

# Mobilità sostenibile e cambiamento climatico

A livello nazionale ed europeo, il settore dei trasporti è uno dei principali responsabili delle emissioni di gas serra e, quindi, uno dei principali responsabili dell'influenza antropica sui cambiamenti climatici. Per fronteggiare la situazione, sono stati definiti degli obiettivi di decarbonizzazione sfidanti, il raggiungimento dei quali richiede non solamente il miglioramento delle tecnologie veicolari ma anche una riduzione della domanda di mobilità ed il suo spostamento verso le modalità a più basse emissioni. Il Laboratorio di Mobilità Sostenibile e Trasporti dell'ENEA opera ad ampio spettro su tutte le componenti della decarbonizzazione dei trasporti, fornendo contributi sia dal punto di vista tecnologico che della messa a punto di modelli e strumenti per la pianificazione di una mobilità smart e sostenibile.

DOI 10.12910/EAI2024-061

*di Gaetano Valenti, Maria Pia Valentini, Francesco Vellucci, Laboratorio Mobilità Sostenibile e Trasporti - Dipartimento tecnologie energetiche e fonti rinnovabili - ENEA*

**Il settore dei trasporti è oggi chiamato ad affrontare sfide senza precedenti legate a obiettivi strategici globali come la sostenibilità e la neutralità climatica, sfruttando le nuove opportunità offerte dai continui progressi tecnologici della Smart Mobility e delle energie rinnovabili.**

**Attualmente, il settore dei trasporti è uno dei principali responsabili delle emissioni di gas serra in Europa, contribuendo per circa un quarto del totale.** A differenza di altri settori chiave, come la produzione elettrica e l'industria, che hanno ridotto il loro impatto climatico dal 1990 ad oggi grazie all'incremento delle energie rinnovabili e all'efficienza energetica, le emissioni del settore trasporti continuano a crescere, sebbene a un ritmo più contenuto negli ultimi anni. Questa tendenza è principalmente attribuibile alla forte dipendenza dai combustibili fossili, che coprono circa il 94% dell'energia consumata, e all'aumento costante del traffico su

strada, marittimo e aereo.

Ogni modalità di trasporto contribuisce in modo differente al totale delle emissioni di gas serra. In Europa, il settore del trasporto su strada, che comprende veicoli a due ruote, automobili, furgoni, camion e autobus, è responsabile di circa il 95% delle emissioni totali al punto d'uso, escludendo quelle provenienti dai bunkeraggi internazionali del trasporto marittimo e aereo. Le automobili contribuiscono approssimativamente al 60% delle emissioni complessive del trasporto su strada.

## L'impatto delle varie modalità di trasporto in Italia

**In Italia, l'impatto del trasporto su strada sulle emissioni del settore raggiunge invece il 92%, per effetto di una maggiore incidenza del trasporto marittimo.** L'elevata incidenza del trasporto su strada dipende da due fattori concomitanti: una quota modale rilevante ed una limitata efficienza energetica. Nelle aree urbane,

dove risiede circa il 75% della popolazione europea, il trasporto su strada ha anche un impatto negativo importante sulla qualità dell'aria, e quindi sulla salute dei cittadini e sul degrado dell'ambiente.

Il trasporto marittimo nazionale, che copre circa il 5% delle emissioni climalteranti del settore, risulta efficiente per il trasporto di grandi quantità di merci, sebbene contribuisca in modo rilevante all'inquinamento nelle aree portuali.

Il trasporto aereo, che contribuisce per poco più del 2% alle emissioni del settore, è tra le modalità meno sostenibili in termini di emissioni per passeggero-chilometro.

Il trasporto su ferro rappresenta infine la modalità più sostenibile ed efficiente dal punto di vista energetico, responsabile di meno dell'1% delle emissioni climalteranti, grazie all'alto livello di elettrificazione raggiunto e al crescente impiego di fonti rinnovabili per alimentare la rete.

## Obiettivi e misure per la neutralità climatica dei trasporti

Il raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica nel settore dei trasporti richiede una profonda riorganizzazione dei modelli attuali di mobilità di persone e merci. Questo obiettivo è realizzabile attraverso l'implementazione di misure volte a ridurre il fabbisogno di mobilità (misure "avoid") e a migliorare l'efficienza degli spostamenti incoraggiando l'uso di modalità di trasporto a zero o basse emissioni di CO<sub>2</sub> (misure "shift"); inoltre è altrettanto importante una progressiva sostituzione dei carburanti fossili con vettori energetici provenienti da fonti a basso impatto climatico, fino a raggiungere una completa indipendenza dal petrolio (misure "improve"), Figura 1.

**Nell'ambito delle azioni previste dal Green Deal europeo, l'Unione ha tracciato un percorso per ridurre in modo significativo l'impatto climatico e il degrado ambientale causato dal settore dei trasporti, puntando a una diminuzione delle emissioni climalteranti del 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990 e a un taglio complessivo del 90% entro il 2050.**

**Questo percorso di decarbonizzazione include il trasferimento di almeno il 30% del trasporto merci stradale di lunga percorrenza su rotaia o vie navigabili entro il 2030, percentuale destinata a salire al 50% entro il 2050. Questa transizione richiederà importanti investimenti infrastrutturali e una rilevante riorganizzazione della logistica per favorire una migliore integrazione tra trasporto su strada, nave e rotaia. Sarà fondamentale potenziare la capacità dell'infrastruttura ferroviaria, per facilitare un utilizzo più esteso del trasporto ferroviario, sia per il movimento delle merci sia per il trasporto passeggeri.**

Per incentivare il passaggio a veicoli a zero o basse emissioni, l'UE ha in-

trodotto normative sempre più stringenti sulle emissioni medie di CO<sub>2</sub> del venduto auto, furgoni e veicoli pesanti, incoraggiando così l'offerta di motorizzazioni full-electric e ibride plug-in. Questi veicoli rappresentano oggi la soluzione tecnologica più idonea alla decarbonizzazione del trasporto privato di persone, della distribuzione delle merci e del trasporto pubblico su gomma.

Per le brevi e medie distanze, dove l'autonomia dei veicoli non rappresenta un vincolo stringente, l'alimentazione a batteria è l'opzione privilegiata, stante l'elevata efficienza energetica del powertrain veicolare e le limitate perdite della distribuzione dell'energia elettrica da rete e della ricarica delle batterie. Puntando ad una produzione di elettricità da fonti rinnovabili, ciò si traduce in un contenimento degli investimenti necessari per garantire un'offerta energetica adeguata alla domanda.

### Le prospettive dell'idrogeno verde

**Per le lunghe distanze, invece, l'impiego dell'idrogeno verde è una soluzione promettente, grazie alla sua elevata densità energetica. Questo è tipicamente il caso dei trasporti pesanti (su strada, aerei e per vie navigabili).**

Nelle aree portuali e aeroportuali si punta allo sviluppo di infrastrutture innovative per generare e stoccare idrogeno verde in loco per rifornire navi, aerei e mezzi di movimentazione di persone e merci. Inoltre, sono diversi i porti europei che hanno già intrapreso la strada dell'elettificazione delle banchine per alimentare i motori ausiliari e ridurre le emissioni climalteranti e l'inquinamento locale delle navi attraccate.

Per le linee ferroviarie non adatte ad un'alimentazione attraverso catenaria, in sostituzione dei treni a gasolio l'industria sta proponendo sia solu-

zioni ad idrogeno che a batteria.

L'UE sostiene inoltre la ricerca e sviluppo di carburanti alternativi a quelli di origine fossile, come biocarburanti avanzati e carburanti sintetici, che rappresentano possibili opzioni per il trasporto aereo e marittimo specialmente nella fase di transizione verso i motori elettrici.

Parallelamente, l'Europa impone lo sviluppo di un'adeguata ed evoluta infrastruttura di rifornimento dei nuovi vettori energetici del trasporto.

**Un percorso fondamentale per raggiungere la neutralità carbonica del settore dei trasporti è la transizione verso una mobilità intelligente e sostenibile. Sistemi avanzati di gestione del traffico, piattaforme digitali per la mobilità condivisa e soluzioni di mobilità integrata/multimodale consentiranno di ridurre le percorrenze, il numero di veicoli su strada e le conseguenti emissioni. Servizi come car sharing e bike sharing, insieme al trasporto pubblico, ridurranno l'uso dell'auto privata e il traffico veicolare urbano. Anche l'integrazione di tecnologie IoT e intelligenza artificiale nei trasporti merci e nella logistica permetterà di ottimizzare le rotte e migliorare l'efficienza, con effetti positivi sulla riduzione delle emissioni di gas serra.**

**Accanto alle politiche e alle infrastrutture, sarà fondamentale sensibilizzare i cittadini sulla necessità di ridurre l'uso dell'auto privata e di adottare soluzioni di trasporto più sostenibili e a ridotta impronta carbonica.** Anche le aziende hanno un ruolo importante, incentivando tra i dipendenti l'uso di mezzi di trasporto collettivi aziendali e/o pubblici e/o la condivisione e la decarbonizzazione dei mezzi di trasporto attraverso il car pooling e l'uso biciclette per i tragitti casa-lavoro.

## Il contributo dell'ENEA alla neutralità climatica dei trasporti

Nei prossimi anni, il settore dei trasporti dovrà affrontare una profonda trasformazione tecnologica per conformarsi agli obiettivi climatici fissati dall'UE. Questa trasformazione non si limiterà alla diffusione di veicoli più efficienti e vettori energetici decarbonizzati, ma comprenderà anche lo **sviluppo di infrastrutture di ricarica e rifornimento** strettamente integrate con le emergenti filiere di generazione e distribuzione di energie rinnovabili. L'evoluzione dei trasporti e della mobilità sarà inoltre accompagnata dalle innovazioni digitali e dell'automazione in ambito smart mobility, per gestire in modo più efficiente la domanda di mobilità e ottimizzare il trasporto di passeggeri e merci in un'ottica più sostenibile ed ecologica.

**Il Laboratorio Mobilità Sostenibile e Trasporti (MOST) di ENEA copre diversi campi della ricerca ancora necessaria per fornire soluzioni tecnologiche e strumenti di analisi e valutazione in linea con le sfide in atto.** In particolare, il Laboratorio realizza misure emissive ed energetiche, su strada ed al banco, relative a sistemi di propulsione per veicoli ibridi, elettrici, alimentati mediante biocarburanti e carburanti sintetici e valuta l'uso dell'idrogeno (puro o in miscela, in motori a combustione interna o in celle a combustibile) nei trasporti. Batterie e stack di celle a combustibile commerciali sono sottoposti a test di funzionamento, anche in condizioni di abuso, per verificarne le prestazioni, la durabilità e il livello di sicurezza.

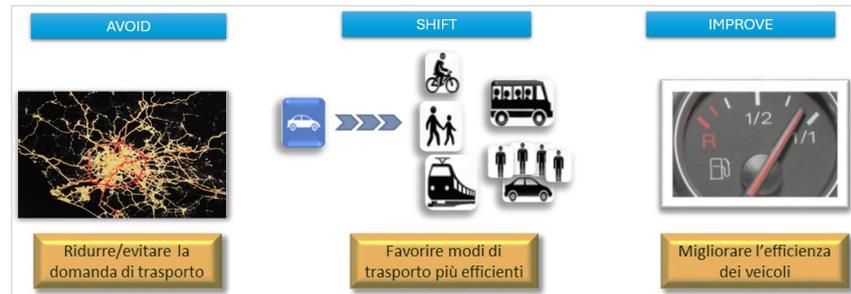


Figura 1: Punti d'intervento per mitigare le emissioni del trasporto. Fonte: elaborazione ENEA

Per le batterie, è stata sviluppata e brevettata una metodologia per la verifica dello "Stato di Salute" delle singole celle e valutarne la possibilità di riuso in "second life".

Per la parte di sviluppo di nuove tecnologie, il Laboratorio si è recentemente focalizzato su prototipi per la ricarica dei veicoli a batteria, autovetture e autobus, proponendo soluzioni innovative per l'accumulo energetico di terra e di bordo nella ricarica ad alta potenza, con l'impiego di volani e supercondensatori. Inoltre, ha sviluppato soluzioni per la ricarica wireless statica e dinamica e dispositivi per l'integrazione dei veicoli con le reti elettriche (vehicle-to-grid, vehicle-to-home).

Attualmente sta collaborando allo sviluppo di un sistema di trasporto collettivo a chiamata, alimentato elettricamente e in grado di aggregare le singole unità veicolari tramite platooning in caso di sovrapposizione dei percorsi.

Inoltre, il Laboratorio svolge sviluppo di modelli, diagnostica e soluzioni tecnologiche per celle a combustibile nel trasporto pesante, applicazioni off-road e logistiche e sta potenziando

do i propri impianti di ricerca per il test di sistemi di propulsione di veicoli innovativi di piccola e grande taglia ad alimentazione ibrida, elettrica a batterie o celle a combustibile, biocarburanti e carburanti sintetici.

Parallelamente a questa attività sperimentale, il Laboratorio si dedica alla realizzazione di software di supporto a strategie locali (specialmente in ambito urbano) volte a contenere il fabbisogno di mobilità, incrementare le quote modali dei trasporti meno energivori e favorire l'uso di veicoli "green". In tale ambito, sta mettendo a punto modelli di analisi del comportamento della mobilità individuale e collettiva a partire da big e open data e per la pianificazione territoriale di dettaglio dell'infrastruttura di ricarica, in funzione di scenari di progressiva penetrazione dei veicoli a batteria nel parco circolante.

**Infine, il Laboratorio MOST svolge analisi di impatto energetico, ambientale ed economico delle politiche per la sostenibilità e la decarbonizzazione dei trasporti, estese all'intero ciclo dei vettori energetici "dalla fonte alla ruota".**

per info: [francesco.vellucci@enea.it](mailto:francesco.vellucci@enea.it)