

IL FUTURO DELLA MOBILITÀ URBANA SOSTENIBILE

Come ci muoveremo nel 2035?



POLITECNICO
MILANO 1863

CENTRO DI TECHNOLOGY FORESIGHT



Veicoli elettrici

oggetti virtuali

Veicoli da autonoma

Infrastrutture e fonti energetiche

es

Mobilità su rotaia

Micromobilità

Qualità connettività

mento connettività

Stili di vita

Sostenibilità
Mobilità urbana
Persone

Servizi di sharing

nti i

Sicurezza urbana

Assicurazione

MaaS

Edifici stradali

Effetti dei cambiamenti climatici

Regolamentazione degli accessi

Fiducia nell'amministrazione

Confini urbani

à

Indice

- 5 → Prefazione
- 7 → 5 messaggi-chiave sul futuro della mobilità urbana
- 11 → Perché è importante concentrarsi sul futuro della mobilità urbana?
- 17 → Traiettorie emergenti
- 25 → Tecnologie e innovazioni chiave
- 35 → Impatto previsto e livello di preparazione entro il 2035

Il colore indica la categoria:

- mezzi di trasporto
- tecnologie abilitanti
- servizi di mobilità
- norme
- configurazione urbana
- sociale

Intensità dei segnali trovati



Prefazione

Il 2035 segna una tappa importante. A partire dai calendari dettati dalla Commissione Europea, per molti questa data indica la fine della mobilità come l'abbiamo conosciuta fino ad ora: nuove prospettive tecnologiche e nuove abitudini suggeriscono un cambio di passo che fa della mobilità intelligente una delle chiavi di volta per il futuro delle nostre città e delle politiche ambientali.

Questo tema emerge chiaramente da una prima analisi compiuta dal Centro di Technology Foresight del Politecnico di Milano su una serie di tecnologie dirompenti e sui relativi ambiti di impatto. Lo studio ha esplorato un insieme selezionato di cinquanta tecnologie ed innovazioni sulla base degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, come definiti dalle Nazioni Unite. Esso ha rilevato, in particolare, come alcune specifiche tecnologie nell'ambito della mobilità promettano effetti divergenti che meritano una verifica attenta.

Questa pubblicazione esplora quindi il futuro della mobilità delle persone nelle aree urbane come una delle principali sfide che la società sta affrontando nella transizione verso modelli sociali e stili di vita più sostenibili. La complessità dell'argomento dipende infatti da molteplici interazioni tra aspetti sociali, economici, politici e ambientali che interessano i grandi spazi abitati, dove è previsto che si concentrerà la maggior parte della popolazione mondiale entro la metà di questo secolo.

In ogni parte del mondo, i grandi sistemi geopolitici stanno impegnando fondi pubblici e privati in quella che definiscono la "settima rivoluzione dei trasporti". Una rivoluzione che sarà possibile declinando i temi della mobilità secondo alcune grandi

FIGURA A

Macro aree di interesse identificate tramite analisi dei segnali.

tendenze: l'urbanizzazione, la globalizzazione, la nuova ecologia, la connettività, la sicurezza e la salute. Un approccio trasversale che vede nella tecnologia il fattore abilitante.

Determinante sarà pertanto la nostra capacità di generare innovazione all'interno di ecosistemi complessi. L'obiettivo è dunque quello di fornire un'analisi del contributo potenziale che le tecnologie e le innovazioni emergenti offrono alla costruzione di scenari futuri non solo desiderabili, ma fattibili, indicando i fattori che possono facilitarne o viceversa ostacolarne la realizzazione.

Lo studio è il frutto del lavoro congiunto di un gruppo di ricercatori del Politecnico di Milano affiancato da alcuni esperti di settore e dai principali stakeholder, con lo scopo di allargare il più possibile gli ambiti di conoscenza e i punti di osservazione, rendendo ancora più efficace il processo di foresight.

I risultati sono qui sintetizzati e discussi con l'obiettivo di fornire non solo informazioni, ma anche utili indicazioni e previsioni sulle opportunità da cogliere e sui rischi da evitare per arrivare preparati ad una delle maggiori sfide dei nostri tempi. La costruzione di un sistema di mobilità urbana sostenibile inizia oggi.

Ferruccio Resta

Rettore

Milano, Maggio 2022

5 messaggi-chiave sul futuro della mobilità urbana

La situazione attuale della mobilità urbana è ampiamente considerata insostenibile. L'analisi di scenario ha permesso di identificare le esigenze di mobilità nel 2035 e di mettere in evidenza i fattori di cambiamento che potranno guidare la transizione verso un futuro più sostenibile. In tale contesto sono emerse tecnologie e innovazioni abilitanti e, ad esse associati, opportunità e bisogni da prendere in considerazione se si vuole affrontare con maggiore consapevolezza il cammino verso la realizzazione degli scenari più desiderabili.

I numerosi elementi che sono risultati dal presente studio di foresight possono essere ricondotti ai seguenti messaggi-chiave.

- Le innovazioni e le azioni strategiche che permetteranno di realizzare un sistema di mobilità urbana più sostenibile nel 2035 saranno orientate in due direzioni principali: la prima, caratterizzata dal passaggio dalle automobili di proprietà ai servizi di sharing e, la seconda, dall'implementazione di un sistema di trasporto pubblico più intelligente e multimodale. In tale quadro, lo studio ha anche identificato l'insieme delle principali tecnologie abilitanti, delle politiche e delle strategie che accompagneranno tali sviluppi, come riportato nella grafica che segue.

MOBILITÀ PRIVATA

Dalla proprietà al servizio

- a** **Veicoli connessi e autonomi**
 - Veicoli autonomi di livello 4 e 5
 - Kit di aggiornamento incrementale per i veicoli
 - Infrastrutture di connettività e dati

- b** **Veicoli per il trasporto personale**

- c** **Motori con carburanti di nuova generazione**

- E-Carburanti
- Bio-Carburanti
- Idrogeno verde/blu

- d** **Veicoli elettrici**

- Batterie
- Infrastrutture di ricarica
- Strade elettrificate

- e** **Piattaforme di mobilità multimodale**

- f** **Servizi personalizzati**

- Realtà aumentata

- g** **Politiche e strategie**

- Restrizioni sulla proprietà dei veicoli
- Tasse legate all'inquinamento
- Aree ad accesso limitato
- Recupero e rivalorizzazione delle aree di sosta

TRASPORTO PUBBLICO

Intelligente, flessibile e multimodale

- a** **Veicoli pubblici connessi e autonomi**
 - Veicoli autonomi di livello 4 e 5
 - Kit di aggiornamento incrementale per i veicoli
 - Infrastrutture di connettività e dati
 - Taxi volanti

- b** **Intelligenza artificiale per la pianificazione e l'orchestrazione della mobilità**

- Servizi su richiesta
- Protezione dei dati e privacy

- c** **Motori con carburanti di nuova generazione**

- E-Carburanti
- Bio-carburanti
- Idrogeno verde/blu

- d** **Veicoli elettrici**

- Batterie
- Infrastruttura di ricarica
- Strade elettrificate

- e** **Piattaforme di mobilità multimodale**

- f** **Hub multimodali per collegamenti tra città e periferia**

- g** **Politiche e strategie**

- Partenariati pubblico-privati per la mobilità
- Servizi flessibili di risposta alla domanda
- Restrizioni all'uso dell'auto privata
- Incentivi e premi per gli spostamenti sostenibili
- Quartieri da 15 minuti
- Lavoro "da ovunque"

FIGURA B

Tecnologie abilitanti, politiche e strategie che accompagneranno la mobilità urbana nel 2035

- La velocità della transizione verso una mobilità più sostenibile dipende fortemente, per ogni contesto, da diverse combinazioni di scelte politiche e strategiche, supportate dallo sviluppo di tecnologie e azioni che meglio si adattano e si integrano nella realtà urbana esistente e consolidata.
- I prerequisiti per la mobilità sostenibile nel 2035 sono già visibili oggi dove le abitudini di viaggio stanno gradualmente cambiando: possedere un'auto non è più uno status symbol; il camminare o l'andare in bicicletta non sono considerati come una necessità per mancanza di altri mezzi ma anche per i loro benefici sulla salute; la scelta del trasporto è determinata anche dalla crescente consapevolezza del contributo all'impatto ambientale.
- Sarà necessaria una maggiore attenzione per adottare mezzi di trasporto e politiche in grado di soddisfare, da un lato, la crescente domanda di mobilità di una società che invecchia e, dall'altro, le esigenze di viaggio dei cittadini che, a causa di un previsto aumento dei flussi migratori, vivranno nelle periferie dei centri urbani.
- Il futuro della mobilità è fortemente influenzato dall'evoluzione delle scelte legate al settore energetico e dal conseguente rinnovamento e aggiornamento infrastrutturale. La sua attuazione potrebbe essere più lunga dell'orizzonte temporale considerato. Pertanto, nel 2035, è ragionevole ipotizzare di essere in una fase di transizione intermedia, con la coesistenza di diverse alternative tecnologiche sul tipo di vettore energetico per i mezzi di trasporto e la guida autonoma.

Note sulla metodologia

Questo report riassume il risultato di cinque mesi di attività che, a partire dalla ricerca e analisi della letteratura di settore e dei dati, ha visto il coinvolgimento di un insieme di esperti attraverso interviste, workshop tematici e un sondaggio con lo scopo di raccogliere le loro opinioni e favorire il confronto sulle differenti visioni del futuro, discutendo ipotesi, idee e preoccupazioni, e consentendo di elaborare congiuntamente dei trend plausibili di evoluzione. Sono stati coinvolti 19 professori del Politecnico di Milano provenienti da vari dipartimenti, le cui competenze ricadono in molteplici aree legate alla mobilità, e 8 esperti esterni di aziende e amministrazioni pubbliche con interessi in molteplici ambiti della mobilità urbana.

Più in dettaglio, le attività di ricerca hanno raccolto evidenze e elementi di cambiamento, suddivisi in base alle forze cosiddette STEEP, per costruire una base di conoscenze da integrare con le testimonianze degli esperti, servendo da guida per espandere l'area di osservazione e ridefinire il contesto in analisi. L'attività di ricerca delle tecnologie e innovazioni più rilevanti ha permesso di identificare quelle di maggior interesse e impatto per il contesto della mobilità urbana.

Gli esperti del Politecnico sono stati coinvolti inizialmente con interviste individuali per raccogliere le loro competenze e la loro personale visione della mobilità di oggi e nel 2035 e, successivamente, in due workshop di gruppo, il primo in presenza e il secondo online, e in un sondaggio. I workshop di gruppo hanno portato alla costruzione di più scenari collettivi e integrati di mobilità, a partire dall'analisi di quattro futuri alternativi, e alla identificazione delle loro fondamenta per poi convergere in raccomandazioni e opportunità per gli stakeholder. Il sondaggio sulle tecnologie, le innovazioni e le politiche emerse dalle attività precedenti ha restituito commenti sull'impatto atteso e sul loro ruolo nel raggiungimento delle condizioni di mobilità sostenibile prefigurate.

Infine, le interviste agli esperti esterni hanno permesso di ampliare il campo alle diverse sfide in ambito di mobilità, con una prospettiva non direttamente legata alla tecnologia, ma estesa all'intero ecosistema presentando i fattori sociali, economici, politici e ambientali che la influenzano.

Bibliografia e linkografia:

<https://www.foresight.polimi.it/mobility/references.html>

Perché è importante concentrarsi sul futuro della mobilità urbana?

La mobilità è un elemento chiave della nostra vita. La sua evoluzione, nelle modalità e nei mezzi di trasporto, è stata modellata da vari fattori - bisogni, aspettative e vincoli - facenti parte della nostra sfera sociale, tecnologica, economica, ambientale e politica (le cosiddette forze STEEP, dall'acronimo Social, Technological, Economic, Environmental e Political). In un mondo in rapida urbanizzazione, il tenore di vita delle persone che popolano le città determinerà la qualità e la sostenibilità del nostro futuro. A questo proposito, i progressi tecnologici e gli approcci innovativi che affrontano la sostenibilità della mobilità urbana sono fondamentali per l'uso delle risorse, la salute pubblica, la protezione ambientale e la crescita economica.

L'introduzione dell'automobile prodotta in serie come mezzo di trasporto ha rappresentato una rivoluzione nella mobilità. Tuttavia, ciò ha portato a molte delle cause dell'attuale condizione di scarsa qualità della vita in numerose città quali alti tassi di inquinamento, traffico e stress mentale.

Di fatto, in Italia quasi tutti i centri urbani superano i valori soglia degli indicatori di inquinamento atmosferico fissati dall'Unione Europea, con livelli di PM_{2,5} e NO₂ che hanno un impatto negativo sulla salute dei cittadini.

Per quanto riguarda il trasporto pubblico, accessibilità, sicurezza e affidabilità sono aspetti essenziali che rappresentano ancora delle sfide per molte amministrazioni locali.

Per andare verso una mobilità urbana più sostenibile in futuro dobbiamo guardare al problema come a un sistema complesso, partendo dall'identificazione dei fattori sociali e individuali che guidano le motivazioni e le scelte di viaggio delle persone. È quindi importante capire quale sia la direzione dei cambiamenti dei paradigmi e degli elementi che influenzano la mobilità, perché questa può determinare la qualità di vita dei cittadini, che adattano le proprie abitudini per spendere meglio tempo e risorse.

I cambiamenti sociali, come l'aumento e l'invecchiamento della popolazione, si sovrappongono e influenzano la mobilità. Per esempio, gli spostamenti attivi (a piedi e in bicicletta) tendono a diminuire con l'età, mentre l'uso delle automobili aumenta. Questo si combina con la sfida di mantenere la popolazione anziana in salute e di permetterle di vivere in modo indipendente più a lungo. Oggi il 25% della popolazione dell'Unione Europea ha più di 60 anni e nel 2050 tale valore è destinato ad aumentare fino a quasi il 35%. Pertanto, i cambiamenti nel sistema di trasporto devono tenere conto di utenti anziani con ridotte capacità di mobilità.

La pandemia da Covid-19 ha fatto riflettere sull'importanza di una vita sana, ottenuta attraverso più movimento fisico e un ambiente meno inquinato. La mobilità attiva si sta diffondendo nelle aree urbane ed è sempre più adottata da tutte le classi sociali, diventando una scelta volontaria per gli spostamenti quotidiani. Ciò ha comportato un incremento delle persone attente alla salute; tuttavia, porzioni consistenti della società stanno diventando sempre più esposte al rischio di obesità, con un conseguente aggravio per il sistema sanitario.

Attualmente il motivo più comune per gli spostamenti personali in ambito urbano è lo shopping, seguito dal pendolarismo. Tuttavia, l'ascesa del commercio elettronico ha portato a un

FIGURA C

Relazione tra forze STEEP
e aree SDG.
(continua a pagina
successiva)

Categorie STEEP

● Sociale
 ● Tecnologica
 ● Economica
 ● Ambientale
 ● Politica

Are di impatto

BEP: Bisogni essenziali della persona

SSE: Sviluppo socio-economico

USR: Uso sostenibile delle risorse

SPI: Salute del pianeta

PVU: Protezione dei valori universali

GOV: Governance

Relazione tra forze STEEP e area di impatto

● applicabile
 ● non applicabile

| Categorie STEEP | Forze STEEP | Aree SDG | | | | | |
|-------------------------|----------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | BEP | SSE | USR | SPI | PVU | GOV |
| Sociale | Abitudini lavorative | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sociale | Andamenti demografici | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sociale | Appartenenza alla comunità | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sociale, Politica | Crescita dell'attivismo | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sociale, Tecnologica | Dipendenza digitale | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sociale | Divario sociale | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sociale, Ambientale | Interesse verso la sostenibilità | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sociale, Tecnologica | Paura della tecnologia | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sociale, Tecnologica | Possesso del veicolo | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sociale | Stili di vita contrastanti | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Sociale | Stress urbano | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica | Big data | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica | Connessione internet veloce | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica, Ambientale | Fonti energetiche | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica, Sociale | Identità digitale | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica, Politica | Smart grid | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica | Micromobilità elettrica | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica | Miglioramento delle esperienze | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica | Mobilità aerea | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica | Mobilità come servizio | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica | Sensori diffusi | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica | Sicurezza e attacchi informatici | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica | Veicoli a guida autonoma | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Tecnologica | Viaggi virtuali | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Economica, Politica | Coopetizione | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Economica | Economia post-scarità | ● | ● | ● | ● | ● | ● |

Categorie STEEP

● Sociale
 ● Tecnologica
 ● Economica
 ● Ambientale
 ● Politica

Are di impatto

BEP: Bisogni essenziali della persona

SSE: Sviluppo socio-economico

USR: Uso sostenibile delle risorse

SPI: Salute del pianeta

PVU: Protezione dei valori universali

GOV: Governance

Relazione tra forza STEEP e area di impatto

● applicabile
 ● non applicabile

| Categorie STEEP | Forze STEEP | Aree SDG | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| | | BEP | SSE | USR | SPI | PVU | GOV | |
| Economica, Tecnologica | Esperienze digitali | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Economica, Ambientale | Infrastrutture sostenibili | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Economica, Politica | Interconnessione regionale | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Economica | Mobilità delle merci | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Economica, Sociale | Multi residenzialità | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Economica | Ridistribuzione del valore | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Economica, Tecnologica | Sharing economy | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Economica, Politica | Trasparenza | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Ambientale | Cambiamento climatico | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Ambientale, Politica | Decarbonizzazione | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Ambientale, Tecnologica | Energia sostenibile | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Ambientale, Politica | Espansione urbana diffusa | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Ambientale, Economica | Impatto sulla salute | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Ambientale | Inquinamento atmosferico | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Ambientale, Economica | Mobilità attiva | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Ambientale, Sociale | Ritorno alla natura in città | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Ambientale | Rumore da traffico | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Politica, Economica | Coinvolgimento degli stakeholder | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Politica, Sociale | Collaborazione tra cittadini | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Politica | Competenze statistiche | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Politica | Configurazione urbana | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Politica, Tecnologica | Definizione degli standard | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Politica, Sociale | Inclusività sociale | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Politica, Ambientale | Normative post-fonti-fossili | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Politica, Tecnologica | Regole per l'interoperabilità | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |
| Politica | Supporto locale | ● | ● | ● | ● | ● | ● | |

declino dello shopping nei negozi fisici, perché più persone fanno acquisti e ordinano pasti online, determinando un incremento importante delle consegne a domicilio. Internet e la digitalizzazione hanno drasticamente cambiato il modo in cui le persone lavorano, fanno acquisti, socializzano e imparano, eliminando la necessità di essere fisicamente presenti, creando orari di lavoro più agili e flessibilità negli spostamenti. Questo ha fornito alle compagnie di trasporto pubblico la possibilità di gestire la domanda con più elasticità e pianificando tragitti ottimizzati.

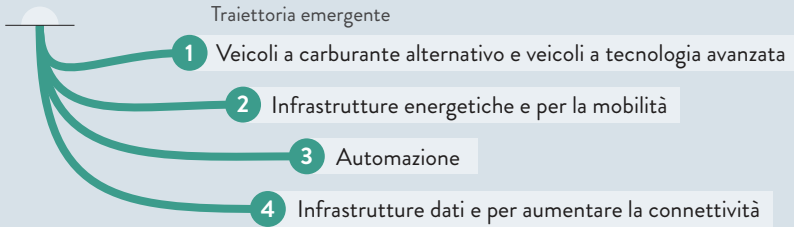
I combustibili fossili e le fonti di energia non sostenibili saranno sostituiti da fonti di energia meno inquinanti e più sostenibili. Gli obiettivi di salvaguardia ambientale favoriranno la diffusione di veicoli elettrici e di vettori energetici come l'idrogeno, i biocarburanti e il gas naturale, che sono cruciali per interrompere la dipendenza del settore dei trasporti europeo dai combustibili fossili e ridurre le emissioni di gas serra. Il costante interesse per la mitigazione degli effetti del cambiamento climatico sta sostenendo nelle aree urbane l'adozione di infrastrutture di micro-mobilità.

Affrontare un ecosistema che cambia richiede la collaborazione di tutti. Le iniziative che nascono sulla spinta dei cittadini si moltiplicano esponenzialmente per allineare l'offerta di servizi alle esigenze reali degli utenti. Il compito della politica è di supportarle, impegnandosi a promuovere soluzioni di mobilità che inducano le persone a sostenere la transizione dalle auto private verso l'utilizzo del trasporto pubblico.

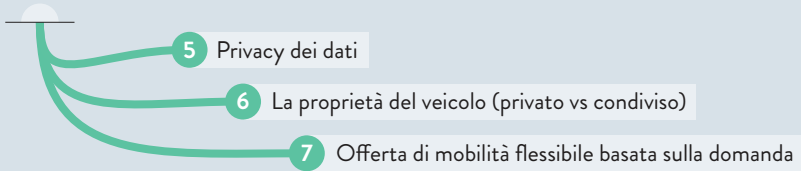
Tutti questi elementi, che giocheranno un ruolo essenziale nel futuro a venire, partecipano alla costruzione di diversi scenari possibili, qui esplorati per identificare le opportunità e gli impatti associati alle tecnologie e alle innovazioni inerenti alla mobilità urbana sostenibile nel 2035.

Macro-categoria

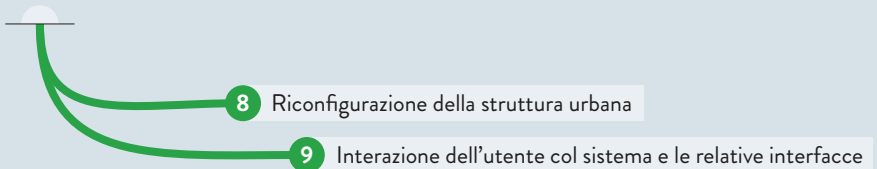
TECNOLOGIA



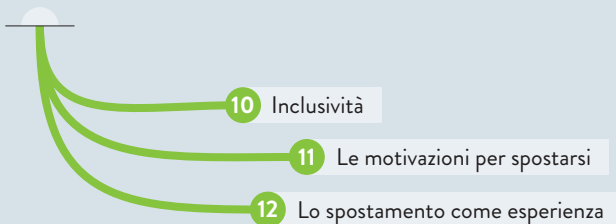
POLITICA



CONFIGURAZIONE URBANA



SOCIALE



Traiettorie emergenti

Il futuro della mobilità urbana sostenibile è un ecosistema complesso che va oltre la mera definizione dei principali mezzi di trasporto che i cittadini sperimenteranno nei loro spostamenti all'interno dell'area urbana. Tale ecosistema include ciò che rimane quasi invariabile, come l'infrastruttura urbana, ciò che è in radicale e rapida trasformazione indipendentemente dalla fonte energetica che lo spinge, l'ampio mondo digitale che supporta la mobilità, e la complessa sfera umana considerando i comportamenti, le aspettative e i bisogni individuali.

Gli esperti coinvolti hanno ripetutamente posto l'attenzione su dodici "traiettorie" principali, presentati come aspetti cruciali da prendere in considerazione quando si considera il futuro della mobilità urbana sostenibile.

1 **Veicoli a carburante alternativo e veicoli a tecnologia avanzata.**

In futuro i veicoli elettrici sono destinati a diventare lo status quo. Introducendo leggi che limitano la circolazione dei veicoli ad alte emissioni, nuove tipologie di carburante saranno commercializzate per permettere a tipologie di veicoli diverse di circolare.

FIGURA D

Traiettorie emergenti per promuovere una mobilità urbana sostenibile.

2 Infrastrutture energetiche e per la mobilità. La diffusione della mobilità elettrica richiede infrastrutture elettriche di nuova generazione e smart grid, in cui le stazioni di ricarica e i veicoli elettrici utilizzati per lo stoccaggio temporaneo dell'energia siano pienamente integrati e supportati. L'aumento della mobilità dolce, come biciclette e altre soluzioni di micro-mobilità, richiede infrastrutture e spazi dedicati all'interno di una struttura urbana rinnovata.

3 Automazione. Nonostante il grande potenziale che i veicoli autonomi possono fornire alla mobilità urbana e alla vita delle persone, il loro futuro è alquanto controverso. A causa dell'elevata imprevedibilità dell'ambiente cittadino, e mantenendo inalterata l'attuale struttura della città, sarà poco probabile avere una circolazione sicura dei veicoli privati autonomi all'interno dei centri urbani entro il 2035; più probabilmente la guida autonoma sarà utilizzata per il trasporto pubblico, mentre quella dei veicoli privati sarà riservata alle autostrade.

4 Infrastrutture dati e per aumentare la connettività. La mobilità del futuro è concepita come una soluzione modellata sulle esigenze quotidiane degli utenti, senza più costringere l'individuo ad adattare i propri impegni in base all'offerta di mobilità. Questo significa una gestione generalizzata e unificata dei dati provenienti da diverse fonti per fornire il servizio giusto al momento giusto e nel posto giusto. Investire in un livello adeguato di infrastrutture di connettività (5G e 6G) è importante per diffondere la mobilità on-demand anche in aree lontane dal centro città.

5 Privacy dei dati. La grande quantità dei dati raccolti avrà un notevole effetto su numerosi aspetti della vita futura dei cittadini, compresa la mobilità urbana. Poiché quest'ultima



Foto di Kindel Media su Pexels

dipenderà strettamente dallo sfruttamento e dall'utilizzo dei dati, la privacy e la sicurezza saranno fondamentali per garantire nei cittadini la propensione e la fiducia nella condivisione dei dati personali con le autorità cittadine.

- 6 La proprietà del veicolo.** La necessità di possedere un'auto privata diminuirà gradualmente e il futuro delle auto potrà diventare un destino condiviso. Costruendo una rete di servizi più capillare (tramite il trasporto pubblico e sharing di veicoli a due e quattro ruote) le persone otterranno la stessa libertà di muoversi pari a quella data dall'auto di proprietà. L'abbandono del veicolo privato sarà spinto non solo dal risparmio economico, ma soprattutto dall'obiettivo di spostarsi in modo più sostenibile per l'ambiente.

7 **Offerta di mobilità flessibile basata sulla domanda.**

Un'offerta di mobilità più flessibile diventerà realtà utilizzando i dati raccolti per prevedere le esigenze di viaggio e costruire un servizio di trasporto pubblico on-demand. Il sistema di "Mobility-as-a-Service" implica la possibilità di adattare in modo flessibile gli orari dei mezzi di trasporto alle esigenze reali dei pendolari, riducendo i costi senza diminuire la soddisfazione degli utenti e la qualità del servizio.

8 **Riconfigurazione della struttura urbana.** Il cambiamento della mobilità e la riduzione del numero di veicoli in transito all'interno della città cambieranno la struttura urbana, modificandone la conformazione delle corsie stradali e



Foto di CardMapr su Unsplash

liberando aree da destinare a nuovi scopi. La definizione di “quartieri di 15 minuti” diffusi nell’area urbana potrà garantire una città a misura d’uomo anche nelle grandi città metropolitane in cui le relazioni sociali e la mobilità attiva saranno preservate.

9 Interazione dell’utente col sistema e le relative interfacce.

La mobilità sostenibile si basa anche su una diffusa accessibilità al servizio considerando sia la distribuzione geografica dei punti di erogazione, sia la creazione di interfacce user-friendly. Il primo aspetto richiede stazioni multimodali e di collegamento facilmente percorribili. Il secondo aspetto riguarda i punti di contatto all’interno dei veicoli e nelle stazioni. Una rete diffusa di sensori sarà inoltre utilizzata per migliorare l’esperienza dei viaggiatori.

10 Inclusività. L’implementazione del trasporto pubblico concepita per il futuro permetterà a molte più persone di muoversi all’interno dell’area urbana. L’accessibilità dei servizi di trasporto pubblico senza dipendere dalle abilità di guida o dalle capacità fisiche permetterà ad anziani, disabili o bambini di raggiungere le loro destinazioni in modo autonomo e in condizioni di sicurezza.

11 Le motivazioni per spostarsi. Le infinite possibilità date dalla digitalizzazione e dalla connettività hanno indotto un cambiamento radicale nello stile di vita delle persone. Le tradizionali abitudini di acquisto e il tragitto quotidiano verso il posto di lavoro non saranno più date per scontate, poiché qualsiasi attività potrà essere svolta da remoto con un’esperienza paragonabile a quella in presenza. Il cambiamento radicale delle motivazioni per spostarsi si concretizzerà anche in diverse aspettative riguardo la qualità, la sicurezza e i costi della mobilità.

12 Lo spostamento come esperienza. La personalizzazione dell'esperienza di viaggio e l'opportunità di valorizzare il tempo di spostamento da un luogo all'altro sono due aspetti emergenti. Gli utenti si aspettano di poter svolgere altre attività durante il viaggio per godersi il tempo speso in movimento, come per esempio fare colazione, ottenere uno spazio riservato per lavorare, o intrattenersi con gli amici. La prospettiva del futuro del lavoro è caratterizzata da uno scenario di lavoro "da ovunque" che influenzerà sia le motivazioni per spostarsi (come precedentemente citato) sia le aspettative relative al viaggio stesso, che è concepito per offrire all'utente un'esperienza personalizzata, adattabile e programmabile.

FIGURA E

Concetti più citati emersi durante le conversazioni con gli esperti.

Comunità Prossimità Libertà
Nuove competenze Scopo Incentivi Idrogeno Sicurezza
Digitalizzazione **Città senza auto**
Collaborazione Strade elettrificate Aggregazione sociale
Big Data Spazi verdi Anziani Noleggio
Auto elettriche Regolamentazione Sensori
Decarbonizzazione Trasporto pubblico Zero Traffico Attivismo
Riduzione dello stress Sistema multimodale Consapevolezza
Flessibilità Comfort Guida autonoma **Urbano**
Relax Pedonale Identità digitale Fonti di energia
Stazioni di ricarica **Mobilità** Strade silenziose
Cybersecurity E-fuel Smart working Educazione
Comunità energetiche Smart Grid Multi residenzialità Micromobilità
Realtà aumentata Connettività **Sharing**
Limitazione Proprietà dei veicoli Megacittà Inquinamento atmosferico
Sostenibilità Inclusività Pianificazione urbana
Capillarità Infrastrutture Temperatura CO₂ Treno
Attenzione alla salute Bicicletta elettrica
Energie rinnovabili **Mobilità fluida** Espansione urbana
Veicoli volanti Produzione di energia
Riconfigurazione Maas Mobilità virtuale



Foto di Joel Fulgencio su Unsplash

Tecnologie e innovazioni chiave

Nel corso delle interviste e dei workshop è emerso un ricco insieme di tecnologie e innovazioni che rappresentano elementi chiave per il futuro della mobilità, indipendentemente dagli scenari alternativi che potrebbero realizzarsi.

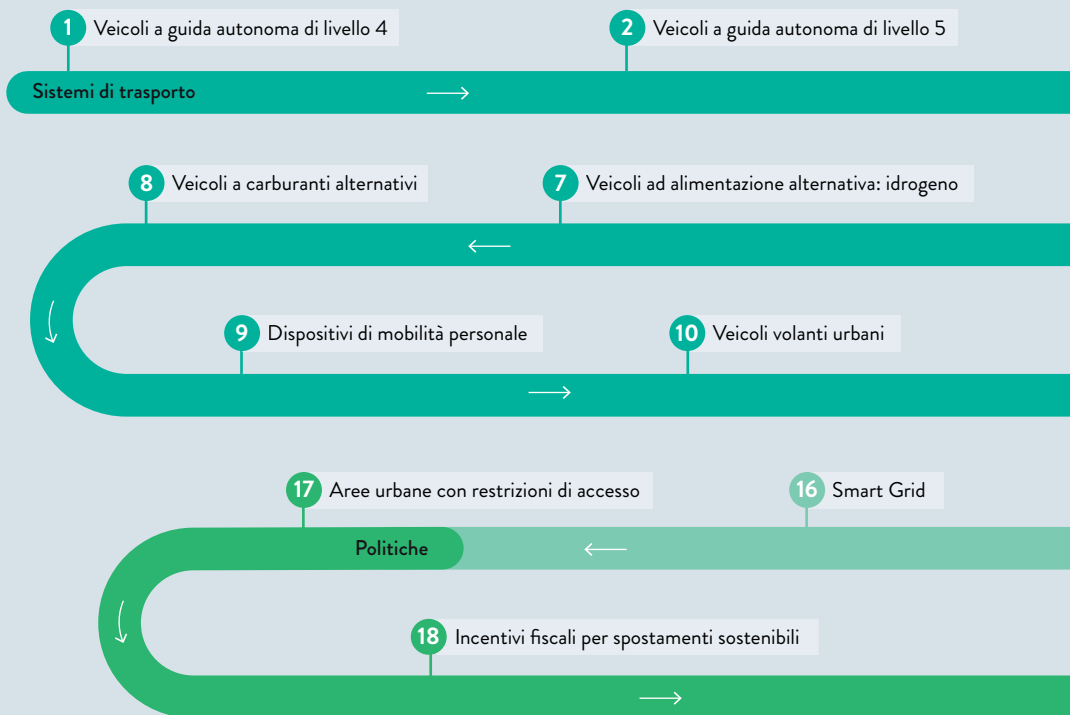
Esse sono state suddivise in tre gruppi: sistemi di trasporto, infrastrutture urbane e politiche.

SISTEMI DI TRASPORTO

- 1 Veicoli a guida autonoma di livello 4.** Sono veicoli automatizzati a guida prevalentemente autonoma (senza controllo umano) all'interno di un contesto operativo ben definito. Al di fuori di queste situazioni specifiche, il controllo dell'auto torna alla guida umana, ad eccezione delle situazioni in cui il conducente umano non risponde in modo appropriato a una richiesta di intervento.
- 2 Veicoli a guida autonoma di livello 5.** Il termine si riferisce a un veicolo completamente autonomo (senza controlli umani) in tutte le condizioni di guida e ambientali, comprese le auto private/condivise e gli autobus/navette per il trasporto

pubblico. Pertanto, non è vincolato da perimetri virtuali o influenzato dalle condizioni meteorologiche e gli esseri umani sono trasportati comodamente ed efficientemente senza la necessità di avere un autista. L'unico coinvolgimento umano è quello necessario per impostare una destinazione.

3 **Trasporto pubblico su richiesta.** Si riferisce a un'alternativa ai veicoli personali o ai taxi; mira a integrare il trasporto pubblico in aree con accesso ridotto (per le scuole, gli anziani, gli impiegati) e a gestire i viaggi a tarda notte o nelle ore non di punta. L'obiettivo è quello di fornire soluzioni di trasporto semplificate per abbinare l'offerta alla domanda in modo efficiente sulla base dei dati raccolti.

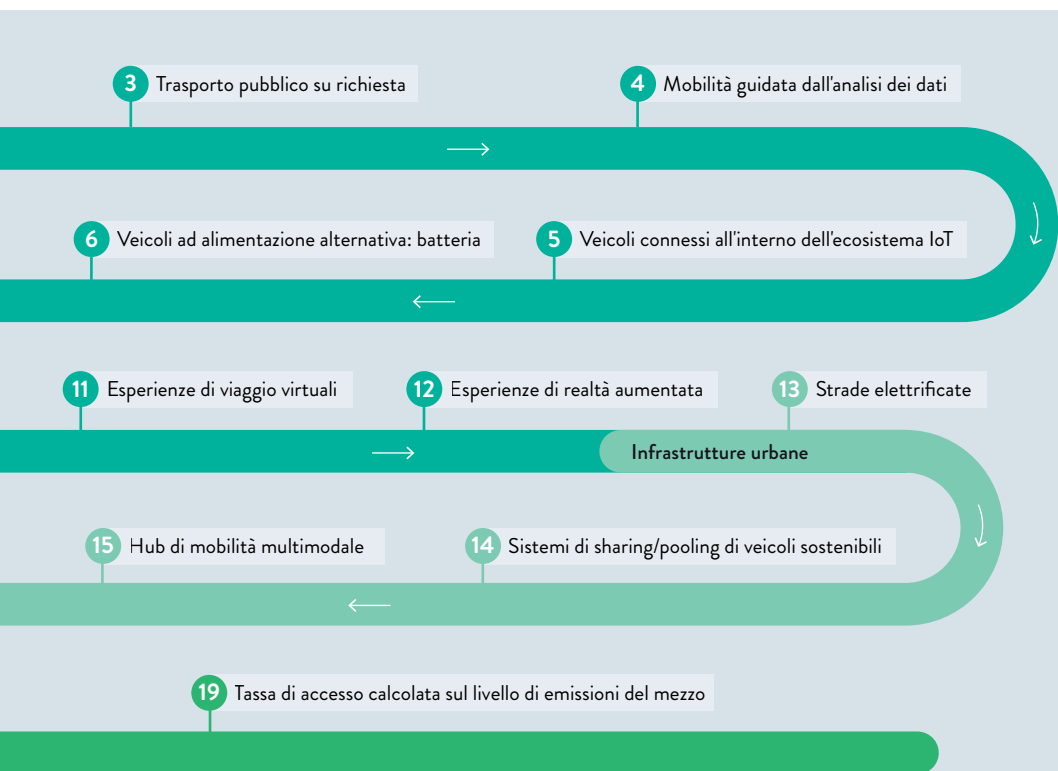


4 Mobilità guidata dall'analisi dei dati. Al giorno d'oggi i mezzi di trasporto generano una grande quantità di dati. Raccogliere, comprendere e generare conoscenza da questi dati non strutturati è la chiave del successo nel frenetico settore della mobilità. L'analisi di questi dati permetterà lo sviluppo di piattaforme in tempo reale per aumentare la sicurezza, ridurre l'impatto ambientale e migliorare l'efficienza del trasporto pubblico.

5 Veicoli connessi all'interno dell'ecosistema IoT. Sono veicoli che si connettono tramite reti wireless ad altri veicoli, infrastrutture e dispositivi mobili nelle vicinanze. I casi d'uso vanno dalle comunicazioni da veicolo a veicolo e da veicolo

FIGURA F

Tecnologie e innovazioni chiave per la mobilità urbana nel 2035.



a infrastruttura (noto anche come vehicle-to-everything). I veicoli hanno già sensori e tecnologie abilitanti a bordo (per esempio, GPS e a diagnostica di bordo). Di primaria importanza sono gli investimenti nello sviluppo di tecnologie di comunicazione 5G per garantire la velocità e l'affidabilità nel trasferimento dei dati tra i veicoli connessi, riducendo al minimo la latenza. È necessaria anche una regolamentazione apposita per disciplinare le operazioni dei veicoli connessi e gli aspetti della privacy.

6 Veicoli a motore elettrico. Un veicolo elettrico a batteria è un veicolo elettrico che utilizza solo energia chimica immagazzinata in batterie ricaricabili, senza alcuna fonte secondaria di propulsione, affidandosi a motori elettrici e controllori di motore. L'uso di questi veicoli in un contesto urbano può ridurre l'inquinamento atmosferico e acustico e migliorare il comfort urbano.

7 Veicoli a combustibile alternativo: idrogeno. Ci si riferisce a veicoli a motore che funzionano a idrogeno. Una volta consumato l'idrogeno in una cella a combustibile, si produce solo acqua. Oggi l'idrogeno viene prodotto attraverso il processo di reforming del gas naturale (un processo termocatalitico) con consistenti emissioni di CO₂ ("idrogeno grigio"). La prospettiva di poterlo produrre senza rilascio di CO₂ attraverso elettrolisi con energia rinnovabile ("idrogeno verde"), processi di reforming con cattura della CO₂ ("idrogeno blue") o pirolisi del metano ("idrogeno turchese") rende l'idrogeno un promettente candidato a vettore energetico sostenibile. Le celle a combustibile a idrogeno sono molto allettanti per la locomozione dei veicoli, e la maggior parte delle grandi compagnie automobilistiche stanno cercando di adattarsi a questa nuova tecnologia. La produzione, lo stoccaggio, il trasporto e l'utilizzo

dell'idrogeno come combustibile sono passi essenziali nello sfruttamento di questa fonte alternativa di energia.

- 8 Veicoli con altri carburanti di derivazione non fossile.** Sono una tipologia di veicoli che utilizzano carburanti diversi da quelli a base di petrolio (benzina o diesel). Questa tecnologia si riferisce a soluzioni di alimentazione del motore che creano zero emissioni nette di anidride carbonica. I biocarburanti e gli e-fuel sono tra le soluzioni più promettenti. In tutto il mondo lo sviluppo di alternative più pulite è diventato una priorità per molti governi a causa dell'impatto ambientale generato dai carburanti di origine fossile in termini di emissioni di CO₂. È importante porre attenzione ai possibili impatti che questi carburanti alternativi possono avere a lungo termine e valutare l'impatto delle emissioni per l'intero ciclo di produzione soprattutto se una tecnologia viene utilizzata su larga scala.
- 9 Dispositivi di mobilità personale.** Si tratta di una classe di veicoli di micro-mobilità compatti e motorizzati destinati al trasporto personale. Questi dispositivi comprendono monopattini a pedali, scooter elettrici, monocicli elettrici, hoverboard elettrici, skateboard, pattini a rotelle e dispositivi simili. Negli ultimi anni, con la diffusione di questi dispositivi nel mercato della sharing mobility, si è dimostrato che è sempre più necessario regolamentarli: molti paesi hanno già introdotto una serie di norme per garantire condizioni minime di sicurezza.
- 10 Veicoli volanti urbani.** L'idea dei veicoli volanti ha affascinato l'uomo anche prima che esistessero le automobili. Non appena i mezzi di trasporto si sono evoluti, e la congestione del traffico è diventata un problema, il sogno stesso si è concretizzato sempre di più. Oggi i progressi nella miniaturizzazione dei sensori, nell'immagazzinamento dell'energia, nei motori elettrici e nell'intelligenza artificiale

sembrano allinearsi per portare finalmente l'auto volante vicino alla realtà, anche se le sfide ingegneristiche che i veicoli volanti devono affrontare sono molteplici. I prototipi in fase di sviluppo tentano di combinare le migliori caratteristiche degli aerei e degli elicotteri e sono immaginati per il trasporto di un numero limitato di persone, come ad esempio i taxi volanti. Lo scenario ipotizzato richiederà drastici aggiornamenti ai sistemi e alle procedure di controllo del traffico aereo.

11 Esperienze di viaggio virtuali. Ci si riferisce alle esperienze di viaggio in un mondo virtuale, ricreando situazioni di vita reale utilizzando esperienze artificiali immersive supportate dalla Realtà Virtuale (VR) e dai dispositivi indossabili, equiparando il valore del viaggio virtuale a quello reale.

12 Esperienze di realtà aumentata. Sono strumenti digitali che sovrappongono la realtà esistente con elementi virtuali per aiutare i conducenti e i viaggiatori durante i loro spostamenti. La tecnologia della realtà aumentata può giocare un ruolo importante nell'interazione tra conducenti/passeggeri e veicoli a guida autonoma.

INFRASTRUTTURE URBANE

13 Strade elettrificate. Si riferisce a una strada che fornisce energia elettrica ai veicoli che la percorrono. Le implementazioni tipiche sono l'alimentazione a livello del suolo attraverso rotaie conduttive o bobine induttive incorporate nella strada e linee elettriche aeree poste al di sopra di essa. Le strade elettrificate rappresentano un vantaggio quando forniscono un'alternativa più pulita al motore a combustione, specialmente se l'energia proviene da fonti rinnovabili (come il vento o il sole). L'efficienza

delle strade elettrificate è massima nel caso in cui si utilizzi una tecnologia di ricarica conduttiva.

14 Sistemi di sharing/pooling di veicoli sostenibili. Si riferisce a servizi basati sulla partecipazione che permettono di condividere veicoli all'interno di una rete distribuita, disponibile 24 ore al giorno. L'adozione di questa tecnologia è riferita sia ai veicoli a quattro ruote che alla micro-mobilità. Nello specifico, le aree analizzate sono le città medie, le piccole città e un contesto diverso dall'area metropolitana. Una delle principali sfide da superare sarà quella di garantire un accesso veloce ai servizi di ride-hailing e car-sharing on-demand. La connettività dei veicoli porterà il beneficio decisivo di migliorare le condizioni del traffico, compensando la minor comodità dovuta al non avere più un mezzo proprio e dover dipendere da mezzi condivisi.

15 Hub di mobilità multimodale. Si tratta di un'infrastruttura di servizi di mobilità posizionata in un punto chiave di accesso al centro della città che permette di passare agilmente tra due diversi mezzi di trasporto. Questa struttura può potenzialmente rispondere alle diverse esigenze dei pendolari, definendo così un centro città senza auto. Il vantaggio dell'hub di mobilità multimodale combina varie soluzioni pubbliche e private, facilita le connessioni e i cambiamenti, e promuove una mobilità sostenibile combinando e strutturando varie soluzioni per soddisfare le esigenze di un maggior numero di utenti rispetto agli attuali percorsi lineari.

16 Smart grid. Ci si riferisce a una rete elettrica che permette un flusso bidirezionale di elettricità e di dati con una tecnologia di comunicazione digitale che permette il rilevamento, la risposta e la reazione proattiva ai cambiamenti nell'uso dell'energia o ad altri problemi. Le smart grid hanno capacità di autoriparazione e permettono ai loro utilizzatori di diventare partecipanti attivi.

17 Aree urbane con restrizioni di accesso. Si riferisce all'implementazione di restrizioni alla circolazione e alla sosta delle auto in una particolare area della città. Queste soluzioni sono tipicamente applicate nel centro della città per proteggere il trasporto pubblico dalla congestione del traffico privato, migliorando così la sua competitività e aumentando l'attrattività degli spazi pubblici. Per attuare con successo questa politica, la città deve fornire un'offerta di trasporto pubblico adattata alla domanda facendo leva anche su soluzioni in sharing. È essenziale proporre inoltre infrastrutture dedicate a mezzi di trasporto alternativi e non inquinanti, come le piste ciclabili.

18 Incentivi fiscali per spostamenti sostenibili. Si riferisce a tutti gli incentivi pubblici introdotti per favorire la sostituzione dei veicoli inquinanti con mezzi di trasporto più sostenibili. Molte alternative sono attualmente implementate in tutto il mondo, come incentivi per muoversi lontano dalle ore di punta o per spostamenti quotidiani di media-lunga percorrenza con il trasporto pubblico. Altri incentivi economici riguardano prezzi flessibili ai mezzi pubblici, sostegni economici per l'acquisto di mezzi sostenibili o l'adattamento della tassazione a comportamenti sostenibili del singolo.

19 Tassa di accesso calcolata sul livello di emissioni del mezzo. Si riferisce al pagamento di una tassa in base al livello di sostanze inquinanti rilasciate nell'ambiente (per esempio, emissioni nell'aria e nelle acque reflue o rifiuti solidi). Il consumatore paga un importo fisso per ogni unità di inquinante emessa o smaltita, potendo scegliere di inquinare e pagare la tassa o installare sistemi per prevenire o ridurre il livello di inquinamento. Per attuare questo tipo di politica,

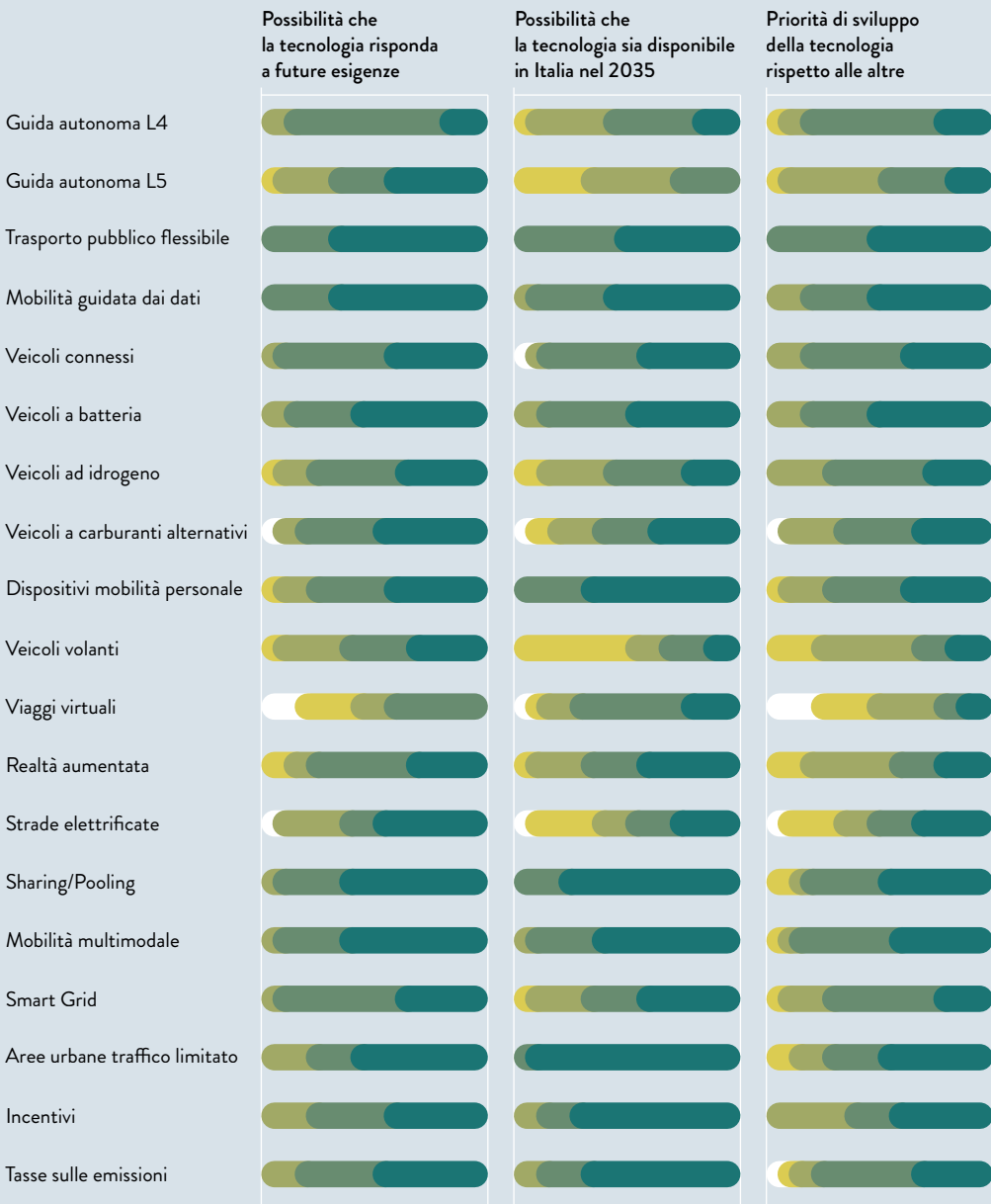


Foto di Kindel Media su Pexels

è necessaria un'infrastruttura per elaborare i dati di accesso alle aree urbane. Tale infrastruttura è composta principalmente da sensori sul campo e server di elaborazione dati.

Distribuzione percentuale delle opinioni degli esperti.

Il colore indica la possibilità: ● molto alta ● alta ● bassa ● molto bassa ● nessuna



Impatto previsto e livello di preparazione entro il 2035

FIGURA G

Distribuzione percentuale dell'impatto per ogni tecnologia ed area.

Al fine di comprendere il loro potenziale contributo alla realizzazione di scenari di mobilità urbana sostenibile, le tecnologie e le innovazioni identificate nel corso dello studio sono state anche analizzate considerando il livello di maturità e la probabilità di essere disponibili entro la finestra temporale individuata.

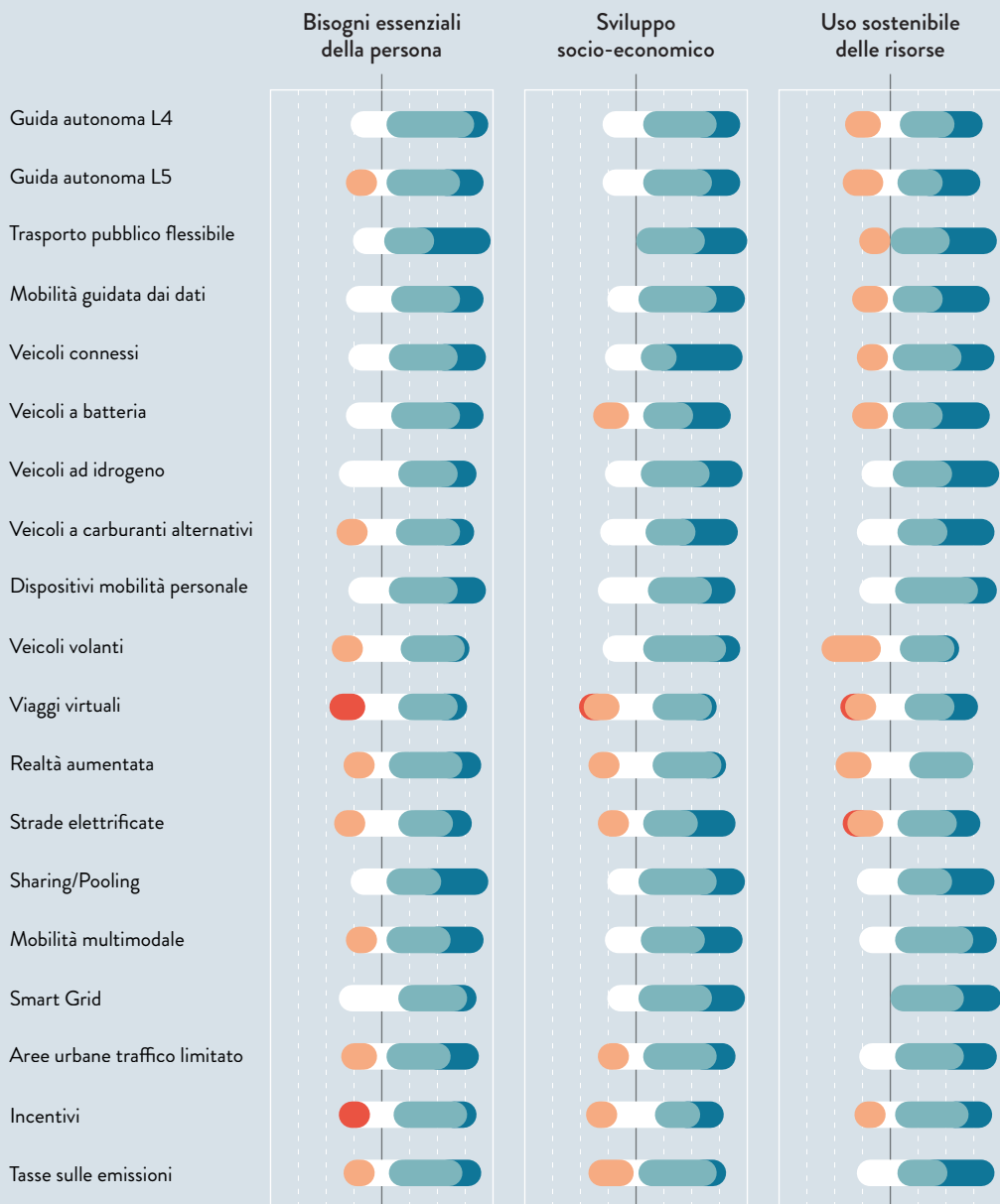
Nel complesso, secondo gli esperti, c'è una probabilità medio-alta di avere tutte le tecnologie analizzate completamente sviluppate e pronte per essere implementate in Italia entro il 2035. Le uniche eccezioni sono i veicoli autonomi di livello 5 e i veicoli volanti urbani, per i quali sarà necessario attendere un periodo di tempo più lungo per raggiungere il livello di maturità richiesto. Per quanto riguarda altre tecnologie come il trasporto pubblico su richiesta, i sistemi di sharing/pooling di veicoli sostenibili e le aree urbane con restrizioni di accesso ai veicoli privati, gli esperti concordano ampiamente su una probabilità alta/molto alta della loro realizzazione e accettazione sociale.


FIGURA H

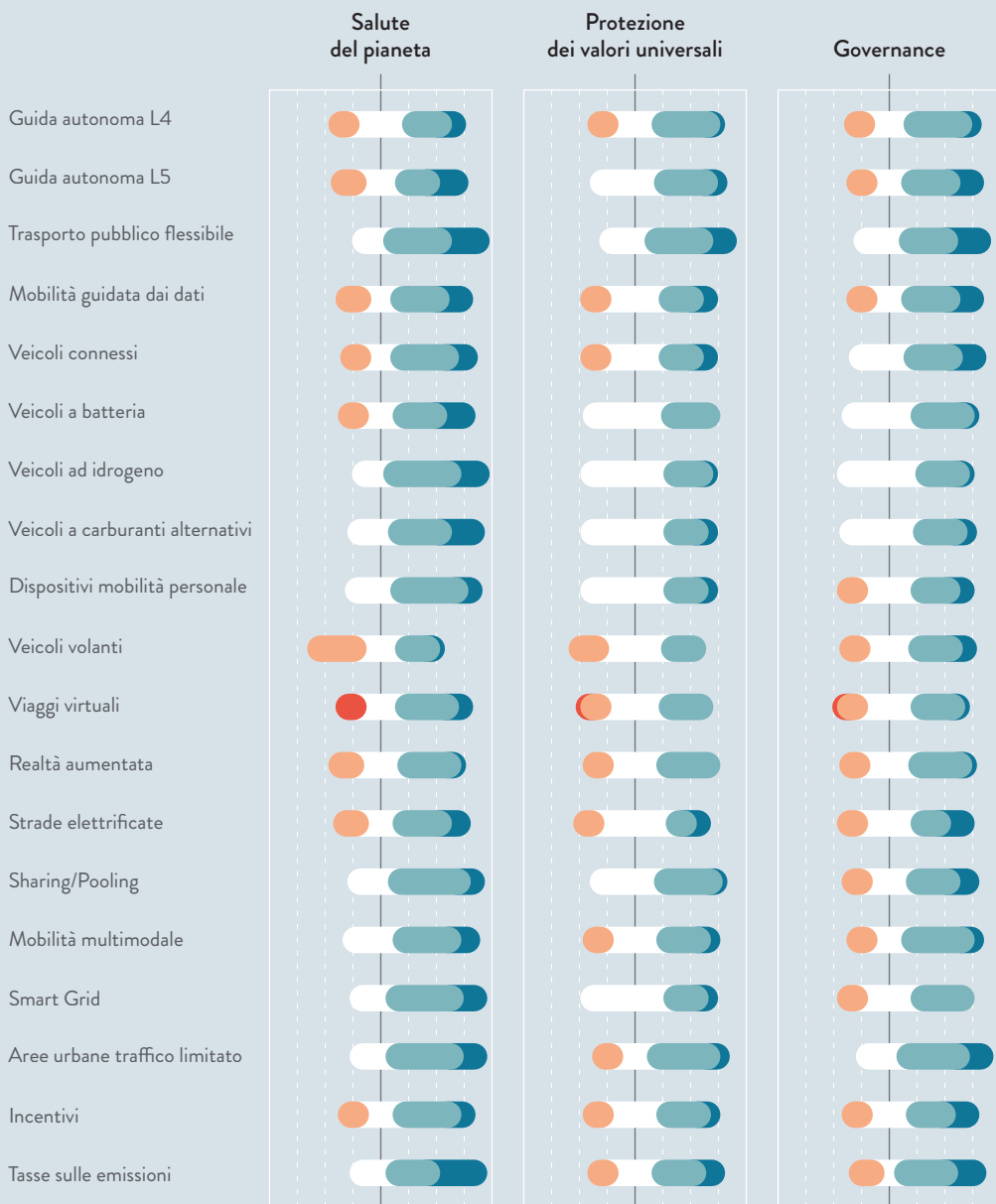
Opinioni degli esperti sulla possibilità che le tecnologie e le innovazioni chiave siano pronte entro il 2035. (Nella pagina seguente)

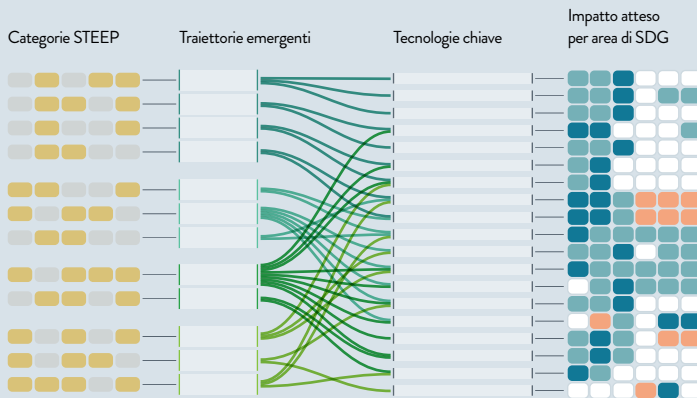
Gli esperti hanno anche espresso un comune livello di accordo sull'impatto che le tecnologie e le innovazioni principali della mobilità avranno nel conseguimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile. Gli SDG che ricevono il supporto più importante sono nelle aree "Crescita socio-economica" e "Bisogni essenziali per la persona".

Distribuzione percentuale dell'impatto atteso per ogni tecnologia ed area.



Il colore indica l'impatto:  impatto negativo nessun impatto impatto positivo





Tuttavia, è stato anche previsto un impatto non-negativo sugli SDG nelle aree “Uso sostenibile delle risorse” e “Conservazione del pianeta”. L’unica area SDG marginalmente influenzata dalle tecnologie considerate è l’area “Protezione dei valori universali”, dove ci si aspetta un impatto prevalentemente neutro. Infatti, nonostante l’inclusività sia stata evidenziata da tutte le voci e durante l’intera attività come un driver rilevante, questa sembra essere un obiettivo perseguibile solo attraverso la progettazione in chiave ecosistemica della mobilità piuttosto che una conseguenza dell’adozione di specifiche tecnologie e innovazioni.

Una visione integrata di quanto emerso dallo studio mette in evidenza le relazioni esistenti fra le traiettorie emergenti e le tecnologie ed innovazioni chiave, declinando le prime rispetto alle forze STEEP e le seconde in relazione all’impatto potenziale sul raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile. Lo schema riporta i valori medi di impatto in base a quanto espresso dagli esperti mediante il sondaggio di opinione.

L’insieme delle relazioni tra fattori di diversa natura evidenzia la complessità dell’ecosistema della mobilità urbana, in cui le tecnologie svolgono senz’altro un ruolo importante, attraverso la mediazione di politiche e strategie che dovranno accompagnarne gli sviluppi e assicurarne l’efficacia di adozione.

FIGURA I

Visione complessiva ed integrata dello studio, rappresentata con tutti i dettagli nel poster in allegato.

—

Auto elettriche
Strade elettrificate
Aggiornamenti
Spazi verdi
Decarbonizzazione
Trasporto pubblico
Regolamentazione
Riduzione dello stress
Zero emissioni
Sistema multimodale
Confort
Guida autonoma
Pedonale
Identità digitale
Fonti rinnovabili
Stazioni di ricarica
Cybersecurity
E-fuel
Smart Grid
Smart working
Energia pulita
Aumentata
Multi residenziale
Proprietà dei veicoli
Connettività
Megacittà
Sostenibilità
Inclusività
Infrastrutture
Pianificazione

I partecipanti alle interviste e ai workshop sono elencati di seguito.
Li ringraziamo per le loro preziose intuizioni e contributi.

Dal Politecnico di Milano: Marika Arena, Benedetto Bozzini,
Fausto Brevi, Stefano Bruni, Andrea Casalegno, Federico Cheli,
Grazia Concilio, Pierluigi Coppola, Francesco Grimaccia,
Gianpiero Mastinu, Matteo Matteucci, Angelo Onorati,
Paola Pucci, Giuseppe Sala, Sergio Savaresi, Luca Studer,
Emanuele Toraldo, Simone Vantini, Dario Zaninelli.

Esperti esterni: Roberta Bonacossa, Arianna Censi,
Stephane Cretel, Giulio Del Balzo, Fabio Fossa,
Giovanni Romano, Fabrizio Gatti, Giorgio Gori.

Questa attività è stata realizzata in collaborazione con
l'Institute For The Future e Leadin' Lab della
School of Management del Politecnico di Milano.

Centro di Technology Foresight – Comitato Scientifico:
Cristiana Bolchini, Francesco Braghin, Giuliana Iannaccone,
Matteo Maestri, Paolo Trucco.

Centro di Technology Foresight - Ricercatori: Habiba
Abdelfattah, Silvia Gadola, Riccardo Medana, Alberto Speroni.

Leadin' Lab - School of Management, Politecnico di Milano:
Tommaso Buganza, Claudio Dell'Era, Daniel Trabucchi.

Institute For The Future: Jacques Barcia,
Susanne Forchheimer, Joseph Press, Leah Zaidi.

Progetto grafico e impaginazione: Accurat