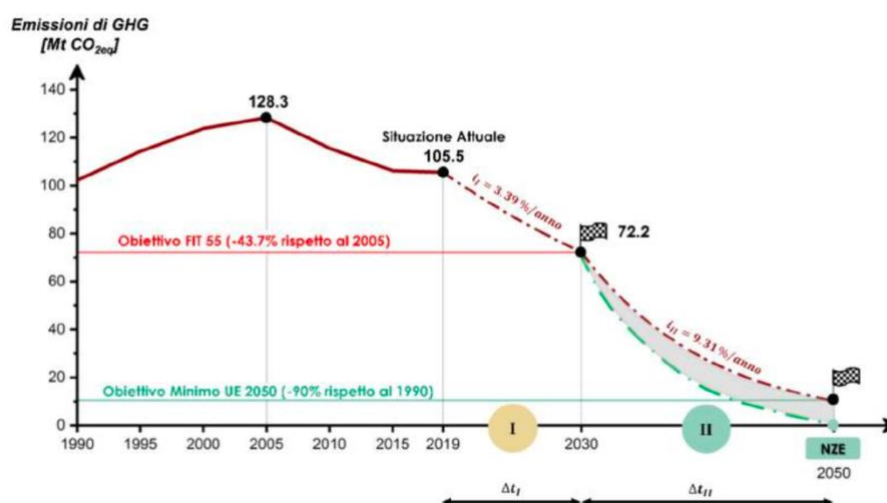
<sup>10</sup> *EU Emission Trading Scheme*.

<sup>11</sup> Il Parlamento Europeo ha approvato durante la sessione plenaria del 22 giugno 2022 il provvedimento che prevede l'inclusione del trasporto stradale e di quello marittimo nel sistema EU-ETS (Anon., 2022, Trasporto Europa).

essere implementata per il settore dei trasporti in Italia attraverso un percorso articolato in due fasi (Accetturo et al, 2022) (Figura 4):

- **Fase I** (orizzonte temporale di breve/medio termine: 2020-2030): riduzione al 2030 delle emissioni dirette nei trasporti del 43,7% rispetto al 2005, ultimo target stabilito per il Paese che corrisponde a contenere le emissioni a circa 72 Mt CO<sub>2</sub> eq. Questo obiettivo, contenuto nel pacchetto *Fit for 55*, rientra nella revisione del regolamento ESR<sup>12</sup> che è “... il meccanismo che regola le riduzioni delle emissioni per tutti i settori non coperti dal mercato del carbonio o dalla normativa sull'uso del suolo, assegnando a ciascun paese quote specifiche in base al suo PIL pro capite” (Camera dei Deputati, 2021, p. 4).
- **Fase II** (orizzonte temporale di medio/lungo termine: 2031-2050): riduzione delle emissioni del 90% rispetto al 1990, corrispondente per i trasporti ad un livello di emissioni di GHG pari a circa 10.2 Mt CO<sub>2</sub> eq, quantità residuale che sarà principalmente attribuibile al settore aeronautico. Tale risultato va considerato come obiettivo minimo in quanto quello auspicabile sarebbe di “*Net-Zero Emissions*” (Accetturo et al, 2022).

Figura 4 – Trend delle emissioni dirette di GHG ed indici di riduzione nel settore dei trasporti secondo il *Green Deal* Europeo



Fonte: MIMS 2021, *Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità*

<sup>12</sup> *Effort Sharing Regulation.*



## 2.2 Opere di mitigazione: gli interventi infrastrutturali

Per ridurre l'impatto climatico del sistema dei trasporti e rispettare i target europei fissati al 2030 ed al 2050 è necessario intervenire il prima possibile tramite importanti azioni di mitigazione che rendano possibile una decarbonizzazione del sistema.

Le misure di mitigazione interessano tutte le componenti del sistema: dalle infrastrutture fisiche ai veicoli, passando per le tecnologie a supporto delle prime due. Ogni tassello del network ha una rilevanza, ma per studiare degli interventi efficaci si rende fondamentale anche l'adozione di un approccio sistemico, che tenga conto delle varie interrelazioni che intercorrono tra le parti. Vista l'altissima quota di emissioni imputabili al trasporto su strada in Italia e nel resto d'Europa, un importante contributo alla mitigazione degli impatti delle attività di trasporto potrebbe venire dallo *shift modale*, ovvero una rimodulazione del trasporto che implichi un utilizzo maggiore di mezzi più sostenibili, primi fra tutti quelli che circolano su rotaia (Toffol e Reali, 2017; Accetturo et al, 2022). Per ottenere tale risultato è necessario implementare misure complementari tra loro, quali standard restrittivi per le emissioni veicolari, incentivi all'utilizzo e potenziamento del trasporto pubblico, opere che rendano le biciclette un mezzo di trasporto più facile e sicuro da usare negli spostamenti brevi e interventi strutturali di adeguamento della rete e di ridisegno del sistema (Toffol e Reali, 2017).

In questo paragrafo saranno presi in considerazione proprio quest'ultimi, analizzando le principali opere suddivise per modalità di trasporto che si possono compiere per realizzare la transizione verso una mobilità più sostenibile. La maggior parte delle opere è applicabile anche in Italia e per alcune modalità di trasporto sarà offerto un breve quadro che sintetizzi l'attuale stato infrastrutturale del Paese.

Il tema della mitigazione si intreccia anche con l'utilizzo dei nuovi veicoli elettrici a basse emissioni. Su questi però sarebbe necessaria una trattazione a parte, anche alla luce di recenti studi che mettono in discussione l'effettiva sostenibilità di questo tipo di mezzi stradali (i veicoli BEV<sup>13</sup> in particolare) nel caso in cui si consideri un approccio di valutazione del ciclo di vita "dalla culla alla tomba" (si veda Puig-Samper Naranjo et al, 2021). In questo paragrafo si farà riferimento alle nuove automobili dalle emissioni ridotte solo in relazione alle infrastrutture necessarie ad un loro utilizzo crescente, così come per le altre tipologie di trasporto diverse dalla strada saranno prese in considerazione anche le infrastrutture a supporto dei nuovi veicoli.

---

<sup>13</sup> *Battery Electric Vehicle*, ovvero i veicoli alimentati da un motore elettrico a batteria.

### 2.2.1 Trasporto su ferro

Il trasporto su ferro costituisce la modalità di trasporto sulla quale si dovranno concentrare maggiormente gli sforzi, vista la sua maggior efficienza rispetto al trasporto su gomma (Ferrovie dello Stato, 2022). Esso dovrà quindi rappresentare “... lo scheletro portante del sistema di trasporti sia su brevi (livello urbano) che su lunghe distanze (livello interurbano, regionale e nazionale)” (Accetturo et al, 2022, p. 250). Tra le lunghe distanze vanno inseriti inoltre i collegamenti transfrontalieri, ai quali l’Unione Europea attribuisce grande importanza come dimostra l’impegno per l’omologazione armonizzata dei veicoli in tutta l’UE e la volontà di completare quanto prima le linee ad alta velocità all’interno della rete TEN-T<sup>14</sup> (EC, 2020). A livello extraurbano la priorità principale nel breve/medio periodo è l’ampliamento e il potenziamento della rete di Alta Velocità Ferroviaria (AVF), che garantirebbe un forte impulso allo *shift modale* dalla mobilità aerea e dal trasporto su strada verso le ferrovie anche nelle tratte di breve percorrenza.

Complementari e funzionali alla rete ad Alta Velocità, in quanto ne alimenterebbero il bacino d’utenza, sono le reti ferroviarie nazionali e regionali. Necessitano quindi anch’esse un rafforzamento ed una razionalizzazione soprattutto a livello metropolitano, così da diventare un valido mezzo alternativo a quello privato per coloro che si devono spostare su tratte provinciali o regionali, primi fra tutti i pendolari.

Lo sviluppo delle reti ferroviarie è inoltre funzionale anche allo *shift modale* del trasporto merci, per cui la movimentazione su strada rimane la modalità di trasporto principale<sup>15</sup>. Per rendere il trasporto merci su ferro un’alternativa valida la connettività delle linee ferroviarie dovrà includere anche i poli industriali, i porti e gli aeroporti, così da concretizzare un sistema logistico capillare e sostenibile dal primo all’ultimo miglio, fondato sulla multimodalità.

Come detto, il trasporto ferroviario è caratterizzato da un basso impatto ambientale ed emissivo in fase di utilizzo; tuttavia, sono di tutt’altra natura gli impatti in termini di costruzione dell’infrastruttura. Lo sviluppo delle infrastrutture ferroviarie (soprattutto quelle di AVF) va quindi ponderato con delle valutazioni che non tengano solo conto dalle emissioni dirette prodotte, ma anche di quelle derivanti dalla loro costruzione, che risultano maggiori rispetto a quelle necessarie per il trasporto su strada e per l’aviazione. Imprescindibili si rendono quindi valutazioni che considerino le emissioni prodotte e l’utilizzo di energia, in un’ottica che

---

<sup>14</sup> *Trans-European Transport Network*.

<sup>15</sup> Dati riferiti all’Italia indicano che il trasporto su strada ha movimentato nel 2019 1.075 milioni di tonnellate di merci contro i 94 milioni di tonnellate del trasporto ferroviario (ANFIA, 2021). Dal PNRR emerge invece che “... le merci viaggiano per circa per il 54,5% su strada [...] e per circa l’11 % su rotaia” (PNRR, 2022, p. 159).

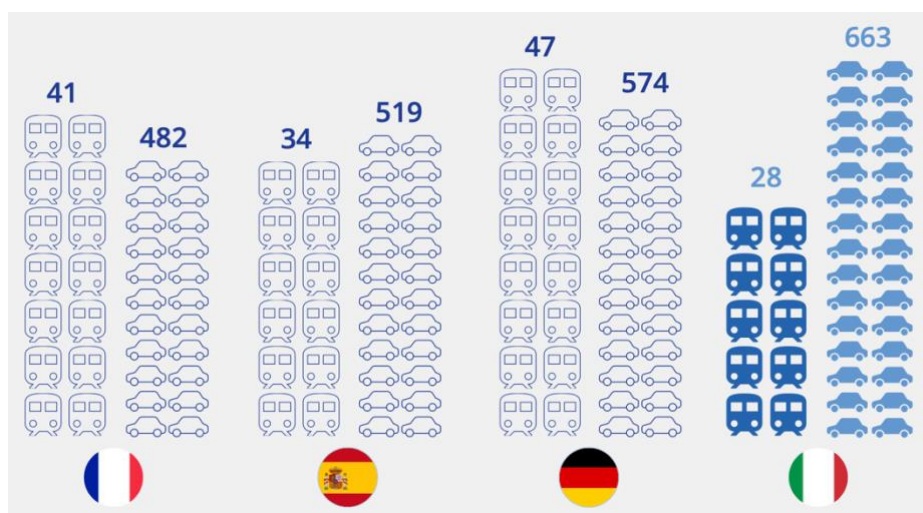
comprenda tutto il ciclo di vita del sistema. Le emissioni saranno differenti in base al tipo di materiali utilizzati ed al loro processo di estrazione, alla necessità di costruzione di ponti e gallerie, agli interventi di manutenzione ed al tasso di utilizzo dell’infrastruttura stessa (Armaroli et al, 2022).

Ulteriori interventi infrastrutturali riguardano poi l’elettrificazione delle linee ancora effettuate tramite mezzi a gasolio e gli interventi di efficientamento energetico ed elettrificazione di edifici e strutture collegate al sistema ferroviario, stazioni comprese (Accetturo et al, 2022).

Entrambi gli interventi sulle due tipologie di linee (AVF e convenzionali) sono stati inclusi dal Governo Italiano all’interno del PNRR<sup>16</sup>, ovvero il pacchetto di investimenti e riforme per il rilancio dell’economia del Paese a seguito della pandemia di COVID-19, parte del più ampio progetto di rilancio europeo *Next Generation EU*. La terza delle sei missioni del piano è infatti dedicata alle “Infrastrutture per una mobilità sostenibile”, e il rafforzamento della rete ferroviaria italiana risulta una delle principali misure proposte.

In Italia la rete ferroviaria risulta essere meno estesa rispetto a quelle dei maggiori Paesi europei, e questa carenza potrebbe essere una delle cause che vede il Paese, come già visto, ai primi posti a livello europeo per numero di veicoli ogni mille abitanti (Figura 5).

Figura 5 – Estensione della rete ferroviaria nel 2018 (km di ferrovie ogni 100 mila abitanti) e autovetture ogni mille abitanti (2019)



Fonte: Governo Italiano 2021, *Piano Nazionale di Ripresa e resilienza* (dati Eurostat)

A livello urbano gli interventi prioritari sono l’estensione e l’ammodernamento delle reti di metropolitana e tranviarie, oltre che la conversione delle reti ferroviarie regionali in reti metropolitane, soprattutto nelle aree costituite da agglomerati urbani particolarmente estesi (Accetturo et al, 2022). L’espansione delle reti su ferro cittadine va inoltre accompagnata ad un

<sup>16</sup> Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza.

ammodernamento di quelle esistenti e del materiale rotabile, necessario a rendere il servizio efficiente e di miglior fruizione, incentivando in questo modo l'abbandono dei più inquinanti mezzi privati.

Anche su questo fronte l'Italia si trova in forte ritardo rispetto alle principali realtà europee (Tabella 1): solo sette città italiane<sup>17</sup> sono dotate di un servizio metropolitano (Da Rold, 2019) e la lunghezza totale nazionale delle linee (pari a 248,9 km) è minore della dotazione di singole città europee; la rete tranviaria vede in esercizio 397,4 km di linee, meno di metà di quelle attive in Francia (815,7 km) e meno di un quinto di quelle tedesche (2.038,3 km) (Legambiente, 2022), mentre anche la rete di ferrovie suburbane rimane ampiamente sotto la media. Questi divari sono un ulteriore segnale dello sbilanciamento modale italiano verso il trasporto su gomma, che coinvolge anche l'ambito dei mezzi collettivi.

Tabella 1 – Confronto delle infrastrutture su ferro in Europa (in km)

	<b>Metro</b>	<b>Tramvie</b>	<b>Ferrovie suburbane</b>
<b>Regno Unito</b>	675,9	250,3	1694,8
<b>Germania</b>	656,5	2038,3	2038,2
<b>Spagna</b>	613,8	276,3	1442,7
<b>Francia</b>	367,5	815,7	698,4
<b>Italia</b>	248,9	397,4	740,6

Fonte: Legambiente 2020, *Rapporto Pendolaria*

Ulteriori strumenti a livello urbano per il raggiungimento dei target europei saranno discussi anche nel corso del capitolo 3, dedicato al trasporto urbano di persone e merci.

## 2.2.2 Trasporto su gomma

Le misure di mitigazione infrastrutturali per il trasporto su gomma possono essere suddivise in tre macroclassi principali: interventi sulla rete stradale utilizzata dal trasporto pubblico su gomma, interventi di miglioramento ed estensione delle reti ciclabili urbane ed interurbane e adeguamento delle reti viarie (comprese quella di lunga percorrenza) per consentirne l'utilizzo da parte dei nuovi e futuri veicoli ad emissioni ridotte.

Lo sviluppo del trasporto pubblico su gomma è un ulteriore tassello nel mosaico di opere che può rendere lo *shift modale* quanto più rapido e fluido possibile. Il potenziamento della rete di autobus a trazione elettrica (elettrici o filobus) rappresenta la maggiore priorità da attuare in quest'ambito e deve essere accompagnato da una riorganizzazione dei percorsi fisici che sia

<sup>17</sup> Milano, Roma, Napoli, Torino, Genova, Brescia e Catania.

funzionale non solo all'utilizzo dei nuovi mezzi ma anche alla creazione di un sistema multimodale. Per garantire un sistema di trasporto collettivo su gomma che sia competitivo con le modalità di trasporto privato, ci si deve poi adoperare per la realizzazione di corsie preferenziali per i mezzi di trasporto pubblico che rendano possibile una riduzione dei tempi medi di viaggio (Accetturo et al, 2022).

Per quanto riguarda invece le infrastrutture per la mobilità ciclabile la sfida è quella di dotare in primis i centri urbani di tutte le dimensioni di sistemi di piste ciclabili interconnesse e sicure, che garantiscano un sempre più ampio utilizzo non solo delle biciclette, ma anche di altri mezzi legati alla micromobilità<sup>18</sup>. All'interno delle reti saranno fondamentali i collegamenti con i punti di interscambio modale e infrastrutture che permettano un corretto parcheggio dei mezzi. Per favorire l'utilizzo di mezzi ciclabili, i cui benefici si estendono anche al di là di quelli ambientali, può inoltre essere utile la creazione di reti di *bike-sharing*. Tali sistemi, che siano di tipo *station-based* o *free-floating*, possono infatti allargare la base di utilizzo dei mezzi a due ruote, svincolando le abitudini di uso dal possesso di un mezzo proprio.

Ulteriori interventi, che fanno però riferimento ad orizzonti temporali più prolungati legati quindi al 2050, sono la costruzione o l'ampliamento delle reti ciclabili interurbane e rurali, sul modello delle *cycle superhighways* danesi (Accetturo et al, 2022).

In Italia, vista la scarsa diffusione di reti tranviarie e metropolitane, quello su gomma risulta essere la modalità di trasporto collettivo più diffusa. Tuttavia, si è ancora lungi da una conversione di questo sistema verso l'elettrico: se solo 13 città sono dotate di filobus urbani per un totale di 268,5 km di linee (Accetturo et al, 2022) il ritardo più evidente risulta dalla quota di autobus urbani elettrici in circolazione, che ammonta ad un esiguo 5%. Investimenti ed opere si rendono perciò necessari nell'immediato anche considerando che dal 2021 la *EU Clean Vehicle Directive* impone all'Italia di ordinare una quota di mezzi a zero emissioni pari ad almeno il 22,5% dei nuovi veicoli acquistati (Sommariva, 2021).

L'estensione delle piste ciclabili, invece, supera nel Paese i 4700 km (circa pari a quella della sola Danimarca) ma è in costante crescita, seppur con ampi divari tra Nord e Sud (Accetturo et al, 2022).

Ultime, ma non per importanza, tra le misure di mitigazione legate al trasporto su strada sono quelle correlate all' adeguamento della rete viaria per consentire un utilizzo sempre più esteso dei veicoli ad emissioni ridotte. Le principali tecnologie per la decarbonizzazione del trasporto sono quelle legata alla trazione elettrica (come i già menzionati BEV, ma anche i veicoli

---

<sup>18</sup> “La mobilità relativa a percorsi e distanze brevi principalmente in città, caratterizzata dall'impiego di mezzi di trasporto meno pesanti e ingombranti e potenzialmente meno inquinanti di quelli tradizionali” (Anon., 2022, Treccani).

PHEV<sup>19</sup>) e ad idrogeno, sebbene attualmente ancora poco sfruttata. Queste tecnologie sono applicabili anche ai veicoli adibiti al trasporto merci, ambito nel quale sono inoltre in via di studio veicoli con motore elettrico alimentati da ricarica dinamica (veicoli a catenaria).

La priorità di adeguamento principale è rappresentata dall'installazione di una rete di ricarica affidabile sia per i veicoli elettrici che per quelli ad idrogeno. Proprio per incentivare tali adattamenti, all'interno del *Green Deal* l'UE richiede, tramite il regolamento sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi, l'espansione della capacità di ricarica in linea con le vendite di auto a emissioni zero e l'installazione di punti di ricarica e rifornimento a intervalli regolari sulle principali autostrade: ogni 60 chilometri per la ricarica elettrica e ogni 150 chilometri per il rifornimento di idrogeno (EC, 2021c).

L'estensione della rete di ricarica per i veicoli elettrici, in particolare, dovrà comprendere:

- stazioni a bassa potenza (<20kW) in prossimità di luoghi residenziali o lavorativi accessibili al pubblico (“*opportunity charging*”);
- stazioni a media potenza (circa 50kW) da posizionare in luoghi ad alta frequentazione e dove i veicoli stazionano per brevi periodi (“*destination chargers*”), ma validi anche per la ricarica di veicoli commerciali per il trasporto di persone e merci che necessitano di potenze di ricarica maggiori;
- stazioni ad alta (150-350 kW) e altissima (>1MW) potenza da installare sulle principali arterie stradali per garantire ricariche veloci ai veicoli leggeri e pesanti durante i viaggi lunghi (Accetturo et al, 2022).

Valutazioni aggiuntive ed approfondite vanno poi effettuate sull'effettiva presenza di infrastrutture energetiche che garantiscano la distribuzione e lo stoccaggio dell'energia necessaria presso i punti di ricarica, sul mix energetico utilizzato per la produzione dell'energia elettrica e su numerosi altri aspetti sia di tipo tecnico che economico.

Le stesse valutazioni vanno condotte anche per la realizzazione delle infrastrutture legate all'idrogeno che richiedono un'alta disponibilità di elettricità per le stazioni di rifornimento, in prossimità delle quali vanno affiancate anche le stazioni di produzione dell'idrogeno, e per la realizzazione di *Electric Road System* (ERS) per i veicoli a ricarica elettrica dinamica (Armaroli et al, 2022).

Anche in questo campo l'Italia è costretta ad attuare notevoli sforzi per raggiungere i principali target ed allinearsi alle politiche dell'Unione. Il ritardo del Paese sul tema dei veicoli elettrici e delle infrastrutture a loro supporto può infatti essere riassunto con il dato riferito a punti di

---

<sup>19</sup> *Plug-in Hybrid Electric Vehicle.*

ricarica presenti per 100.000 abitanti riferito al 2020, che ammontando a 20 piazza la Penisola agli ultimi posti delle graduatorie comunitarie (Accetturo et al, 2022).

### 2.2.3 Trasporto aereo

Anche il settore dell'aviazione è atteso al complicato obiettivo della decarbonizzazione. In tal senso le opere di mitigazione infrastrutturali riguardano soprattutto le strutture aeroportuali e le fasi operative su terra.

Fra i principali interventi riguardanti le strutture aeroportuali vi è la realizzazione di impianti che soddisfino il fabbisogno energetico degli edifici tramite la produzione di energia grazie a fonti rinnovabili.

Per ridurre invece le emissioni derivanti dalle operazioni di terra, i maggiori interventi da considerare sono:

- la creazione di infrastrutture che permettano una crescente elettrificazione delle attività di terra e che garantiscano l'approvvigionamento elettrico per gli aerei in sosta;
- l'installazione di *Pre-Conditioned Air Unit* (PCA) in tutte le piazzole di sosta (sia quelle dotate di *jet bridge* che quelle remote) che forniscano aria condizionata agli aeromobili in stazionamento evitando l'utilizzo delle loro unità ausiliare di alimentazione;
- lo sviluppo di sistemi che consentano il rullaggio elettrico dei velivoli per evitare l'utilizzo dei motori quali veicoli trainanti semi-robotici o impianti a trazione elettrica da applicare al carello di atterraggio (VeneziaAirport, 2021; Accetturo et al, 2022).

Gli interventi elencati sono centrali per il raggiungimento della *carbon neutrality* aeroportuale, che è uno degli impegni che si sono posti la divisione europea dell'ACI<sup>20</sup> e i suoi membri. L'obiettivo è quello di azzerare le emissioni di carbonio derivanti dalle operazioni aeroportuali direttamente controllabili dagli operatori entro e non oltre il 2050, riducendo il più possibile le emissioni assolute e affrontando le emissioni rimanenti attraverso investimenti nella rimozione e nello stoccaggio del carbonio (ACI Europe, 2021). Per guidare i propri membri verso i nuovi traguardi di sostenibilità l'ACI ha creato l'*Airport Carbon Accreditation*, un progetto che documenta e certifica gli sforzi degli aeroporti nel percorso verso il *Net Zero*.

---

<sup>20</sup> *Airport Council International*, associazione che raggruppa numerosi operatori aeroportuali in tutto il mondo.

#### 2.2.4 Trasporto marittimo

Gli investimenti per l'estensione ed il potenziamento degli *Onshore Power Supply*<sup>21</sup> (OPS) rappresentano forse la più rilevante misura di mitigazione infrastrutturale per il trasporto marittimo. L'importanza di questa misura è dovuta principalmente a quello che sarà il crescente utilizzo di imbarcazioni elettrificate (in primis i *ferryboat*, le navi per il trasporto pubblico locale e le imbarcazioni da diporto), ma anche al fatto che per ridurre le emissioni del settore si richiederà una conversione all'elettrico di tutte le attività portuali che si svolgono su terra. Il fabbisogno di rifornimento delle imbarcazioni elettriche potrà essere soddisfatto dall'installazione di colonnine di ricarica, che potranno essere utilizzate anche dai veicoli in stazionamento nei porti.

Come per il sistema aeroportuale vanno inoltre effettuate opere relative all'efficientamento energetico degli edifici, assicurandosi che il reperimento dell'energia elettrica avvenga da fonti rinnovabili, primi fra tutti i pannelli solari (Accetturo et al, 2022).

### 2.3 Intermodalità

L'intermodalità è definita dalla Commissione Europea (si veda Jonuschat et al, 2015, p. 155) come “... a characteristic of a transport system that allows at least two different modes to be used in an integrated manner in a door-to-door transport chain”. Elemento cruciale per l'esistenza di un network di mobilità integrato è perciò l'esistenza di una pluralità di opzioni di trasporto, che possono essere pubbliche, private o ibride (ovvero le opzioni di mobilità condivisa, quali *bike* e *car-sharing*).

Come visto, la configurazione del sistema dei trasporti, nonostante alcuni progressi registrati negli ultimi anni, continua a caratterizzarsi per elevati impatti ambientali. Gli ulteriori cambiamenti richiesti devono basarsi su una nuova visione del trasporto e sullo sviluppo di approcci teorici ed empirici che rendano possibile la creazione di sistemi di trasporto sostenibili. Tale sistema deve basarsi sul principio dell'intermodalità. Una struttura caratterizzata da mobilità non integrate e non coordinate tra loro, infatti, non solo non è sufficiente a soddisfare le dinamiche ambientali, ma nemmeno quelle economiche. Si rende di conseguenza necessario implementare delle soluzioni di mobilità che facciano leva sui vantaggi commerciali, tecnici ed anche ambientali di ciascuna tipologia di trasporto, per creare un sistema intermodale che allo stesso tempo minimizzi le esternalità negative ambientali e aumenti la produttività del settore.

---

<sup>21</sup> Sistemi portuali che consentono il rifornimento delle imbarcazioni ormeggiate.



È imprescindibile per ottenere tale risultato, che garantirebbe collegamenti efficienti e un più ampio ventaglio di scelte per passeggeri e spedizionieri, un coordinamento tra le diverse modalità e una cooperazione tra enti pubblici e privati di tutti i livelli (Szyliowicz, 2003).

Ovviamente l'intermodalità non può essere considerata come sinonimo di sostenibilità, ma piuttosto come condizione necessaria e non sufficiente alla transizione verso un sistema meno impattante e più sostenibile (Szyliowicz, 2003). Ad essa vanno affiancate misure e politiche ulteriori (tra cui quelle citate in questo elaborato) che siano il risultato di un processo di *decision-making* che coinvolga tutti gli *stakeholder* considerando non solo la dimensione ambientale, ma anche quelle economica e sociale.

Affinché l'intermodalità possa effettivamente contribuire alla creazione di un sistema sostenibile, occorre che essa sia uno degli elementi cardine per garantire lo *shift modale* che riduca l'utilizzo dei mezzi privati inquinanti. In particolare, l'intermodalità può essere cruciale nel modificare le abitudini di mobilità negli spostamenti complessi e non abitudinari, dato che per quelli semplici e sistematici (quali gli spostamenti per motivi di scuola e lavoro) una struttura monomodale può risultare sufficiente. Gli spostamenti complessi sono quelli costituiti da tour complessi e tra loro concatenati, non costituiti quindi da un banale percorso andata-ritorno (Accetturo et al, 2022).

Un sistema intermodale non può prescindere dall'esistenza di adeguati punti di interscambio modale che garantiscano la possibilità di collegamento e trasbordo tra le diverse modalità di trasporto, sia per i passeggeri che per le merci. Le opere di mitigazione infrastrutturali includono quindi la creazione o il miglioramento di questi luoghi di connettività, da quelli semplici (quale una fermata dell'autobus dotata di posteggio biciclette e/o dotato di una stazione di *bike-sharing*) a quelli più articolati (come una stazione ferroviaria realizzata in prossimità di un porto o aeroporto). Qualsiasi sia la loro complessità è cruciale rendere più veloci e meno costose possibili le delicate fasi di trasbordo e ingresso/egresso dal sistema.

È infine importante sottolineare come l'efficienza ed il successo di un sistema intermodale dipenda anche dalle opere di supporto tecnologico e funzionale, come la creazione di biglietti integrati, misura che sarà discussa più approfonditamente nel corso del terzo capitolo.

## **2.4 Politiche ed incentivi**

Per raggiungere gli obiettivi di abbattimento delle emissioni da parte del sistema dei trasporti, è doveroso che le misure di mitigazione siano affiancate da un adeguato sistema di incentivazione, che orienti verso comportamenti coerenti rispetto alla transizione da mettere in atto.

Anche il *Green Deal* presentato dalla Commissione Europea (2019, p.3) ha posto enfasi su questo tema, esortando a sfruttare "... tutte le leve politiche: [...] misure volte a ridurre significativamente l'attuale dipendenza dai combustibili fossili [...]; un'azione decisiva per orientare più attività verso modi di trasporto più sostenibili [...] e l'internalizzazione dei costi esterni". Nel pacchetto *Fit for 55* tali disposizioni sono tradotte in concrete misure di incentivazione e alcune tra le più rilevanti sono state precedentemente citate nel corso del capitolo (v. Paragrafo 2.1).

Il ventaglio di provvedimenti attuabili risulta essere molto ampio ed effettuare una classificazione esaustiva richiederebbe spazi non conformi ai fini di questo elaborato. Per cercare di fornire una trattazione comunque esaustiva, si può considerare una suddivisione delle politiche economiche di incentivazione legate alla riduzione delle esternalità negative dei trasporti in due grandi categorie: politiche *Command-and-Control* e politiche *Incentive-Based* (Santos et al, 2009).

Le prime sono fondamentalmente provvedimenti che impongono di adottare specifici comportamenti. Tra le misure da inserire in questa categoria vi sono gli standard e le norme legate all'emissione dei veicoli o al tipo di carburanti utilizzati, ma anche le restrizioni sulla circolazione dei veicoli stessi, tutte politiche già adottate all'interno dei confini dell'Unione.

Le politiche *Incentive-Based* hanno anch'esse lo scopo di modificare i comportamenti produttori e consumatori, ma in questo caso fornendo a questi ultimi incentivi finanziari, tramite l'imitazione e lo sfruttamento dei meccanismi di mercato. Possono essere ulteriormente suddivise in politiche di controllo del prezzo e politiche di controllo della quantità: le prime comprendono tasse, oneri e tariffe, ma anche sussidi (approccio Pigouviano); le seconde includono i sistemi di permessi negoziabili, tramite cui il regolatore impone un tetto massimo – per esempio di emissioni emettibili – e crea dei permessi che gli agenti economici possono scambiarsi, convenendo tra loro un prezzo (soluzione *à la Coase*) (Santos et al, 2009). Moltissime sono le politiche europee già in atto, o in procinto di esserlo nel futuro, riconducibili a questa categoria: da tassazioni sulle performance ambientali, passando per tariffazioni stradali differenziate per scoraggiare l'uso dei più inquinanti mezzi su gomma (EC, 2019), fino al sistema di permessi *Cap-and-Trade* EU ETS. Il sistema EU-ETS include attualmente il settore dell'aviazione, limitatamente ai voli tra aeroporti situati all'interno dello Spazio Economico Europeo (EC, 2022). Tramite il pacchetto *Fit for 55*, l'obiettivo dell'Unione Europea è quello di interrompere l'assegnazione gratuita delle quote di emissione al settore dell'aviazione e includere nel sistema di scambio delle quote il settore marittimo e quello stradale (EC, 2021c). Sebbene preferite dai *policy maker* perché di più facile implementazione, le politiche di *Command-and-Control* non sono dal punto di vista economico efficienti, nemmeno in un

contesto di informazione perfetta. Non è così per quelle *Incentive-Based*, che non imponendo alcun tipo di scelta, lasciano agli agenti economici la possibilità di assumere decisioni in base alle loro preferenze ed ai loro costi e benefici (Santos et al, 2009). Non è infine da trascurare il fatto che con le entrate generate da questa tipologia di politiche è possibile sfruttare il meccanismo del *Double Dividend*<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> Concetto per il quale le tasse applicate a tematiche ambientali possono da un lato ridurre l'inquinamento (primo dividendo) e dall'altro, utilizzando il gettito generato, diminuire i costi economici tramite la sostituzione di altre tasse distorsive che ostacolano benessere e crescita economica (secondo dividendo) (EEA. 2017).

## Capitolo 3

### Nuove prospettive del trasporto urbano di persone e merci

Il trasporto urbano è di basilare importanza nell'assicurare la circolazione di persone e cose su scala comunale, provinciale e regionale ed un suo funzionamento efficiente e capillare consente ai territori direttamente serviti di aver maggiori opportunità di crescita e competitività. Come l'intero settore dei trasporti, anche il segmento urbano sta vivendo ed è atteso negli anni a venire a mutamenti e adeguamenti significativi, che garantiscano non solo sostenibilità ambientale, ma anche qualità della vita e sviluppo economico. La scelta di focalizzarsi sulla mobilità urbana è motivata dal fatto che il ruolo che essa gioca avrà un'importanza sempre crescente se si considera che la percentuale di popolazione residente in aree urbane è in costante aumento e si prevede raggiungerà entro il 2050 il 66% a livello europeo e più dell'80% a livello italiano (Bosona, 2020; United Nations, 2018). Nei contesti urbani, inoltre, le esternalità generate dal sistema dei trasporti, quali inquinamento atmosferico e acustico, congestione del traffico, incidenti, utilizzo del suolo, sono accentuate in quanto coinvolgono un numero di persone più elevato.

Il capitolo analizzerà prima la mobilità di persone, focalizzandosi sul trasporto collettivo e su misure di mitigazione relative all'integrazione tariffaria, e poi la mobilità delle merci e della logistica dell'ultimo miglio, chiamata anch'essa ad una complessa sfida nella quale obiettivi ambientali si intrecciano con quelli economici e sociali.

#### 3.1 La mobilità di persone

Secondo Gwilliam (si veda Rodrigue, 2013, p. 105) il trasporto urbano può essere suddiviso in tre vaste categorie che comprendono, oltre al trasporto merci, il trasporto collettivo e quello individuale, che si riferiscono invece alla movimentazione di persone. In particolare, il trasporto collettivo ha come scopo quello di fornire una forma di mobilità accessibile al pubblico in zone specifiche di una città e la sua efficienza dipende dalla capacità di trasportare numeri elevati di persone e di raggiungere economie di scala; comprende al suo interno autobus, tramvie, metropolitane, treni e anche traghetti. Il trasporto individuale include qualsiasi modalità in cui la mobilità è il risultato di una scelta personale e quindi rientrano tra esso gli spostamenti a piedi, in macchina, in moto, in bici o con qualsiasi altra forma di micromobilità (Rodrigue, 2013).

L'espansione demografica delle città determina un aumento delle esigenze di mobilità, che possono essere soddisfatte sia da modalità di trasporto individuale che collettivo. La risposta a queste esigenze richiede lo sfruttamento delle sinergie tra innovazione tecnologica e utilizzo ottimizzato dei veicoli e delle infrastrutture, grazie all'adozione di nuovi sistemi ITS<sup>23</sup> e di procedure organizzative. In questo modo si potranno attuare misure che siano in grado di rispondere alle sfide sociali, rispettando al contempo i vincoli ambientali, in un'ottica di *sharing economy* e *smart city* (MIT, 2019).

Le ICTs (*Information Communication Technologies*) figurano quindi come l'elemento cardine della transizione verso la "*green mobility*" e avranno un ruolo cruciale nel ridisegnare i percorsi e i tempi delle città, attorno ad un nuovo rapporto tra mobilità individuale e collettiva. Esse pongono al centro l'utilizzatore e gli consentono un accesso ad una moltitudine di informazioni e ad un insieme di offerte di trasporto diverse tra loro, migliorando il rapporto tra domanda ed offerta e creando così un modello di mobilità "*on demand*".

### **3.1.1 Biglietti integrati e piattaforme "MAAS"**

Tra i nuovi strumenti sviluppati grazie alle ICT vi sono le piattaforme *Mobility as a service* (MAAS). Con tale espressione si intende un modello di distribuzione della mobilità in cui le principali esigenze di trasporto di un utente vengono soddisfatte grazie a un'unica interfaccia con servizi offerti da un unico fornitore di servizi integrati, che combina infrastrutture di trasporto, servizi di trasporto e servizi di informazione e pagamento (Hietanen, 2014). In questo modo viene offerto un accesso diretto e conveniente alla multimodalità ed all'intermodalità, agevolando l'adozione di comportamenti sostenibili. Grazie ad un'unica piattaforma si ha, infatti, la possibilità di fruire di mezzi di trasporto fra loro diversi e acquistare titoli di viaggio validi contemporaneamente per le diverse modalità di trasporto; l'utente potrà scegliere grazie ad esse l'opzione ed il percorso più conveniente in base a quelle che sono le sue personali esigenze. Le piattaforme sono solitamente un'applicazione per *smartphone* e i servizi offerti vengono raggruppati all'interno di pacchetti che possono avere durata di validità variabile e che sono accessibili tramite il pagamento di un *forfait*.

Tramite l'approccio MAAS si generano quindi sistemi in cui è ricompreso un ventaglio di servizi di mobilità, che "sono messi a disposizione degli utenti da parte di imprese che acquistano i servizi dai loro produttori, li combinano tra di loro e li forniscono come una

---

<sup>23</sup> Intelligent Transportation Systems: sistemi che raggruppano diversi strumenti per la gestione della rete di trasporti e per i servizi per i viaggiatori. Tali strumenti sono caratterizzati dall'acquisizione dati, elaborazione e diffusione delle informazioni, tramite una gestione integrata delle informazioni (MIT, 2016).

“*service supply*” all’utente finale” (Castrovinci Zenna, 2021, pp. 185, 186). Per assicurare una buona efficienza delle piattaforme è cruciale quindi integrare all’interno di esse i servizi offerti da quanti più operatori di trasporto possibili, includendo tra di essi anche quelli di *sharing mobility*.

La creazione delle piattaforme per la mobilità come servizio è imprescindibile dalla presenza di adeguate infrastrutture: quelle fisiche legate all’erogazione dei servizi di trasporto, ma anche quelle necessarie al ricevimento, alla gestione ed alla trasmissione dei dati e delle informazioni necessarie ad un corretto funzionamento della piattaforma stessa.

### **3.2 La mobilità delle merci e la logistica dell’ultimo miglio**

Le città si caratterizzano per essere importanti fulcri produttivi e di consumo e le attività urbane determinano grandi spostamenti di merci. Questi sono principalmente caratterizzati da furgoni e camion che si muovono tra industrie, centri distributivi, magazzini, negozi *retail* e abitazioni private, nonché anche tra terminal principali quali stazioni ferroviarie, porti e aeroporti (Rodrigue, 2013). Viste le tendenze localizzative sopra citate, il trasporto urbano delle merci rappresenta un campo su cui è fondamentale focalizzarsi affinché questo non risulti un ostacolo alla creazione ed allo sviluppo di ambienti cittadini sostenibili e vivibili. Le attività logistiche generano infatti esternalità negative quali congestione del traffico, inquinamento atmosferico, rumore ed incidenti nelle aree urbane; alla luce di ciò si rende necessario cercare un equilibrio tra una crescita economica intelligente e comunità più pulite, silenziose e sicure, incorporando nei nuovi modelli di logistica anche i rischi correlati ai cambiamenti climatici (Taniguchi, 2013).

All’interno della logistica urbana assume una rilevanza cruciale la logistica dell’ultimo miglio (o *last-mile logistics*), ovvero l’ultima fase della *supply chain*. In particolare, nel caso di attività *business-to-consumer*, il termine fa riferimento alla parte finale di un servizio di consegna in cui la spedizione viene consegnata al consumatore finale, presso il suo domicilio o in un punto di raccolta (Bosona, 2020).

La *city-logistics*, e quindi anche la *last-mile logistics*, sono oggetto di studio e sperimentazioni per cercare di renderle sostenibili, assicurando al contempo efficienza ed economicità. Gli ostacoli e gli aspetti da tenere in considerazione, soprattutto nella strada verso una logistica *environmentally friendly*, sono complessi e numerosi; nel prossimo sottoparagrafo si cercherà di riassumere i principali.

### 3.2.1 Gli ostacoli alla sostenibilità

Le sfide che limitano la sostenibilità del trasporto *last-mile*, rendendolo di fatto la parte più inquinante e costosa dell'intera *supply chain*, possono essere ricondotte a quattro grandi categorie (Bosona, 2020):

- **Tecnologiche:** la principale sfida è quella legata alla pianificazione e all'esecuzione delle consegne delle merci. Se già si trattava di attività dall'organizzazione molto complessa, la diffusione dell'*e-commerce* e della strategia di vendita *omnichannel*, hanno aumentato la complessità delle operazioni logistiche, introducendo la difficoltà di gestire ordini frammentati e di piccole quantità provenienti anche da clienti online. Per quanto riguarda l'integrazione di tecnologie quali l'automazione e la digitalizzazione nella progettazione dei sistemi *last-mile*, seppur sia essa un obiettivo da perseguire, si rivela molto costosa e non semplice. Discorso analogo per l'introduzione di nuovi mezzi per le consegne quali veicoli elettrici e *cargo-bike*, la cui circolazione comporta ancora numerosi vincoli.
- **Infrastrutturali:** le difficoltà in questo campo sono correlate principalmente alla rigidità al cambiamento delle infrastrutture urbane esistenti che spesso faticano a adattarsi al crescente volume delle merci e all'evoluzione dei sistemi di distribuzione. Le nuove tecnologie menzionate al punto precedente richiedono inoltre nuove infrastrutture, come stazioni di ricarica e nuove reti stradali.
- **Di sistema e gestione:** il trasporto urbano delle merci è caratterizzato da condizioni dinamiche ed incerte, in cui il coordinamento tra attori e *stakeholder* è complesso: fornitori, vettori, commercianti, cittadini e amministrazioni comunali hanno infatti talvolta interessi contrastanti e prospettive differenti. Il sistema organizzativo logistico è complesso e soggetto a problematiche quali consegne mancate e ripetute, restituzioni, tempi di consegna elevati e merce deperibile, inventari dei magazzini, *routing* dei veicoli e management della flotta che garantiscano minimizzazione delle corse e massimizzazione del *load factor*.
- **Di costo:** gli investimenti da mettere in atto per garantire un sistema logistico che sia resiliente alle problematiche sopracitate risultano costosi, così come quelli infrastrutturali e di rinnovo delle flotte, soprattutto in ottica elettrica (Bosona, 2020).

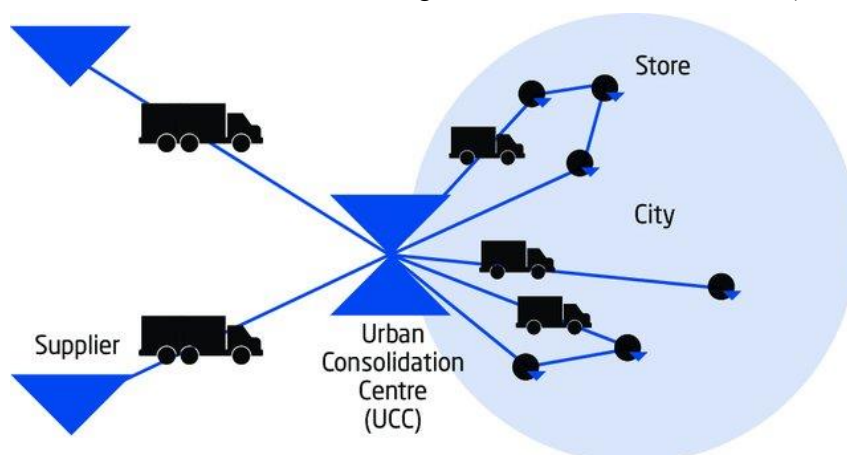
### 3.2.2 I nuovi modelli di *last-mile logisitcs*

Per migliorare la sostenibilità ambientale la logistica dell'ultimo miglio è chiamata alla creazione di nuovi modelli che sappiano rispondere alle sfide proposte sopra. La creazione di

flotte di consegna innovative, comprendenti veicoli elettrici o *cargo-bikes*, è sicuramente una delle principali tendenze in atto, ma deve essere accompagnata da ulteriori aggiornamenti come lo sviluppo di sistemi di *routing* e simulazione, *Digital Twins*<sup>24</sup> e piattaforme digitali di controllo e tracciamento che ottimizzino i volumi ed i tempi delle consegne, tenendo conto della dimensione e dell'autonomia dei veicoli e dell'effettiva presenza di qualcuno che riceva la consegna stessa. Altri modelli prevedono, per diminuire gli impatti ambientali e sociali, lo svolgimento delle attività logistiche negli orari *off-peak*, incluse le ore notturne, e la creazione di *pick-up stations* o *parcel lockers* che svincolano il successo della consegna dall'effettiva presenza del destinatario nel luogo di consegna e diminuiscano le fermate effettuate dagli operatori (Bosona, 2020).

Un altro fattore che influenza positivamente l'efficienza e la sostenibilità della *last-mile logistics* è la costruzione, in luoghi strategici della città, di infrastrutture come gli *urban consolidation centers*<sup>25</sup> o UCCs (Figura 6), dove avvengono le operazioni di carico e scarico e possono essere immagazzinate le merci la cui consegna non è urgente. Questi consentono di ridurre le distanze di consegna finale, permettendo così di utilizzare anche mezzi elettrici o con capacità di carico minori, e di fornire servizi di consegna in modo economicamente competitivo (Bosona, 2020). Un modello innovativo di logistica correlato con l'utilizzo degli UCCs è quello dei *joint delivery systems* (JDS), in cui diversi vettori cooperano tra di loro per consegnare e ritirare congiuntamente le merci da e verso i clienti utilizzando gli UCCs, minimizzando i costi logistici e gli impatti sociali e ambientali (Taniguchi, 2013).

Figura 6 – Il concetto di funzionamento degli Urban Consolidation Centers (UCCs)



Fonte: Larsen et al 2019, *Freight, logistics and the delivery of goods in cities*

<sup>24</sup> Rappresentazioni virtuali di sistemi ed oggetti che sono aggiornate in tempo reale e consentono di ottenere informazioni utili sull'asset e di elaborare modelli predittivi delle prestazioni future e delle reazioni del sistema a determinate condizioni (Crisantemi, 2021).

<sup>25</sup> Centri di smistamento urbano.



## Considerazioni finali

Le pagine di questo elaborato si sono concentrate sulla relazione che intercorre tra il cambiamento climatico e il settore dei trasporti. La complessità di tale relazione e le numerose prospettive dalle quali questa può essere analizzata, ha reso d'obbligo la scelta di focalizzarsi su alcuni particolari aspetti.

La concretezza del mutamento climatico è stata innanzitutto documentata guardando all'Italia e certificando con dati oggettivi gli effetti che di anno in anno percepiamo anche direttamente sulla nostra pelle. Se il passato è già scritto, per il futuro sembrano rimanere dei margini di manovra, seppur molto stretti, che vanno sfruttati per tentare di scongiurare gli scenari peggiori e quindi effetti di portata sempre maggiore.

Allo scopo di comprendere quali siano i possibili margini di manovra nell'ottica della relazione in analisi, è stato quantificato il contributo che il sistema dei trasporti apporta ad aggravare il mutamento climatico tramite le sue emissioni. Ne è emerso un quadro che certifica un ruolo estremamente negativo del settore, uno degli unici che negli anni non ha visto diminuzioni delle sue emissioni.

Compreso quanto agire sui trasporti possa effettivamente avere delle ricadute positive sul tentativo di frenare il cambiamento climatico, sono state valutate le misure di mitigazione (ovvero quelle direttamente correlate agli impatti), scegliendo come ambito quello infrastrutturale. Prima però è stato dato spazio all'altro lato della relazione approfondita, studiando quali sono gli effetti delle manifestazioni atmosferiche del mutamento climatico sulle diverse tipologie di infrastruttura di trasporto. È evidente come tutte siano vulnerabili, seppur in gradi differenti, al manifestarsi di eventi sia incrementali che improvvisi. Ciò che ne consegue è la necessità di renderle resistenti e resilienti tramite misure di adattamento.

Nel corso del secondo capitolo le misure di mitigazione sono state suddivise per tipologia di infrastruttura. Tuttavia, al termine dell'elaborato, è opportuno adottare una visione sistemica, per ottenere un quadro d'insieme che permetta al lettore di individuare un *fil rouge* tra i diversi interventi e politiche oggetto di analisi. Per raggiungere gli ambiziosi obiettivi di abbattimento delle emissioni che l'Unione Europea ha posto anche per il settore dei trasporti nel percorso verso la neutralità climatica, non basta infatti agire su singoli fronti. È invece indispensabile individuare set di misure tra loro diverse, ma complementari e sinergiche, ed intervenire contemporaneamente su diverse tipologie di infrastrutture senza ragionare "a compartimenti stagni". Focalizzare l'azione su singole tipologie di infrastrutture o solamente su dati settori

porta con sé il rischio di attuare interventi troppo mirati, che potrebbero restituire una soluzione solo parziale alle problematiche che si vogliono risolvere. Affinché gli interventi infrastrutturali abbiano una piena efficacia, è inoltre necessario saperli abbinare con coerenti misure di tipo *soft*, come politiche ed incentivi che indirizzino gli utilizzatori verso comportamenti più sostenibili.

L'adozione di un approccio sistemico è utile anche per comprendere il concetto di intermodalità, che si basa proprio sulla costruzione di un sistema in cui ciascuna componente risulta efficace ed utile solo se correttamente integrata con tutte le altre.

L'ultima parte dell'elaborato è stato infine riservato ad un approfondimento sulla mobilità urbana di persone e merci e sulle sfide a cui questa si affaccia in ottica di cambiamenti climatici e richiesta di sostenibilità. Tale scelta può essere giustificata dalle tendenze localizzative in atto, che vedono un'urbanizzazione sempre più crescente. Per entrambi i tipi di mobilità l'elemento cardine sul quale si punterà, non solo per esigenze ambientali, ma anche economiche e sociali, sembra essere quello tecnologico. Gli orizzonti del trasporto passeggeri suggeriscono sistemi sempre più integrati, la cui fruizione è agevolata agli utenti da innovative piattaforme digitali. L'attività di logistica urbana, e in particolare quella relativa all'ultimo miglio, sarà anch'essa coadiuvata da una crescente digitalizzazione, alla quale l'affiancamento di una dimensione di cooperazione tra gli attori coinvolti potrà dare una spinta ulteriore verso standard di efficienza e sostenibilità ancora più elevati.

## Riferimenti bibliografici

ANON., 2022. Cos'è il Green Deal Europeo e come sarà realizzato. *QuiFinanza* [online], 6 aprile. Disponibile su: <<https://quifinanza.it/green/green-deal-cose-significazioni/490304/>>.

ANON., 2022. Ue: Stop alla vendita di nuove auto a benzina e diesel entro il 2035. *RaiNews* [online], 29 giugno. Disponibile su: <<https://www.rainews.it/articoli/2022/06/ue-stop-alla-vendita-di-nuove-auto-a-benzina-e-diesel-entro-il-2035-297f1ca1-2245-40e5-979b-65239ed02eb4.html>>.

ANON., 2022. Parlamento include l'Ets nel trasporto marittimo e stradale. *Trasporto Europa* [online], 22 giugno. Disponibile su: <<https://www.trasportoeuropa.it/notizie/logistica-verde/parlamento-include-lets-nel-trasporto-marittimo-e-stradale/>>.

ANON, 2022. *Micromobilità in Vocabolario Treccani*. Treccani [online] Disponibile su: <[https://www.treccani.it/vocabolario/micromobilita\\_\(Neologismi\)](https://www.treccani.it/vocabolario/micromobilita_(Neologismi))>.

ACI EUROPE, 2021. *Developing an Airport Net Zero Carbon Roadmap*. [online] Disponibile su: <<https://www.aci-europe.org/downloads/roadmap/Guidance%20-%20Developing%20an%20Airport%20Net%20Zero%20Carbon%20Roadmap.pdf>>.

ANFIA, 2021. *Dossier Trasporto merci su strada*. [online] Disponibile su: <[https://www.ansa.it/documents/1637075696353\\_2.pdf](https://www.ansa.it/documents/1637075696353_2.pdf)>.

ARMAROLI, N., CARRARO, C., CAZZOLA, P., CHERCHI, E., TANELLI, M., TAVONI, M., TILCHE, A. AND TORSELLO, M., 2022. *Decarbonizzare i trasporti - Evidenze scientifiche e proposte di policy*. MIMS. [online] Disponibile su: <[https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-04/STEMI\\_Decarbonizzare%20i%20trasporti\\_0.pdf](https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-04/STEMI_Decarbonizzare%20i%20trasporti_0.pdf)>.

BERNETTI, A., 2021. *Le emissioni dal trasporto stradale in Italia*. ISPRA [online] Disponibile su: <  
[https://www.isprambiente.gov.it/files2021/eventi/evento16apr2021\\_emissioni\\_strada.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files2021/eventi/evento16apr2021_emissioni_strada.pdf)>

BERNETTI, A., CAPUTO, A., COLAIEZZI, M., FINOCCHIARO, G. AND IAROCCI, G., 2019. *Annuario dei dati ambientali: i trasporti*. ISPRA. [online] Disponibile su: <  
[https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/stato-ambiente/annuario-2020/4\\_Trasporti\\_Finale\\_2019.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/stato-ambiente/annuario-2020/4_Trasporti_Finale_2019.pdf)>.

BOSONA, T., 2020. Urban Freight Last Mile Logistics—Challenges and Opportunities to Improve Sustainability: A Literature Review. *Sustainability*, 12(21), p.8769.

BURBIDGE, R., 2016. Adapting European Airports to a Changing Climate. *Transportation Research Procedia*, 14, pp.14-23.

CAMERA DEI DEPUTATI, 2021. *Ufficio Rapporti con l'Unione Europea, 2021. Pacchetto "Pronti per il 55%" (FIT for 55%): la revisione della normativa in materia di clima*.

ACCETTURO, A., ALVISI, S., ARBINOLO, M., BARBATO, G., BIANCHI, A., BOSELLO, F., BOSTICCHI, I., BUIZZA, R., CANTISANI, G., CARRARO, C., CASTELLETTI, A., CAZZOLA, P., CHERCHI, E., CIFERRI, D., COMINOLA, A., CORAZZA, M., COZZI, L., CRESCENZI, R., CROCE, N., CROCE, P., DASGUPTA, S., DE BLASIO, G., DE GIROLAMO, P., DI MASCIO, P., D'OVIDIO, G., DUCA, M., ELLENA, M., FERONE, A., FORMICHI, P., FORZIERI, G., GANDOLFI, C., GIANGUALANO, P., LANDI, F., LANZI, E., LITI, C., LOPRENCIPE, G., LOTTI, L., MERCOGLIANO, P., MONTANARI, A., MURATORI, M., PADULANO, R., PANICCIA, I., PECORINI, I., PERCOCO, M., RICCI FELIZIANI, F., SORIANI, S., STANDARDI, G., TANELLI, M., TARTAGLIA, M., TAVONI, M., TILCHE, A., TORNATORE, M. AND ZIO, E., 2022. *Cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità*. Soluzioni e strategie per gli investimenti infrastrutturali in un contesto di adattamento ai cambiamenti climatici e di mitigazione delle emissioni di gas-serra - Rapporto della "Commissione cambiamenti climatici, infrastrutture e mobilità sostenibili". [online] Rome: Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili. Disponibile su: <  
[https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-02/Rapporto\\_Carraro\\_Mims.pdf](https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-02/Rapporto_Carraro_Mims.pdf)>.

CASTROVINCI ZENNA S., 2021. *La regolazione del trasporto pubblico locale e l'evoluzione del concetto di mobilità: sfide e prospettive*, Tesi di dottorato, LUISS, Dipartimento di Giurisprudenza.

CHRISTODOULOU A., DEMIREL H., 2018. *Impacts of climate change on transport - A focus on airports, seaports and inland waterways*. EUR 28896 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.

CLIMATE ADAPT, 2022. *Adaptation options*. [online] Disponibile su: <<https://climate-adapt.eea.europa.eu/knowledge/adaptation-information/adaptation-measures>>.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, 2019. *Cnr-Isac: 2018 anno più caldo dal 1800 per l'Italia*. [online] Disponibile su: <<https://www.cnr.it/it/nota-stampa/n-8503/cnr-isac-2018-anno-piu-caldo-dal-1800-per-l-italia>>.

CRISANTEMI, M., 2022. Digital Twin: che cos'è, come funziona e quali sono i vantaggi del gemello digitale. *Innovation Post* [online], 12 ottobre. Disponibile su: <<https://www.innovationpost.it/2021/10/12/digital-twin-che-cose-come-funziona-e-quali-sono-i-vantaggi-del-gemello-digitale/>>.

DA ROLD, C., 2019. Possiamo avere città sostenibili con così poche metropolitane? *Il Sole 24 Ore* [online], 8 febbraio. Disponibile su: <[https://www.infodata.ilsole24ore.com/2019/02/08/possiamo-citta-piu-sostenibili-cosi-poche-linee-metropolitane/?refresh\\_ce=1](https://www.infodata.ilsole24ore.com/2019/02/08/possiamo-citta-piu-sostenibili-cosi-poche-linee-metropolitane/?refresh_ce=1)>.

EC, 2019. *Il Green Deal europeo illustra le strategie per fare dell'Europa il primo continente al mondo a impatto climatico zero entro il 2050, dando impulso all'economia, migliorando la salute e la qualità della vita delle persone e tutelando la natura e senza che nessuno sia escluso da questo processo*. [online] Disponibile su: <[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/ip\\_19\\_6691](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/ip_19_6691)>.

EC, 2020. *Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente: mettere i trasporti europei sulla buona strada per il futuro*.

EC, 2021. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee, and the committee of the regions Forging a climate-resilient Europe - the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*. COM(2021) 82 final.

EC, 2021a. *European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions*. [online] Disponibile su: <[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_21\\_3541](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541)>.

EC, 2021b. *"Pronti per il 55 %": realizzare l'obiettivo climatico dell'UE per il 2030 lungo il cammino verso la neutralità climatica*. Bruxelles.

EC, 2021c. *Delivering the European Green Deal*. [online] Disponibile su: <[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en)>.

EC, 2022. *Aviation and the EU ETS*. [online] Disponibile su: <[https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/aviation-and-eu-ets\\_en](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/aviation-and-eu-ets_en)>.

EEA, 2017. *Double dividend*. [online] Disponibile su: <<https://semantic.eea.europa.eu/factsheet.action?uri=http://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/double-dividend>>.

EEA, 2020. *The first and last mile — the key to sustainable urban transport. Transport and environment report 2019*. [online] Luxembourg: Publication Office, p.18. Disponibile su: <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8d8844d0-5913-11ea-8b81-01aa75ed71a1/language-en>>.

EEA. 2021. *Qual è la differenza tra adattamento e mitigazione?* [online] Disponibile su: <<https://www.eea.europa.eu/it/help/domande-frequenti/qual-e-la-differenza-tra>>.

EUROPEAN PARLIAMENT, 2022. *Fit for 55: MEPs back objective of zero emissions for cars and vans in 2035*. [online] Disponibile su: <<https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20220603IPR32129/fit-for-55-meps-back-objective-of-zero-emissions-for-cars-and-vans-in-2035>>.

EUROPEAN PARLIAMENT, 2022a. *Revisione del sistema EU ETS: Pronti per il 55%*. In sintesi Plenaria - Giugno II 2022. [online] Disponibile su: <[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729455/EPRS\\_ATA\(2022\)729455\\_IT.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2022/729455/EPRS_ATA(2022)729455_IT.pdf)>.

EVANS, S. AND GABBATISS, J., 2021. Q&A: How ‘Fit for 55’ reforms will help EU meet its climate goals. *Carbon Brief* [online], 19 luglio. Disponibile su: <<https://www.carbonbrief.org/qa-how-fit-for-55-reforms-will-help-eu-meet-its-climate-goals>>.

FERROVIE DELLO STATO, 2022. *Emissioni*. [online] Disponibile su: <<https://www.fsitaliane.it/content/fsitaliane/it/sostenibilita/tutelare-l-ambiente/emissioni-e-rifiuti.html>>.

GOVERNO ITALIANO, 2022. *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza*.

GRIMALDI, A., 2022. *Infrastruttura in "Enciclopedia Italiana"*. [online] Treccani.it. Disponibile su: <[https://www.treccani.it/enciclopedia/infrastruttura\\_%28Enciclopedia-Italiana%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/infrastruttura_%28Enciclopedia-Italiana%29/)>.

HIETANEN, S., 2014. ‘Mobility as a Service’ – the New Transport Model? Eurotransport, 12 (2) ITS & Transport Management Supplement, 2-4; “3rd Florence Intermodal Forum”: Mobility-as-a-service: from the Helsinki experiment to a European model? Florence School of Regulation, 9.3.2015, in *European Transport Regulation Observer*, n. 2015/1.

ISPRA, 2014. *Stato dell'ambiente 55/2014*. [online] ISPRA, p. 55. Disponibile su: <[https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/stato-ambiente/aic\\_3maggio.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/stato-ambiente/aic_3maggio.pdf)>.

ISPRA, 2021. *Stato dell'ambiente 95/2021: Annuario in cifre*. [online] ISPRA. Disponibile su: <[https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/stato-ambiente/aic\\_3maggio.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/stato-ambiente/aic_3maggio.pdf)>.

JONUSCHAT, H., STEPHAN, K. AND SCHELEWSKY, M., 2015. Understanding Multimodal and Intermodal Mobility, *Transport and Sustainability*, 7, pp. 149–176.

KOETSE, M. AND RIETVELD, P., 2009. The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), pp.205-221.

KREIBICH, H., VAN DEN BERGH, J., BOUWER, L., BUBECK, P., CIAVOLA, P., GREEN, C., HALLEGATTE, S., LOGAR, I., MEYER, V., SCHWARZE, R. AND THIEKEN, A., 2014. Costing natural hazards. *Nature Climate Change*, 4(5), pp.303-306.

LARSEN, A., VAN WOENSEL, T., 2019. Freight, logistics and the delivery of goods in cities, in Holst Jørgensen, B., Krogh Andersen, K., Anker Nielsen, O. *DTU International Energy Report 2019: Transforming Urban Mobility*, pp. 62-72.

LEGAMBIENTE, 2022. *Rapporto Pendolaria. L'accelerazione degli interventi con il PNRR e lo scenario al 2030, La situazione del trasporto ferroviario ai tempi del Covid*. [online] Disponibile su: <<https://www.pendolaria.it/wp-content/uploads/2022/02/Rapporto-Pendolaria-2022.pdf>>.

LIONELLO, P. AND SCARASCIA, L., 2018. The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18(5), pp.1481-1493.

LOVE, G., SOARES, A. AND PÜEMPEL, H., 2010. Climate Change, Climate Variability and Transportation. *Procedia Environmental Sciences*, 1, pp.130-145.

MIT, 2016. *I Sistemi di Trasporto Intelligenti (ITS)*. [online] Mit.gov.it. Disponibile su: <<https://www.mit.gov.it/documentazione/i-sistemi-di-trasporto-intelligenti-its>>.

MIT, 2019. *Mobilità sostenibile e trasporto pubblico locale*. consultazioni.mit.gov.it. [online] Disponibile su: <<http://consultazioni.mit.gov.it/index.php/tema/mobilita-sostenibile-e-trasporto-pubblico-locale/mobilita-sostenibile-e-trasporto-pubblico>>.

NEMRY, F., DEMIREL, H., 2012. *Impacts of climate change on transport: a focus on road and rail transport infrastructures*. In Publications Office of the European Union.



PUEMPEL, H., WILLIAMS, P. D., 2016. *The impacts of climate change on aviation: scientific challenges and adaptation pathways*.

PUIG-SAMPER NARANJO, G., BOLONIO, D., ORTEGA, M. AND GARCÍA-MARTÍNEZ, M., 2021. Comparative life cycle assessment of conventional, electric and hybrid passenger vehicles in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 291, p.125883.

RANKIN, J., 2021. What is the EU's plan to tackle global heating – and will it work? *The Guardian*, [online] Disponibile su: <<https://www.theguardian.com/environment/2021/jul/14/what-is-the-eus-plan-to-tackle-global-heating-and-will-it-work>>.

REVI, A., D.E. SATTERTHWAITE, F. ARAGÓN-DURAND, J. CORFEE-MORLOT, R.B.R. KIUNSI, M. PELLING, D.C. ROBERTS, W. SOLECKI, 2014. *Urban areas*. In: FIELD, C.B., V.R. BARROS, D.J. DOKKEN, K.J. MACH, M.D. MASTRANDREA, T.E. BILIR, M. CHATTERJEE, K.L. EBI, Y.O. ESTRADA, R.C. GENOVA, B. GIRMA, E.S. KISSEL, A.N. LEVY, S. MACCRACKEN, P.R. MASTRANDREA, L.L. WHITE. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 535-612.

RODRIGUE, J.P., 2013. Urban Transportation and Land Use. In Rodrigue, J.P., Notteboom, T., Shaw, J. *The SAGE Handbook of Transport Studies*, pp. 105-118.

SANTOS, G., BEHRENDT, H., MACONI, L., SHIRVANI, T. AND TEYTELBOYM, A., 2010. Part I: Externalities and economic policies in road transport. *Research in Transportation Economics*, 28(1), pp.2-45.

SOMMARIVA, R., 2021. Città MEZ. Autobus, pochi, vecchi, inquinanti. *Legambiente*. [online] Disponibile su: <[https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2021/10/Rapporto-Cit\\_MEZ\\_2021-1.pdf](https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2021/10/Rapporto-Cit_MEZ_2021-1.pdf)>.

SPANO, D., MEREU, V., BACCIU, V., MARRAS, S., TRABUCCO, A., ADINOLFI, M., BARBATO, G., BOSELLO, F., BREIL, M., BUONOCORE, M., CHIRIACÒ, M.V.,

COPPINI, G., ESSENFELDER, A., GALLUCCIO, G., LOVATO, T., MARZI, S., MASINA, S., MERCOGLIANO, P., MYSIK, J., PAL, J., REDER, A., RIANNA, G., RIZZO, A., SANTINI, M., SINI, E., STACCIONE, A., VILLANI, V., ZAVATARELLI, M., 2020. *Analisi del Rischio. I cambiamenti climatici in Italia*. Fondazione CMCC - Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici. Disponibile su: <[https://doi.org/10.25424/CMCC/ANALISI\\_DEL\\_RISCHIO](https://doi.org/10.25424/CMCC/ANALISI_DEL_RISCHIO)>.

SZYLIOWICZ, J., 2003. Decision-making, intermodal transportation, and sustainable mobility: towards a new paradigm. *International Social Science Journal*, 55(176), pp.185-197.

TANIGUCHI, E., 2014. Concepts of City Logistics for Sustainable and Liveable Cities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 151, pp.310-317.

TOFFOL, G., REALI, L., 2017. Cambiamento climatico: modificare il sistema dei trasporti per mitigare l'impatto sul clima. *ACP - Ambiente e Salute*, [online] Disponibile su: <[https://acp.it/assets/media/Quaderni-acp-2017\\_241-PE\\_as2.pdf](https://acp.it/assets/media/Quaderni-acp-2017_241-PE_as2.pdf)>.

UNITED NATIONS, 2018. *World Urbanization Prospects - Population Division - United Nations*. [online] Population.un.org. Disponibile su: <<https://population.un.org/wup/Country-Profiles/>>.

VAN MAANEN, N., THEOKRITOFF, E., LANSON, A., MENKE, I. AND SCHLEUSSNER, C., 2022. Impatti del clima in Italia. *Climate Analytics*.

VENEZIA AIRPORT, 2021. *Il nostro viaggio verso Net Zero*. [online] Disponibile su: <[https://ambiente.veneziaairport.it/upload/files/sito\\_ambiente/cambiamenti\\_climatici/cosa\\_facciamo/vce\\_roadmap\\_net\\_zero\\_2021\\_-\\_ita\\_compresso.pdf](https://ambiente.veneziaairport.it/upload/files/sito_ambiente/cambiamenti_climatici/cosa_facciamo/vce_roadmap_net_zero_2021_-_ita_compresso.pdf)>.