

Studio RIE per unem

10 dicembre 2020





La metodologia e l'analisi AMC

Lo studio RIE

Lo studio è finalizzato a raccogliere e rielaborare i contenuti discussi durante i Workshop del Gruppo Strategico “**Carburanti Alternativi ed Energie per la Mobilità**” organizzati nel corso del 2019, arrivando a delineare i possibili scenari 2030 e 2050 relativamente ai seguenti segmenti:

- Trasporto marittimo
- Trasporto aereo
- Trasporto stradale leggero
- Trasporto stradale pesante merci
- Trasporto stradale TPL

Per ogni settore l’analisi è stata così articolata:

- Inquadramento generale, tenendo conto del perimetro geografico di riferimento (mondiale per trasporto marittimo e aereo, italiano per il trasporto stradale sia pesante che leggero)
- Analisi delle possibili alternative energetiche (fuel/vettori ma anche powertrain) che potranno avere un ruolo nel trentennio 2020-2050 al fine di valutarne in modo comparato potenzialità e limiti attraverso un **approccio multi-criteri (ACM)**.
- La matrice multi-criteri permette di confrontare, in base ai possibili fattori che influenzano la scelta, le **diverse opzioni considerate** secondo il metodo ELECTRE II.
- Analisi di sensitività rispetto ai risultati base dell’AMC per esplorare scenari alternativi a quello base
 - Indicazioni di policy conseguenti

L'analisi multi-criteri

La comparazione tra le diverse alternative è stata effettuata tenendo conto di diversi **criteri**, individuati tenendo conto delle particolarità del settore e con l'intento di comprendere **diverse macro-dimensioni di valutazione**:

- Sociale-lavorativa
- Economica
- Energetica
- Ambientale
- Sicurezza e disponibilità energetica
- Personale (solo nel trasporto stradale)

In sostanza, i criteri rappresentano un sistema di obiettivi, rispetto ai quali le diverse opzioni energetiche/di alimentazione vengono confrontate.

Un'analisi «multi-criteri» si sostanzia quindi in una matrice (matrice di decisione) le cui righe sono relative alle diverse alternative in esame e le cui colonne sono riferite ai diversi criteri di giudizio definiti in relazione ai diversi obiettivi (sistema degli obiettivi) fissati dal decisore.

Le stime assegnate a ciascun criterio per ogni alternativa considerata sono l'esito combinato di una **ricerca di tipo *desk***, consistente nella disamina della principale letteratura internazionale e delle statistiche/proiezioni più autorevoli, nonché di un **approccio di tipo *field***, basato su informazioni desunte da contatti diretti con i principali *stakeholder*. Per individuare la documentazione più significativa e gli interlocutori più adeguati alla scopo, si è fatto primario riferimento agli attori istituzionali e aziendali che hanno partecipato al Workshop organizzati dal **Gruppo Strategico “Carburanti ed Energie Alternative”**

La matrice di decisione

DIMENSIONE SOCIO-ECONOMICO-LAVORATIVA					DIMENSIONE ECONOMICA						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Economia di scala associata alla produzione del combustibile o vettore energetico	Economia di scala associata tipo di autoveicolo con relativo powertrain (inerzia del mercato)	Indipendenza energetica e produttiva riferita alla filiera delle componenti (batterie, altro) per combustibile o vettore energetico	Tasso di ammortamento degli impianti di produzione del combustibile o vettore energetico	Decarbonizzazione filiera	Quantità veicoli attuale in Italia	Costo di produzione del carburante/vettore e energetico (Capex)	Investimento medio veicolo	Costo esercizio	Investimenti di rete per dotazione rifornimento o ricarica	Contratti per impianti elettrici	Costo operativo (in esercizio) del vettore energetico

Alternative stradale leggero

MCI (motore evoluti, da Euro VI in avanti) – benzina/gasolio (miscela con quote bio)

MCI – CNG (miscela con quote di biometano)

MCI – Biodiesel (incluso HVO) / bioetanolo (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)

MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)

MCI – GPL (eventuale miscela con bio-GPL)

MCI - e-fuels

HEV serie/parallelo (trazione mista con motore elettrico e MCI) – **benzina/gasolio (miscela con quote bio)**

PHEV (trazione mista con motore elettrico e MCI) - **benzina/gasolio (miscela con quote bio)**

Battery Electric Vehicle (BEV)

Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

Alternative stradale merci

MCI (motore diesel di ultima generazione, da Euro VI in avanti) – gasolio (miscela con quote bio)

MCI – CNG (miscela con quote di biometano)

MCI – GNL (con quota bio)

MCI – Biodiesel/HVO (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)

MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)

MCI - e-fuels

HEV serie (trazione mista con motore elettrico e MCI) – **gasolio** (miscela con quote bio)

BEV con ricarica plug-in o induttiva

BEV con linee elettriche su autostrade/CWD

Trazione elettrica con Fuel Cell a idrogeno

La matrice di decisione

DIMENSIONE ENERGETICA										DIM. AMBIENTALE		DIMENSIONE PERSONALE			DIM. SICUREZZA
13	14	15	16	17	18	19	20	21	23	24	25	26	27	28	29
Rendimento motore	Well to tank	Autonomia energetica	Incidenza massa vettore energetico	Semplicità e veicoli per SOC/ricaricamento/ricarica/dotazione impiantistica depositi	Densità energetica [Wh/kg]	Energia necessaria per utilizzo veicolo nel suo complesso (riscaldamento e	Impegno energetico per dotazione infrastrutturale totale (impianti, CWD)	Disponibilità di rete estesa (extra-urbana)	Impatto energetico sulla rete elettrica	CO2 locale (tank to wheel) (valori di CO2 provenienti da componente fossile)	CO2 di filiera (well to tank) (valori di CO2 provenienti da componente fossile)	Impiego tipico condizionato	Necessità ritorno sistematico in deposito	Libertà programmazione servizio [valori alti premianti]	Disponibilità del combustibile/vettore energetico nel processo produttivo (con approvvigionamento)

Alternative stradale TPL

MCI (motore diesel di ultima generazione, da Euro VI in avanti) – gasolio (miscela con quote bio)

MCI – CNG (miscela con quote di biometano)

MCI – GNL (con quota bio contenuta)

MCI – Biodiesel/HVO (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)

MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)

MCI - e-fuel

HEV serie (trazione mista con motore elettrico e MCI) – gasolio (miscele con quote bio)

Filobus/BEV opportunity charge (urbano)/ BEV con linee elettriche su autostrade/Charge While Driving (Extra-urbano)

BEV con ricarica plug-in o induttiva (eventuale biberonaggio)

Trazione elettrica con Fuel Cell a idrogeno

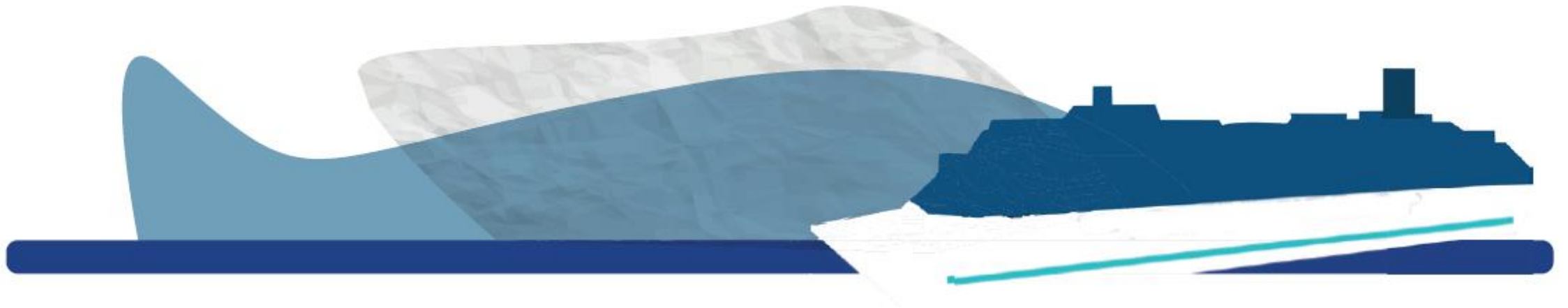
*Nella matrice **stradale leggero** la dimensione «personale» contiene solo due criteri:*

- **Comodità di impiego del mezzo negli spostamenti abituali**
- **Libertà di movimento e dalla programmazione quotidiana (libertà di spostamento nel territorio e nel tempo)**

Gli esiti dell'AMC: surclassamento e sensitività

- ❖ L'analisi AMC attraverso le due matrici (2030 e 2050) opportunamente lavorate restituisce una sorta di **gerarchia** sulla prevalenza di una alternativa energetica rispetto ad un'altra.
- ❖ L'esito di una AMC è quindi una relazione di surclassamento e una volta costruite tali relazioni è possibile procedere all'**ordinamento delle diverse opzioni**.
- ❖ L'ordinamento base è quello che meglio soddisfa i criteri individuati con i pesi base ad essi attribuiti.
- ❖ Per testare la solidità dei risultati e quindi dell'ordinamento ottenuto sono state fatte analisi di sensitività che permettono di comprendere se variando il peso assegnato ad un criterio o variando la valutazione attribuita ad un dato criterio l'ordine delle diverse opzioni si mantiene uguale o si modifica all'orizzonte considerato.

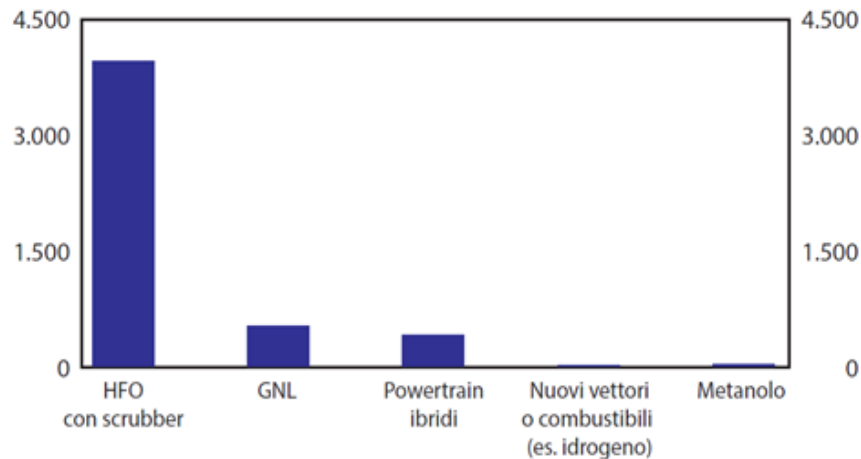
Di seguito si espongono sinteticamente gli esiti dell'AMC per ciascuno dei segmenti analizzati.



Le risultanze del trasporto marittimo

Il trasporto marittimo: gli esiti al 2030

Naviglio attuale: le alimentazioni alternative al *fuel* a basso tenore di zolfo (unità)



Nota: la figura riporta il dimensionamento della flotta esistente in base al combustibile, al vettore energetico impiegati e dotazione di sistema post-combustione di controllo dei fumi.

Fonte: DNV GL AFI 2020.

Ordine di surclassamento delle alternative al 2030 con la batteria di pesi base

Ordine di surclassamento delle alternative al 2030 con la batteria di pesi base	
1	Combustibili petroliferi con tenore di zolfo $\leq 0,5\%$ – Motori a combustione interna (MCI) tradizionali
2	Olio combustibile pesante (HFO) con tenore di zolfo $3,5\%$ e <i>scrubber</i> – MCI tradizionali
3	GNL – MCI con alimentazione per GNL
4	<i>Powertrain</i> ibridi – Combustibili petroliferi con tenore di zolfo $\leq 0,5\%$ con motore elettrico e batteria accoppiati ad un MCI (ambiti specifici)
5	Metanolo – MCI con alimentazione per metanolo
6	Nuovi combustibili (e-fuels) o vettori energetici (prevalentemente ammoniacale tradizionale ed e-ammoniacale) – MCI o <i>fuel cell</i> con ibridizzazione elettrica dove utile

Al 2030, il *fuel mix* del settore risulta sostanzialmente predeterminato, in quanto strettamente connesso all'attuale consistenza del naviglio, alla possibilità di sfruttare impianti, dotazioni tecnologiche e competenze consolidate, nonché all'esistenza di una rete infrastrutturale di produzione e distribuzione ampia e commisurata alla domanda.

Il trasporto marittimo: gli esiti al 2050

In un orizzonte di più lungo periodo quale il 2050 possono emergere opzioni alternative interessanti in grado di surclassare il combustibile petrolifero.

Ordine di surclassamento delle alternative al 2050 con la batteria di pesi base		
1	Nuovi combustibili (e-fuels) o vettori energetici (prevalentemente ammoniaca, tradizionale ed e-ammoniaca)	Combustibili petroliferi con tenore di zolfo $\leq 0,5\%$ – Motori a combustione interna (MCI) tradizionali eventualmente con scrubber – MCI o <i>fuel cell</i> con ibridizzazione elettrica dove utile
2	<i>Powertrain</i> ibridi – Combustibili petroliferi con tenore di zolfo $\leq 0,5\%$ con motore elettrico e batteria accoppiati ad un MCI (ambiti specifici)	
3	GNL – MCI con alimentazione per GNL	
4	Metanolo – MCI con alimentazione per metanolo	

Una spinta normativa forte e stabile verso ambiziosi obiettivi di riduzione delle emissioni, sia locali sia climalteranti, può incidere in misura importante sull'orientamento dell'industria navale verso **soluzioni *low carbon*, quali l'ammoniaca, l'e-ammoniaca e gli e-fuels.**

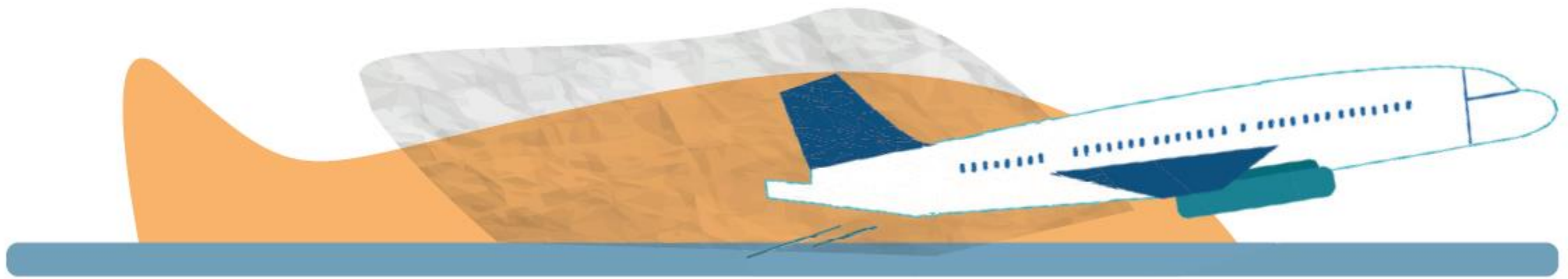
Principali conclusioni

Il futuro dell'industria navale in termini di tecnologie di propulsione sarà un futuro in cui **la flessibilità e l'accompagnamento contestuale verso una o poche nuove soluzioni stabili** – così come lo è stato il petrolio per oltre un secolo - **sarà premiante.**

Puntare subito su un'unica tecnologia alternativa ai derivati del petrolio non è sostenibile dal punto di vista economico ed energetico (disponibilità).

Accompagnare la transizione verso nuovi vettori iniziando ad investire sin dal decennio in corso nelle infrastrutture e nella produzione di nuovi combustibili/vettori energetici (specie utilizzando elettricità da fonti rinnovabili), sembra invece essere la scelta preferibile.

Sicuramente, la netta predominanza dei combustibili petroliferi ravvisabile oggi e confermata dall'AMC anche all'orizzonte 2030 non trova supporto in un orizzonte di più lungo periodo, caratterizzato dalla necessaria **coesistenza di più soluzioni tecnologiche, per lo più rivolte a rispondere a vincoli ambientali sempre più stringenti.**



Le risultanze del trasporto aereo

Il trasporto aereo: gli esiti al 2030

Il punto di partenza vede il dominio pressoché assoluto del jet fuel, data l'assenza di alimentazioni alternative competitive sinora impiegabili su scala commerciale.

In un orizzonte quale il 2030 - anche considerando la difficile ripresa di un settore fortemente colpito dalla pandemia da Covid- 19 - **non sembrano emergere leve attivabili per modificare sensibilmente il ruolo del jet fuel nel trasporto aereo**, sostenuto da una combinazione di criteri che lo rendono preferibile alle altre opzioni: possibilità di sfruttare tecnologie e competenze consolidate da decenni, presenza di un'infrastruttura di approvvigionamento e distribuzione diffusa su scala mondiale, lento ricambio – specie in termini progettuali – della flotta aerea.

Ordine di surclassamento delle alternative al 2030 con la batteria di pesi base

	2030 Batteria di pesi base
1	Jet fuel (jet cherosene/benzina avio) – motori a reazione o a getto (tipicamente a turbina: turbofan e turboeliche) o motori a pistoni (nel caso di benzina avio e per piccoli velivoli)
2	SAF di tipo HVO/HEFA (in miscela con jet fuel) – motori a reazione o a getto (tipicamente a turbina: turbofan e turboeliche) o motori a pistoni (nel caso di benzina avio)
3	Powertrain ibridi -Jet fuel (jet cherosene/benzina avio) con motore elettrico e batteria accoppiati a motori a turbina
4	SAF diversi da HVO/HEFA (in miscela con jet fuel) – motori a reazione o a getto (tipicamente a turbina: turbofan e turboeliche) o motori a pistoni (nel caso di benzina avio)
5	Idrogeno – fuel cell (o eventualmente motore a turbina) che alimentano motore elettrico

Tutti elementi che, rispetto alle alternative esaminate, conferiscono a questa opzione vantaggi di costo, di disponibilità, di affidabilità e di sicurezza che si manterranno lungo il decennio in corso.

Il trasporto aereo: gli esiti al 2050

Al 2050, il settore potrebbe essere pronto ad accogliere tecnologie “rivoluzionarie” in termini di propulsione/alimentazione dei velivoli, profondamente diverse da quelle esistenti. Sembrano invece non emergere come preferibili le opzioni più disruptive, come i velivoli a idrogeno.

2050	Batteria di pesi base
1	Powertrain ibridi - Jet fuel (jet cherosene/benzina avio) con motore elettrico e batteria accoppiati a motori a turbina
2	Jet fuel (jet cherosene/benzina avio) – motori a reazione o a getto (tipicamente a turbina: turbofan e turboeliche) o motori a pistoni (nel caso di benzina avio e per piccoli velivoli)
3	SAF diversi da HVO/HEFA (in miscela con jet fuel) – motori a reazione o a getto (tipicamente a turbina: turbofan e turboeliche) o motori a pistoni (nel caso di benzina avio)
4	SAF di tipo HVO/HEFA (in miscela con jet fuel) – motori a reazione o a getto (tipicamente a turbina: turbofan e turboeliche) o motori a pistoni (nel caso di benzina avio)
5	Idrogeno – fuel cell (eventualmente motore a turbina) che alimentano motore elettrico

- L'AMC evidenzia un possibile mix di soluzioni - i SAF oggi più sperimentali (ad esempio gli e-fuels), il jet fuel fossile e i powertrain ibridi (per il mercato regionale) - e la presenza di diverse leve attivabili per orientare la scelta tra le stesse.

Principali conclusioni

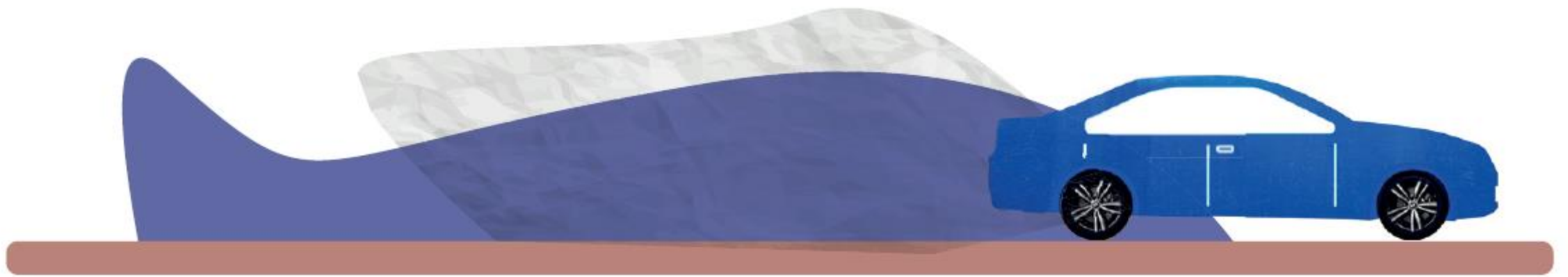
La dipendenza dal jet fuel tradizionale non viene meno ma una sua riduzione è prevedibile, soprattutto dietro il verificarsi di determinate condizioni.

Al 2030, il cambiamento rispetto allo status quo potrebbe limitarsi ad una maggiore penetrazione dei SAF con processi produttivi più maturi mentre le opzioni più sperimentali e rivoluzionarie – a minor impatto ambientale – rimangono in coda, a indicare che in un settore caratterizzato da una forte inerzia è necessario più di un decennio per costruire le relative economie di scala e testarne l'applicazione su scala commerciale.

Al 2050, invece, pur con le rigidità che caratterizzano il segmento aereo – l'analisi evidenzia un possibile mix di soluzioni e la presenza di diverse leve attivabili per orientare la scelta tra le stesse.

I SAF oggi solo sperimentali (ad esempio gli e-fuels), il jet fuel fossile (solo motori a turbina) e i *powertrain* ibridi (per il mercato regionale) si propongono come le alternative migliori alternando la loro preferibilità dietro assunzioni specifiche.

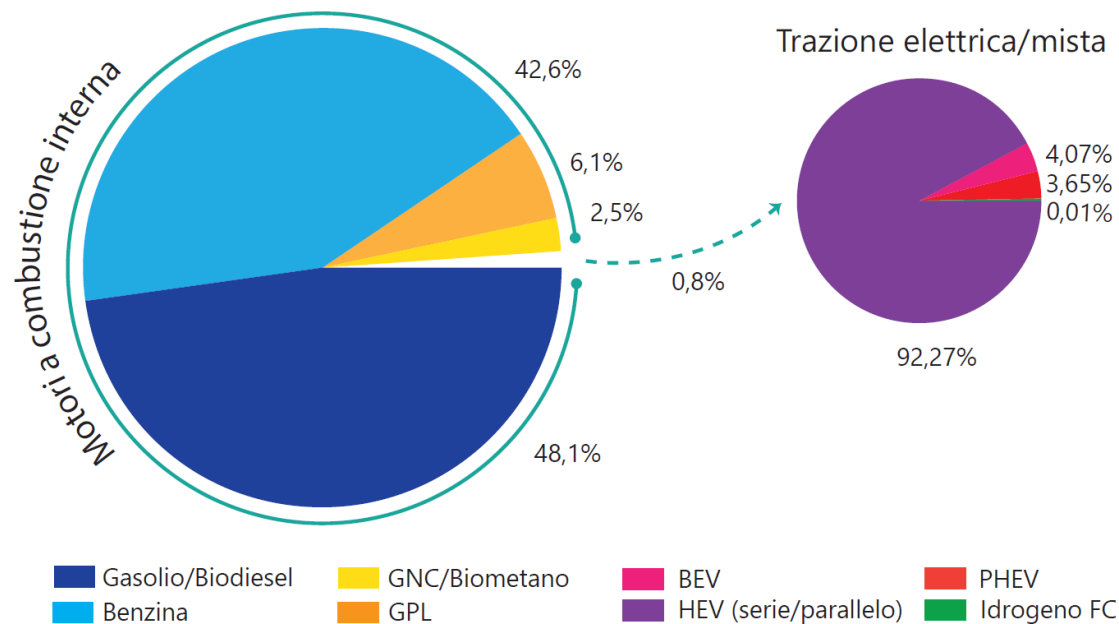
La leva ambientale e quella economica legata ai costi di produzione dei carburanti risultano quindi di particolare importanza nella valutazione del set di alternative che caratterizzeranno il settore nel lungo periodo.



→ **Le risultanze del trasporto stradale**

Il trasporto leggero – gli esiti al 2030

Il punto di partenza



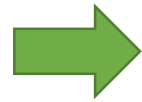
Fonte: elaborazione RIE dati ACI al 31 dicembre 2019.

La situazione riflette **l'inerzia relativa all'introduzione di un sistema nuovo** (economie di scala, competenze, costi) che ha anche limiti fisici (autonomia energetica, incidenza massa/vettore energetico, impegno energetico per dotazione infrastrutturale, le disponibilità di rete di ricarica) e funzionali (libertà di impiego), pur presentando vantaggi evidenti in termini di decarbonizzazione, laddove l'elettricità venga prodotta a partire da energie rinnovabili.

2030	Stradale leggero, caso base
1	HEV serie/parallelo (trazione mista con motore elettrico e MCI) – benzina/gasolio (miscele con quote bio)
2	MCI (motore evoluti, da Euro VI in avanti) – benzina/gasolio (miscele con quote bio)
3	MCI – Biodiesel (incluso HVO) / bioetanolo (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)
4	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)
5	PHEV (trazione mista con motore elettrico e MCI) – benzina/gasolio (miscele con quote bio)
6	[MCI con e-fuel]
7	MCI – CNG (miscele con quote di biometano)
8	MCI – GPL (eventuale miscela con bio-GPL)
9	BEV
10	FCEV

Il trasporto leggero – sensitività al 2030

2030	Stradale leggero, sens. PHEV
1	HEV serie/parallelo (trazione mista con motore elettrico e MCI) – benzina/gasolio (miscele con quote bio)
2	MCI (motore evoluti, da Euro VI in avanti) – benzina/gasolio (miscela con quote bio)
3	PHEV (trazione mista con motore elettrico e MCI) - benzina/gasolio (miscele con quote bio)
4	MCI – Biodiesel (incluso HVO) / bioetanolo (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)
5	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)
6	[MCI con e-fuel]
7	MCI – CNG (miscela con quote di biometano)
8	MCI – GPL (eventuale miscela con bio-GPL)
9	BEV
10	FCEV



Sensitività PHEV: i criteri economici e infrastrutturali si sono rivelati centrali nel modificarne il posizionamento.

- Riduzione del prezzo del veicolo - allineandolo a quello di un'equiparabile autovettura tradizionale (ad esempio per la presenza di incentivi),
 - invarianza dei contratti (inclusa la potenza installata) per la fornitura elettrica domestica rispetto a quelli preesistenti all'acquisto del veicolo,
 - realizzazione di investimenti in impianti di ricarica (principalmente in ambito urbano dove sono in parte già presenti) tali da rendere la rete adeguata,
- fanno sì che i PHEV rafforzino la loro preferibilità rispetto al caso base.

Il trasporto leggero – gli esiti al 2050 e principali sensitività

2050	Stradale leggero, caso base	
1	HEV serie/parallelo (trazione mista con motore elettrico e MCI) – carburanti <i>low carbon</i>	
2	PHEV (trazione mista con motore elettrico e MCI) - carburanti <i>low carbon</i>	
3	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%);	[MCI – CNG (miscela con quote di biometano)];
4	MCI – Biodiesel (incluso HVO) / bioetanolo (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)	
5	MCI - e-fuel	
6	[MCI (motore evoluti, da Euro VI in avanti) – benzina/gasolio (miscela con quote bio)]	
7	[MCI – GPL (eventuale miscela con bio-GPL)]	
8	BEV	
9	FCEV	



L'esito base restituisce un quadro in cui l'elettrificazione diffusa sembra preferibile rispetto alle alternative e in cui si conferma il ruolo centrale del motore termico.

2050	Stradale leggero, sensitività BEV	
1	PHEV (trazione mista con motore elettrico e MCI) - carburanti <i>low carbon</i>	
2	BEV	
3	HEV serie/parallelo (trazione mista con motore elettrico e MCI) – carburanti <i>low carbon</i>	
4	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%);	
5	MCI – Biodiesel (incluso HVO) / bioetanolo (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)	[MCI – CNG (miscela con quote di biometano)]
6	MCI - e-fuel	
7	[MCI (motore evoluti, da Euro VI in avanti) – benzina/gasolio (miscela con quote bio)]	
8	[MCI – GPL (eventuale miscela con bio-GPL)]	
9	FCEV	



Sensitività BEV: le leve su cui si è inteso agire sono ancora una volta quelle economiche, infrastrutturali e legate al consolidamento di una filiera nazionale di produzione delle batterie.

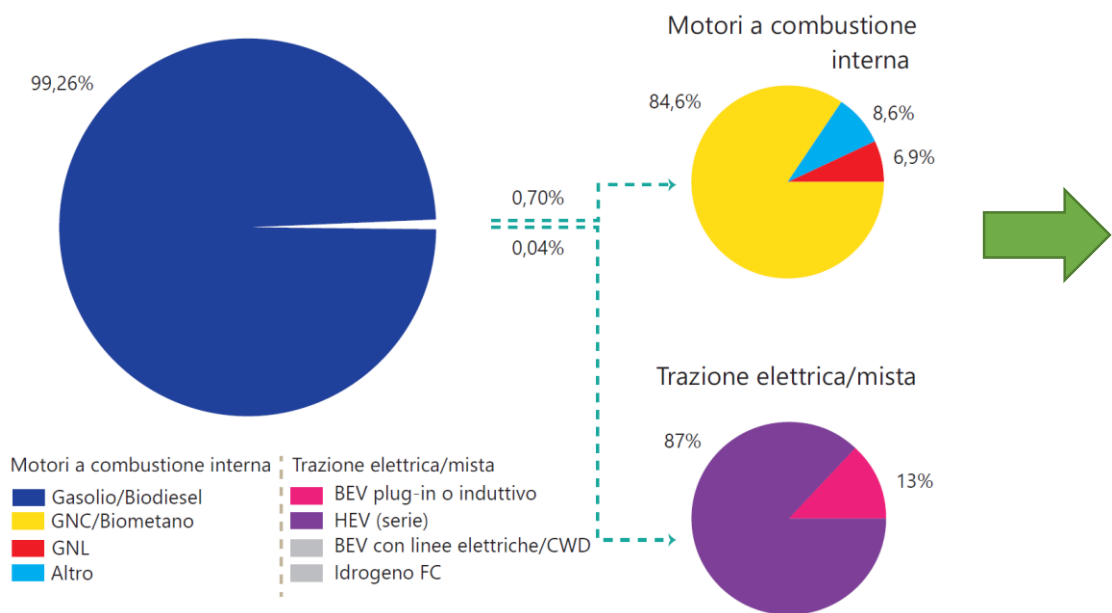
Conclusioni sul trasporto leggero

Gli esiti al 2030 e al 2050 portano a evidenziare:

- **la preferibilità per un'elettrificazione diffusa** – rappresentata dai veicoli ibridi e plug-in – rispetto alla trazione elettrica pura
- **Il ruolo ancora centrale dei motori a combustioni interna**, progressivamente alimentati da fonti sempre meno fossili e potenzialmente a zero emissioni (e-fuel, biocarburanti avanzati, tra cui biometano)
- **l'importanza di un intervento deciso e congiunto su diverse leve** – economiche, infrastrutturali, di filiera – **per posizionare i BEV tra le opzioni preferibili**
- risulta evidente **l'inerzia relativa all'introduzione di un sistema nuovo** (economie di scala, competenze, costi) che ha anche limiti fisici (autonomia energetica, incidenza massa/vettore energetico, impegno energetico per dotazione infrastrutturale, le disponibilità di rete di ricarica) e funzionali (libertà di impiego), pur presentando vantaggi evidenti in termini di decarbonizzazione, laddove l'elettricità venga prodotta a partire da energie rinnovabili

Il trasporto pesante – gli esiti al 2030

Il punto di partenza



Fonte: elaborazione RIE dati UNRAE al 31 dicembre 2019.

Il 99,3% dell'attuale parco circolante è composto da motori diesel: un dominio quasi assoluto, per quanto in prevedibile riduzione, che sottolinea l'importanza degli sforzi volti a ridurre le emissioni di carbonio, con i costanti miglioramenti di efficienza dei motori a combustione interna e dei veicoli e con il progressivo sviluppo di biocarburanti e carburanti sintetici (biodiesel avanzati, HVO, e-fuels)

L'ordinamento base conferma un ruolo centrale ai MCI e restituisce una posizione di rilievo a un combustibile relativamente nuovo, ma particolarmente idoneo, in questo ambito di applicazione: **il GNL**.

2030	Stradale pesante, caso base		
1	HEV serie (trazione mista con motore elettrico e MCI) – gasolio (miscele con quote bio)		
2	MCI (motore diesel di ultima generazione, da Euro VI in avanti) – gasolio (miscela con quote bio)		
3	MCI – GNL (con quota bio contenuta)		
4	MCI – Biodiesel/HVO (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)		
5	MCI – CNG (miscela con quote di biometano)		
6	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)		
7	[MCI e-fuel]		
8	BEV con linee elettriche su autostrade/CWD	BEV con ricarica plug-in o induttiva	Trazione elettrica con Fuel Cell a idrogeno

Il trasporto pesante – gli esiti al 2050 e principali sensitività

L'AMC al 2050, basata su valutazioni migliorative per diverse alternative, restituisce un **esito base con due raggruppamenti**, all'interno dei quali il modello considera le diverse opzioni ugualmente preferibili rispetto al set di obiettivi espressi dall'AMC

2050	Stradale pesante, caso base				
1	HEV serie (trazione mista con motore elettrico e MCI) – carburanti low carbon	MCI e-fuel	MCI – Biodiesel/HVO (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)	MCI – GNL/bio-GNL (con quota bio preponderante)	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)
2	[MCI – CNG (con quota bio contenuta)]				
3	[MCI (motore diesel di ultima generazione, da Euro VI in avanti) – gasolio (miscela con quote bio)]				
4	BEV con linee elettriche su autostrade/CWD	BEV con ricarica plug-in o induttiva		Trazione elettrica con Fuel Cell a idrogeno	

Ordine di surclassamento delle alternative al 2050 con sensitività «CASO BIO-GNL»

2050	Stradale pesante, caso bio-GNL		
1	MCI – bio-GNL		
2	HEV serie (trazione mista con motore elettrico e MCI) – carburanti low carbon		
3	MCI e-fuel	MCI – Biodiesel/HVO (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)
4	[MCI – CNG (miscela con quote di biometano)]		
5	[MCI (motore diesel di ultima generazione, da Euro VI in avanti) – gasolio (miscela con quote bio)]		
6	BEV con linee elettriche su autostrade/CWD	BEV con ricarica plug-in o induttiva	Trazione elettrica con Fuel Cell a idrogeno

Ordine di surclassamento delle alternative al 2050 con sensitività su idrogeno

2050	Stradale pesante, caso H ₂ +		
1	MCI – GNL/bio-GNL (con quota bio preponderante)	HEV serie (trazione mista con motore elettrico e MCI) – carburanti low carbon	MCI – e-fuel
2	Trazione elettrica con Fuel Cell a idrogeno	MCI – Biodiesel/HVO (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)
3	[MCI – CNG (miscela con quote di biometano)]		
4	[MCI (motore diesel di ultima generazione, da Euro VI in avanti) – gasolio (miscela con quote bio)]		
5	BEV con ricarica plug-in o induttiva		
6	BEV con linee elettriche su autostrade/CWD		

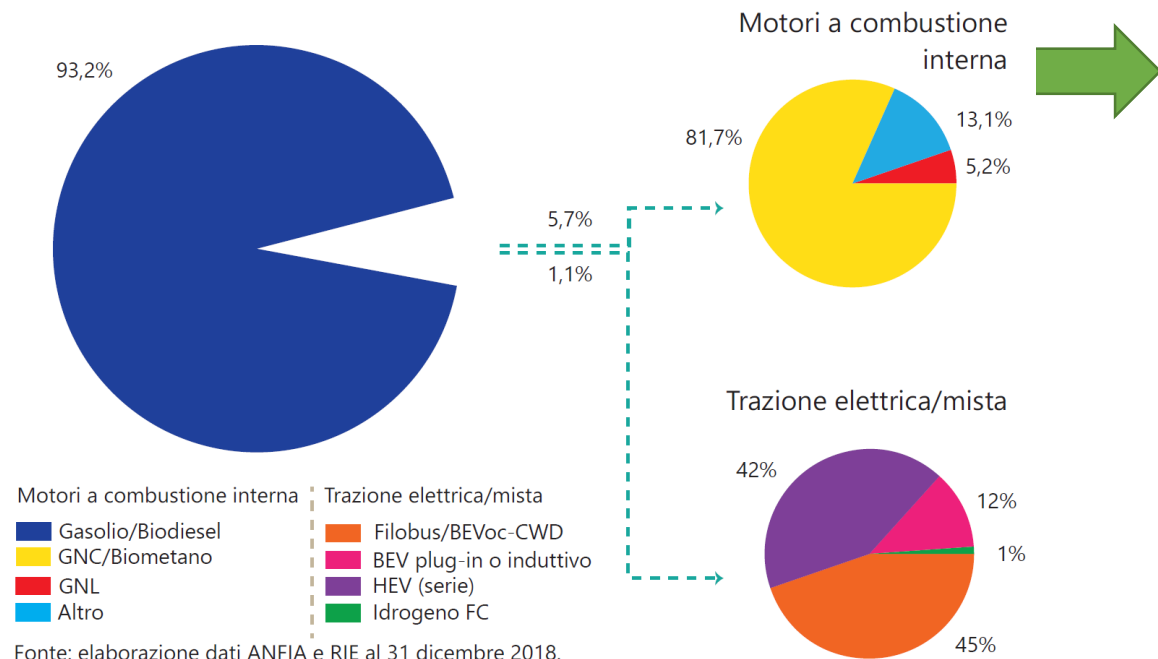
Conclusioni sul trasporto pesante

In conclusione, gli esiti al 2030 e al 2050 portano a confermare i risultati dell'analisi condotta sul segmento del trasporto leggero, con qualche elemento di novità specifico di questo comparto:

- **la preferibilità per un'elettrificazione diffusa** – qui rappresentata dagli HEV in serie– rispetto alla trazione elettrica pura, avendo come riferimento principale i servizi di lunga percorrenza
- **la centralità persistente dei veicoli diesel ad un orizzonte ravvicinato quale è il 2030**, avvantaggiati da consolidate economie di scala, da un'infrastruttura di approvvigionamento, logistica e di distribuzione già completamente sviluppata, da una massima flessibilità di impiego e da elevati rendimenti energetici del motore
- **l'interesse per l'opzione GNL, sia nella sua declinazione fossile (con quota bio contenuta) all'orizzonte 2030 sia nella sua accezione biologica (prevalente o totale) al 2050.**
- **il ruolo centrale dei motori a combustioni interna in entrambi gli orizzonti**, alimentati da fonti sempre meno fossili e potenzialmente a zero emissioni (e-fuel, biocarburanti avanzati)
- **la necessità di attivare diverse leve per far emergere le potenzialità dell'idrogeno**: la creazione di adeguate economie di scala, la riduzione dei costi sia dei mezzi sia del vettore energetico, il miglioramento del rendimento del processo di produzione well to tank, la costruzione di una rete di distribuzione diffusa sono alcune delle pre-condizioni che possono contribuire a ritagliare uno spazio per questa fonte di alimentazione **nel lungo periodo**

Il trasporto pubblico locale (TPL) – gli esiti al 2030 e principale sensitività

Il punto di partenza: parco autobus circolante



- il parco autobus circolante è prevalentemente ad alimentazione diesel, seguito dal GNC in ambito urbano;
- dominio pressoché assoluto del diesel in ambito extra-urbano;
- ancora molto esiguo il numero di mezzi a trazione mista o elettrica (1% circa del circolante nel 2019).

2030	TPL urbano, caso base	2030	TPL extra-urbano, caso base
1	HEV serie (trazione mista con motore elettrico e MCI) –gasolio (miscele con quote bio)	1	HEV serie (trazione mista con motore elettrico e MCI) –gasolio (miscele con quote bio)
2	MCI (motore diesel di ultima generazione, da Euro VI in avanti) – gasolio (miscela con quote bio)	2	MCI (motore diesel di ultima generazione, da Euro VI in avanti) – gasolio (miscela con quote bio)
3	MCI – CNG (miscela con quote biometano)	3	MCI– CNG (miscela con quote biometano)
4	MCI – Biodiesel/HVO (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)	4	MCI – Biodiesel/HVO (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)
5	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)	5	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)
6	Filobus/BEVoc	6	MCI – GNL (con quota bio ridotta)
7	MCI – GNL (con quota bio ridotta)	7	BEV con linee elettriche su autostrade/CWD
8	[MCI e-fuel]	8	[MCI e-fuel]
9	BEV con ricarica plug-in o induttiva (eventuale biberonaggio)	9	BEV con ricarica plug-in o induttiva (eventuale biberonaggio)
10	Trazione elettrica con Fuel Cell a idrogeno	10	Trazione elettrica con Fuel Cell a idrogeno

- Anche nel TPL gli HEV in serie e i veicoli diesel si confermano le opzioni preferibili in un orizzonte di dieci anni

Il trasporto pubblico locale – gli esiti al 2050

- **Preferibilità per l'elettrificazione diffusa,** qui rappresentata da *powertrain* ibridi in serie (HEV) - in cui il motore endotermico alimentato a diesel funge da generatore per il motore elettrico - **sia in ambito urbano che extra-urbano;**
- **Centralità dei MCI,** sia quando impiegato in modo esclusivo sia – preferibilmente- in coppia con un motore elettrico (HEV in serie).

2050	TPL urbano, caso base	2050	TPL extra-urbano, caso base
1	HEV serie – trazione mista con motore elettrico e MCI alimentato con carburanti low carbon	1	HEV serie – trazione mista con motore elettrico e MCI alimentato con carburanti low carbon
2	[MCI – CNG]	2	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)
3	MCI – Biometano (preponderante la quota bio sino al 100%)		
4	MCI - e-fuel	3	MCI - e-fuel
5	MCI – GNL (con quota bio preponderante sino al 100%)	4	MCI – GNL (con quota bio preponderante sino al 100%)
6	MCI – Biodiesel/HVO (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)	5	MCI – Biodiesel/HVO (preponderante la quota bio sino al 100% dove possibile)
7	[MCI motore diesel di ultima generazione – gasolio (miscela con quote bio)]	6	[MCI motore diesel di ultima generazione – gasolio (miscela con quote bio)]
8	Filobus/BEVoc	7	BEV con linee elettriche su autostrade/CWD
9	BEV con ricarica plug-in o induttiva (eventuale biberonaggio)	8	BEV con ricarica plug-in o induttiva (eventuale biberonaggio)
10	Trazione elettrica con Fuel Cell a idrogeno	9	Trazione elettrica con Fuel Cell a idrogeno

Conclusioni sul trasporto pubblico locale

Per il 2030, si evidenzia:

- **il ruolo ancora centrale dei veicoli diesel di ultima generazione, sia in ambito urbano che extra-urbano**, grazie a massima flessibilità di impiego, costi logistici e di impianto contenuti e interamente ammortizzati, economie di scala e di competenza fortemente sviluppate.
- **l'importanza del gas compresso**, con quote bio crescenti, **nei cicli urbani e suburbani**, dove l'autonomia non è condizionante per il profilo di missione.

Per il 2050:

- l'importanza delle **fonti a bassa impronta carbonica (di origine biologica o rinnovabile) che surclassano il gasolio fossile, assumendo che sia una soluzione ancora percorribile.**
- **l'emergere degli e-fuels come tecnologia di interesse:** accoppiati agli HEV in serie si qualificano come l'opzione nettamente preferibile.
- **il ruolo potenziale del GNL**, con crescenti quote bio, in ambito extra-urbano e l'attrattiva che potrebbe presentare **l'opzione 100% bio-GNL**, in grado di surclassare tutte le alternative - anche nei cicli urbani - dietro l'assunto di adeguate disponibilità;

Principali sensitività:

- **Filobus/BEVoc: sia per il 2030 che per il 2050, in ambito urbano**, questa tipologia di veicoli surclassa tutte le altre opzioni solo se si verificano congiuntamente determinate e interdipendenti condizioni: (1) un forte abbattimento dei costi del veicolo e delle batterie e (2) investimenti di rete adeguati e tali da garantire la massima libertà di programmazione del servizio sono pre-condizioni necessarie per il successo di questa opzione.
- **Idrogeno:** agendo congiuntamente su diversi criteri (economici, infrastrutturali e produttivi), si nota un forte miglioramento della sua posizione nell'ordine di preferenze sia in ambito urbano che extra-urbano.

RIE – Ricerche Industriali ed Energetiche

Via Castiglione 25
40124 Bologna

Dott.ssa Lisa Orlandi

lisa.orlandi@rie.it

051-6560016

In collaborazione con

Prof. Ing Bruno Dalla Chiara (PoliTO)

Ing. Andrea Rosa (Studio Andrea Rosa)

