



REGIONE AUTONOMA
FRIULI VENEZIA GIULIA

DIREZIONE CENTRALE INFRASTRUTTURE e TERRITORIO

Servizio trasporto pubblico regionale e locale

PROGRAMMA OPERATIVO DI RINNOVO EVOLUTIVO DEL PARCO MEZZI TPL AUTOMOBILISTICO (PREPM-TPL)

(Legge regionale 29 dicembre 2021, n. 23, art. 5, comma 15 quater)



Il Programma operativo di rinnovo del parco mezzi TPL (PREPM-TPL) è stato redatto con il supporto tecnico-scientifico della Fondazione Bruno Kessler di Trento.

L'attività è stata coordinata dal Servizio trasporto pubblico regionale e locale della Direzione centrale infrastrutture e territorio della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia.

Trieste, marzo 2023.

Sommario

Executive summary	7
1 Introduzione.....	9
2 Strategia	11
2.1 Contesto Europeo	11
2.2 Contesto Italiano.....	12
2.3 Contesto nel Friuli Venezia Giulia	15
3 Idrogeno.....	20
3.1 Gli autobus H2.....	20
3.2 Le stazioni di rifornimento idrogeno per autobus	23
3.3 Parametri caratteristici tecnici stazioni di rifornimento idrogeno per autobus	28
3.4 Parametri caratteristici economici stazioni di rifornimento idrogeno per autobus	30
3.5 Costo di produzione H ₂	31
3.6 Casi esempio di implementazione Hydrogen Valley e TPL a idrogeno (fuel cell)	32
3.6.1 Progetti supportati da FCH JU	32
3.6.2 Progetti di implementazione e pianificazione TPL a idrogeno (fuel cell) in Italia	33
3.6.3 Sinergie tra Hydrogen Valley e TPL a idrogeno (fuel cell) in Europa.....	33
3.7 Autobus a idrogeno. Il contesto FVG-PREPM	37
4 Bus elettrici	41
5 CNG/LNG e biometano	43
5.1 Stazioni di rifornimento LNG e CNG.....	45
5.1.1 Casi studio	47
5.2 Autobus a metano e biometano. Il contesto FVG-PREPM.....	48
6 Retrofit e repowering.....	51
6.1 Repowering: da gasolio a batteria - elettrico.....	52
6.2 Repowering: da gasolio a motore a combustione interna H ₂	54
6.3 Repowering: metano	56
6.4 Repowering e contesto FVG-PREPM.....	57
7 Programma operativo di rinnovo evolutivo del parco mezzi TPL in Friuli-Venezia Giulia	59
7.1 Riferimenti per la definizione del PREPM-TPL	59
7.2 Scenario 1.....	68
7.2.1 Contesto territoriale dell'ex provincia di Udine.....	79
7.2.2 Contesto territoriale dell'ex provincia di Gorizia	87
7.2.3 Contesto territoriale dell'ex provincia di Pordenone	95
7.2.4 Contesto territoriale dell'ex provincia di Trieste	104

7.2.5	Stima risorse e investimenti.....	108
7.2.6	Stima dei fabbisogni energetici correlati allo Scenario 1.....	110
7.2.7	Stima dei costi operativi per carburante correlati allo Scenario 1	111
7.3	Scenario 2.....	114
7.4	Azioni di accompagnamento e indicazioni per l'attuazione degli Scenari 1 e 2	114
8	Ricadute ulteriori	115
8.1	Impatto sulla salute.....	115
8.2	Creazione posti di lavoro	115
9	Appendice	117
9.1	Assunzioni costo carburante	117
9.2	Procedura calcolo emissioni	118
9.3	Assunzioni costo infrastruttura.....	120
	Bibliografia	122

Executive summary

Il presente documento costituisce il Programma operativo di rinnovo evolutivo dei mezzi utilizzati per la realizzazione dei servizi di trasporto pubblico locale automobilistico in Friuli-Venezia Giulia (PREPM-TPL o, di seguito, anche PREPM), previsto all'articolo 5, comma 15 quater, della Legge Regionale n. 23/2021, con la definizione dei relativi scenari di riferimento. La metodologia utilizzata per la definizione del PREPM-TPL riguarda gli obiettivi fissati da norme comunitarie, nazionali e regionali, tenendo conto della necessità di un impiego efficace delle risorse disponibili per l'attuazione della transizione energetica della flotta degli autobus circolanti in Regione, degli obblighi contrattuali che il gestore unico dei servizi TPL gomma (società TPL FVG S.c.ar.l.) è tenuto a rispettare in termini di età media e massima della flotta, e del correlato contesto di previsione di rinnovo ordinario dei mezzi.

Il documento di PREPM oggetto di preliminare condivisione da parte della Giunta regionale con DGR n. 2037 del 29/12/2022, definisce, quindi, due scenari, finalizzati al raggiungimento dei principali obiettivi sia normativi regionali che di strategia nazionale ed europea per la riduzione delle emissioni climalteranti e inquinanti, attraverso l'individuazione e quantificazione in termini di numero di autobus e di relative infrastrutture per l'alimentazione, dei contesti di "mix energetico" ritenuti ottimali. In attuazione di quanto disposto dalla Giunta è stato dato seguito a successive interlocuzioni con il consorzio TPL FVG Scarl, le municipalità e i contesti territoriali coinvolti da servizi urbani, nonché con le direzioni regionali interessate, il documento è stato ulteriormente affinato concretizzandosi nella versione definitiva che definisce nel dettaglio lo Scenario 1 e sviluppa lo Scenario 2 quale contesto di riferimento per ulteriori incrementi di flotta e l'utilizzo di eventuali future risorse che potranno essere rese disponibili dalla programmazione comunitaria, statale e regionale.

In relazione a questi, il PREPM definisce una prospettiva di evoluzione flotta dei mezzi pubblici significativa al fine di raggiungere entro il 2030 l'obiettivo fissato dalla legge regionale n. 23/2021 di sostituzione di almeno metà della componente di flotta diesel, rinnovando quindi con bus ad alimentazione elettrica, idrogeno o CNG/LNG, un numero minimo di 444 mezzi sugli 888 mezzi diesel circolanti al 2021. Tale obiettivo viene raggiunto nello Scenario 1, che centra altresì il raggiungimento dell'obiettivo di abbattimento delle emissioni al 2030 ad oggi fissato dal piano "Fit for 55" pari al 55% rispetto al 1990, valore questo recentemente oggetto di rimodulazione secondo un accordo politico già preso in sede di consiglio e parlamento europeo che lo aggiorna fissando una riduzione delle emissioni al 2030 del 40% sul valore del 2005.

Infine, il PREPM riporta la stima del fabbisogno economico, e delle risorse aggiuntive rispetto quelle già ad oggi disponibili, necessarie per la concretizzazione dello Scenario 1, determinati sulla base dei costi stimati per i mezzi e le relative infrastrutture, declinati sui diversi impegni determinati dagli scenari di rinnovo evolutivo della flotta con mezzi ad alimentazione alternativa. Compongono il quadro economico di riferimento sia i finanziamenti statali oggi disponibili, sia le risorse regionali che si rendono disponibile tenuto conto degli obblighi contrattuali ascritti al gestore dei servizi. Lo Scenario 1 prevede una copertura già assicurata dalle risorse disponibili per la realizzazione del programma proposto. Lo Scenario 2 viene invece proposto come uno scenario di indirizzo, finalizzato all'individuazione di azioni prioritarie di possibile attivazione per l'ulteriore abbattimento delle emissioni di inquinanti e gas climalteranti da parte del parco autobus regionale e l'accelerazione della transizione della flotta autobus verso la neutralità climatica. In tale scenario vengono presentati gli indirizzi perseguibili per una più ambiziosa azione di sostituzione mezzi diesel, sulla base di valutazioni tecniche e tecnologiche, di potenziale presenza di siti produttivi o distributivi di carburante

alternativo, nonché tenuto in considerazione l'effetto volano e di attrattività che un sistema di mobilità pubblica sostenibile ha verso altri settori economici come quello del turismo.

È comunque da rilevare che l'orizzonte temporale del PRPEM, fissato al 2030, porta a considerare in tale periodo la ragionevole ipotesi di attivazione di nuovi finanziamenti, dal livello comunitario e statale, fino a quelli che possono derivare da politiche regionali, a tal fine impiegabili, nonché la possibile riduzione del costo dei mezzi ad alimentazione elettrica e a idrogeno e le economie sulle forniture, che potrebbero contribuire con ulteriori risorse, alla copertura dei fabbisogni aggiuntivi connessi all'attuazione dello Scenario 2.

Riguardo i costi operativi il PREPM, attraverso una stima dei costi dei diversi carburanti e fonti energetiche considerate (idrogeno, elettricità, metano e gasolio), evidenzia - al netto delle politiche di agevolazione e di sgravi fiscali, in atto o future, a favore del contenimento dei costi di trazione sostenuti dagli operatori prestatori di servizi TPL - una riduzione tra il 10-30% dei medesimi, al 2030, dovuta sostanzialmente alla maggior efficienza delle diverse tipologie di motorizzazione alternativa inserite nella flotta ed alle previsioni di riduzione costo combustibili fossili ed alternativi previsti dalle maggiori organizzazioni internazionali intergovernative¹, nonché in linea con le evidenze di studi svolti dai maggiori operatori in Italia nel campo delle infrastrutture energetiche per la definizione degli scenari futuri dello sviluppo del sistema energetico italiano².

Il documento inoltre riporta un'analisi di sensibilità sull'impatto dell'uso di fonti rinnovabili per i mezzi a bassa emissione introdotti nello Scenario 1 sulle emissioni nette di gas climalteranti.

¹ IEA (2022) *World Energy Outlook 2022*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/executive-summary>. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.

² Documento congiunto SNAM e Terna (2022) *Documento di Descrizione degli Scenari*. Available at: https://download.terna.it/terna/Documento_Descrizione_Scenari_2022_8da74044f6ee28d.pdf.

1 Introduzione

Ai sensi della l.r. 23/2021, art. 5, commi 15 ter e 15 quater, la Regione si dota di un programma operativo di rinnovo evolutivo del parco mezzi del trasporto pubblico locale (PREPM-TPL), definito in coerenza con le disposizioni comunitarie, nazionali e regionali in materia di riduzione delle emissioni. Tale strumento, approvato dalla Giunta Regionale, prevede una progressiva sostituzione del parco autobus diesel del TPL con autobus a minori emissioni, ed è definito con l'obiettivo di una sostituzione, entro il 2030, di almeno il 50 per cento del parco diesel con autobus elettrici, a idrogeno o a gas naturale (gas naturale compresso, CNG, o gas naturale liquefatto, LNG). Il PREPM-TPL comprende anche le infrastrutture e gli impianti da realizzare a supporto dei nuovi mezzi ad alimentazione alternativa previsti per il rinnovo sostenibile degli autobus.

In tal senso, il presente PREPM costituisce il documento di indirizzo e riferimento per il rinnovo della flotta degli autobus circolanti in Friuli-Venezia Giulia, che riguarda gli obiettivi posti per l'anno 2030 e che potrà essere aggiornato nel periodo di vigenza, sulla base degli esiti del monitoraggio dei risultati ottenuti dalla sua attuazione e del contestuale sviluppo nel tempo dello scenario tecnologico.

Il PREPM, pertanto, si caratterizza quale strumento in divenire, finalizzato al conseguimento di un equilibrato "mix energetico" in funzione di quello che la tecnologia offre al momento, degli ambiti di riferimento e delle diverse tipologie di servizi di trasporto pubblico svolte, nonché delle opportunità offerte dal territorio per la realizzazione delle necessarie infrastrutture di supporto per l'alimentazione dei mezzi, per la creazione di filiere sostenibili per l'approvvigionamento energetico.

Ai fini della predisposizione del presente documento, la competente Direzione centrale infrastrutture e territorio – Servizio trasporto pubblico regionale e locale ha assegnato un incarico, per servizi di supporto tecnico-scientifico agli uffici regionali, all'istituto di ricerca Fondazione Bruno Kessler - Centro Sustainable Energy, per la definizione del Programma Regionale Evolutivo del Parco Mezzi per il Trasporto Pubblico Locale.

In tale contesto, la Fondazione Bruno Kessler ha sviluppato studi ed analisi propedeutiche all'individuazione delle strategie di sviluppo del quadro evolutivo nel rinnovo del parco automobilistico TPL, e ha definito una serie di scenari traguardando obiettivi di sostenibilità ambientale comunitari, nazionali e regionali in materia, attraverso l'impiego efficace ed organico delle risorse statali e regionali ad oggi già disponibili e future, per realizzare un percorso di evoluzione del parco autobus utilizzati per la realizzazione dei servizi di TPL in regione verso mezzi ecologici e a basse o nulle emissioni.

Il PREPM-TPL si inserisce in un contesto in continua evoluzione sia di tecnologie che di costi dei mezzi e delle correlate infrastrutture di produzione dei vari carburanti alternativi, di alimentazione degli autobus e di rifornimento degli stessi. In ragione di un tanto, il presente documento illustra gli scenari relativi alla transizione ecologica del parco mezzi verso autobus ad alimentazione alternativa, tenendo in considerazione le complessità specifiche delle varie filiere.

Nel documento si affrontano, quindi, approfondimenti sulle prospettive di utilizzo di idrogeno e biometano e sulle opportunità offerte dal retrofit di riconversione dei mezzi diesel, oltre alla definizione dei diversi scenari di rinnovo evolutivo sui contesti di servizi TPL urbani ed extraurbani, sulla valutazione dell'impatto di queste strategie da un punto di vista ambientale ed economico.

Rispetto alle tipologie di alimentazione alternativa disponibili ad oggi, viene in primis approfondito il tema dei possibili contesti di sviluppo della mobilità TPL con mezzi alimentati a idrogeno, sia in ambito

urbano sia in ambito extraurbano, anche in considerazione degli scenari di disponibilità del vettore energetico con produzione interna da parte del gestore dei servizi ovvero con fornitura dell'idrogeno da soggetti esterni; a questo riguardo vengono considerati anche gli scenari attivati e di possibile futura evoluzione nell'ambito del contesto della "North Adriatic Hydrogen Valley", cui la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia partecipa quale partner assieme alle vicine Repubblica di Slovenia e Repubblica di Croazia.

Un altro specifico approfondimento è dedicato alla prospettiva di utilizzo del biometano quale alimentazione dei mezzi CNG/LNG al fine dell'abbattimento di produzione di gas climalteranti e di un contributo significativo della componente TPL su strada alla decarbonizzazione, tenuto conto del parco circolante già alimentato a metano, delle prospettive di evoluzione in particolare per l'ambito extraurbano, delle produzioni locali e degli approvvigionamenti da esterno necessari per assicurare una disponibilità del carburante nel medio e lungo termine.

Infine, rispetto alle possibilità che tecnologia e mercato rendono oggi disponibili per un'evoluzione energetica degli autobus, il quadro viene completato con una disamina delle possibili conversioni di mezzi diesel in esercizio, considerando la bassa anzianità del parco mezzi TPL circolante in Regione, verso sistemi di alimentazioni alternative ("retrofit" o "repowering").

In merito agli scenari evolutivi di rinnovo del parco autobus, il PREPM-TPL definisce gli stessi in relazione ai contesti dei servizi TPL urbani (che comprendono il capoluogo regionale e i comuni dell'ex Provincia di Trieste, le città di Gorizia, Udine, Pordenone, Monfalcone, e parte dei comuni del relativo hinterland, e le città balneari di Grado e Lignano), e dei servizi extraurbani con l'utilizzo di alimentazione elettrica, a idrogeno, o a biometano; per i servizi TPL extraurbani viene previsto un percorso evolutivo basato principalmente su mezzi CNG/LNG (con una prospettiva di impiego del biometano), lasciando a futuri approfondimenti le valutazioni in merito alla possibilità di un utilizzo di sistemi ad alimentazione elettrica o a idrogeno in determinati contesti (quali quello montano, finalizzato anche ad una caratterizzazione del territorio in chiave "green"); la determinazione degli scenari di cui sopra, tiene conto sia del parco circolante attuale, sia di una prospettiva di incremento del numero di mezzi derivante da modifiche dei servizi attuali, o determinata dalla realizzazione di nuovi servizi.

Infine, il presente documento include la valutazione dell'impatto delle strategie definite e le ricadute in termini di conseguimento degli obiettivi intermedi di abbattimento delle emissioni, e di "emissioni zero", definiti dalle normative di livello europeo, nazionale e regionale, oltre a un'analisi economica legata all'attuazione degli scenari di sviluppo definiti, e la stima delle risorse necessarie alla realizzazione del PREPM-TPL.

Si rileva da ultimo che il presente documento è il risultato del percorso di affinamento e consolidamento anche in esito alle interlocuzioni attivate e al percorso di condivisione attivato secondo quanto disposto con la DGR n. 2037 del 29/12/2022 di condivisione preliminare del documento. La Giunta ha infatti dato mandato alla Direzione centrale infrastrutture e territorio, prima procedere all'approvazione del PREPM-TPL, come previsto dall'articolo 5, comma 15 quater della legge regionale 29 dicembre 2021 n. 23, di procedere all'illustrazione dei suoi contenuti alle altre Direzioni centrali regionali interessate, ed ai Comuni di Gorizia, Monfalcone, Pordenone, Trieste e Udine, (in particolare per le azioni riferite agli ambiti territoriali di competenza), in ragione della significatività delle azioni previste nel rinnovo del parco mezzi nei principali centri urbani della Regione, nonché alla società TPL FVG Scarl in qualità di gestore dei servizi di TPL. Tali attività, svolte nel corso dei mesi di gennaio e febbraio 2023, hanno consentito di acquisire ulteriori elementi utili all'affinamento del PREPM-TPL e a definirne la sua versione finale condivisa.

2 Strategia

Il contesto globale sta assistendo ad una profonda revisione del sistema energetico, fino ad oggi basato su una prevalenza di uso di combustibili e carburanti a base fossile. Ciò ha portato a una accelerazione di tutta la filiera energetica, dalle forme di produzione, alle infrastrutture per la distribuzione ed erogazione, fino agli usi finali in tutti i settori coinvolti, verso l'utilizzo di combustibili e carburanti a basse o nulle emissioni. Un ruolo importante verso la decarbonizzazione lo gioca il settore dei trasporti e della mobilità, in tutti i suoi usi su strada, rotaia, marittimi e aerei. Il PREPM-TPL (ai sensi del citato art. 5, comma 15 quater della l.r. 23/2021) focalizza l'attenzione sul rinnovo evolutivo dei mezzi utilizzati per i servizi di trasporto pubblico regionale e locale su gomma circolanti in Friuli-Venezia Giulia e sul contributo che la transizione energetica della flotta autobus TPL può dare nel più ampio contesto delle politiche regionali in materia di energia e sviluppo sostenibile.

2.1 Contesto Europeo

A livello Europeo, il **Green Deal** (COM (2019)640) prevede la **diminuzione delle emissioni di gas serra fino al raggiungimento di zero emissioni entro il 2050**. Al suo interno viene affrontato il tema della necessaria accelerazione del passaggio a una mobilità sostenibile e intelligente. Viene sottolineata, in particolare, la necessità della **riduzione del 90% delle emissioni dei trasporti entro il 2050**, la necessità di accelerare la produzione e la diffusione di combustibili alternativi sostenibili per il settore trasporti, e la necessità di aumentare entro il 2025 le stazioni di ricarica e rifornimento per 13 milioni di veicoli a zero emissioni o basse emissioni sulla rete stradale europea.

Gli obiettivi riportati nel Green Deal Europeo sono stati recentemente rivisti, introducendo target più stringenti e ambiziosi per i diversi settori, con il lancio del "Fit for 55" (presentato al Consiglio europeo nel giugno 2021) che fissa il **target generale di abbattimento delle emissioni di gas serra al 55% entro il 2030**. Per quanto riguarda il settore dei trasporti su strada, il "Fit for 55"³ ha fissato il target di riduzione del 55% delle emissioni di CO₂ per le nuove automobili entro il 2030, e del 50% per i nuovi furgoni, rispetto ai livelli del 2021. Esso prevede inoltre la diminuzione del 100% delle emissioni di CO₂ di automobili e furgoni entro il 2035 (bando alla vendita di mezzi con motore a combustione interna dal 2035). Gli obiettivi del "Fit for 55" in merito alla riduzione delle emissioni degli Stati membri sono stati oggetto di recente ulteriore revisione: **l'accordo politico provvisorio, raggiunto a livello di Consiglio e Parlamento europeo, approva l'obiettivo di una riduzione delle emissioni di gas serra a livello europeo del 40% entro il 2030 rispetto ai livelli del 2005 per i settori non coperti dal sistema di scambio di quote di emissioni dell'UE (ETS UE), ovvero il trasporto stradale e il trasporto marittimo interno, gli edifici, l'agricoltura, i rifiuti e le piccole industrie**^{4,5}.

³ Fonte: Consilium Europe. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/10/27/first-fit-for-55-proposal-agreed-the-eu-strengthens-targets-for-co2-emissions-for-new-cars-and-vans/#:~:text=The%20purpose%20is%20to%20move,cars%20and%20vans%20by%202035>.

⁴ Fonte: <https://www.consilium.europa.eu/it/press/press-releases/2022/11/08/fit-for-55-eu-strengthens-emission-reduction-targets-for-member-states/>

⁵ "Cronistoria – Green Deal europeo e pacchetto Pronti per il 55%". <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/timeline-european-green-deal-and-fit-for-55/>

A partire dal **2019**, a recepimento della **“Clean Vehicles Directive”**⁶, molti paesi membri europei, tra cui l’Italia (con il decreto legislativo 8 novembre 2021, n. 187), hanno fissato **target per la promozione di veicoli puliti e a basso consumo energetico nel trasporto su strada in ambito urbano, nell’ambito degli acquisti pubblici di taluni veicoli adibiti al trasporto su strada**. La direttiva richiede che una parte degli autobus acquistati sia alimentata da tecnologie a zero emissioni (veicoli elettrici a fuel cell alimentati a idrogeno o a batteria), combustibili a basse emissioni (biocombustibili liquidi o e-fuels), o, ancora, combustibili fossili alternativi (gas naturale).

Nel dicembre 2020, inoltre, la Commissione europea ha pubblicato la **“Sustainable and Smart Mobility Strategy” (COM (2020) 789 final)**, spiegando la sua visione, con l’obiettivo di assicurare che il sistema di trasporto europeo possa raggiungere la trasformazione “verde”. Tra gli obiettivi **per il 2030** emergono la presenza di **40 milioni di veicoli a emissioni zero in uso sulle strade europee, 100 città europee climaticamente neutre**, il raddoppio del traffico ferroviario ad alta velocità, la neutralità del carbonio in Europa per i viaggi collettivi organizzati su distanze inferiori a 500 km, la distribuzione su grande scala della mobilità automatica, e la disponibilità sul mercato di navi a zero emissioni. Per il 2035, infine, si pone come obiettivo la presenza sul mercato di aerei a zero emissioni.

2.2 Contesto Italiano

In Italia, per finanziare il rinnovo del parco mezzi del trasporto pubblico locale e regionale è stato istituito nel 2015 il **“Fondo mezzi” (art. 1, comma 866 della legge n. 208 del 2015)**⁷. Il fondo è finalizzato all’acquisto di nuovi mezzi TPL con l’obiettivo di **allineare il parco mezzi per il trasporto pubblico locale e regionale agli standard europei** nonché alla riqualificazione elettrica o al noleggio di mezzi adibiti al trasporto pubblico locale e regionale. Il fondo è divenuto operativo il 1° gennaio 2017 e in esso sono confluite sia le risorse disponibili riferite all’articolo 1, comma 83 della legge 27 dicembre 2013, n. 147 (100 milioni di euro per ciascuno degli anni 2015 e 2016, e, a seguito di rifinanziamento, 50 milioni di euro per ciascuno degli anni 2017, 2018 e 2019) sia la dotazione del fondo stesso con risorse pari a 210 milioni di euro per ciascuno degli anni 2019 e 2020, risorse pari a 130 milioni di euro per l’anno 2021 e 90 milioni di euro per l’anno 2022.

La legge di bilancio del 2021 (comma 661) ha esteso successivamente la possibilità di impiego degli incentivi finalizzati al “Fondo mezzi” anche alla riconversione a gas naturale dei mezzi a gasolio euro 4 e 5, nei limiti del 15% delle dotazioni del fondo stesso.

La legge di bilancio 2017 (art. 1, commi 316 – 315) ha previsto il PSNMS, Piano Strategico Nazionale della Mobilità Sostenibile (dicembre 2018, approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 17 aprile 2019), quale strumento di riferimento per il rinnovo del parco mezzi su gomma per i servizi di trasporto pubblico locale e il miglioramento della qualità dell’aria. Esso ha lo scopo di recepire le normative europee che si concentrano sui problemi relativi alle emissioni dei trasporti, intervenendo tramite direttive e regolamenti sulla qualità dei combustibili, sugli standard emissivi, sulle infrastrutture di rifornimento e sulle fonti energetiche. Il principio di sussidiarietà prevede che siano gli Stati membri a adottare provvedimenti in merito al più generale tema della mobilità sostenibile, specie in ambito urbano. Il PSNMS fornisce le linee di indirizzo di medio periodo alle regioni e agli enti locali a supporto delle attività di programmazione del settore e, alle aziende del TPL

⁶https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport-urban-transport/clean-and-energy-efficient-vehicles/clean-vehicles-directive_en

⁷ <https://temi.camera.it/leg18/temi/l-innovazione-nel-trasporto-stradale-e-la-mobilit-sostenibile.html>

e all'industria della filiera di riferimento, a supporto delle scelte strategiche in relazione alle diverse opzioni tecnologiche. Il comma 613 della legge di bilancio 2017, inoltre, ha disposto l'incremento delle risorse del "Fondo mezzi" di altri 200 milioni di euro per il 2019, e di 250 milioni di euro per ciascuno degli anni dal 2020 al 2033, per un totale di 3,7 miliardi di euro. Esso ha inoltre esteso le finalità del fondo (acquisto di nuovi mezzi) al finanziamento di infrastrutture tecnologiche di supporto per la realizzazione del PSNMS. L'utilizzo delle risorse è subordinato a piani di investimento quinquennali (2019 – 2023, 2024 – 2028, 2029 – 2033). Nei primi tre anni di ciascun quinquennio le risorse disponibili possono essere destinate al 50% per la predisposizione della rete infrastrutturale di supporto, mentre negli anni successivi le risorse sono utilizzabili solo per l'acquisto di mezzi. Inoltre, nel primo quinquennio le risorse possono essere utilizzate solo per l'acquisto di veicoli ad alimentazione elettrica e a gas naturale (CNG o LNG). Il provvedimento prevede quote di cofinanziamento statale pari al 60% per acquisto di bus urbani CNG o LNG, 80% per acquisto di bus urbani elettrici o a idrogeno, 80% per acquisto di bus extraurbani CNG o LNG o idrogeno, 50% per acquisto di bus extraurbani diesel nei casi previsti. Il cofinanziamento statale per infrastrutture di supporto è pari all'80%, al 100% se più aziende si consorziano per realizzare depositi con stazioni di rifornimento condivise.

Con **decreto del ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti di concerto con il ministro dello Sviluppo Economico e il ministro dell'Economia e delle Finanze del 14 febbraio 2020, n. 81** sono state approvate le graduatorie per l'assegnazione a ciascuna regione delle risorse del PSNMS e alla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia sono state assegnate risorse per complessivi 62.947.444 euro per gli anni dal 2019 al 2033.

Con successivi interventi normativi è stata eliminata poi la necessità del cofinanziamento per l'impiego delle suddette risorse fino al 2023 compreso.

Il PSNMS sopra descritto ha quindi come fine l'ottimizzazione dell'uso delle consistenti risorse finanziarie messe a disposizione per il rinnovo del parco mezzi, anche in un'ottica di progressivo sviluppo delle flotte ad alimentazione alternativa, in coerenza con quanto previsto dalla **Direttiva 2014/94/UE del 22 ottobre 2013** sulla realizzazione di infrastrutture per i combustibili alternativi (Directive for Alternative Fuel Infrastructure, DAFI) **recepita in Italia dal d.lgs. 257/2016. Quest'ultimo, a partire dal 1° luglio 2018, obbliga i gestori di servizi di trasporto pubblico urbano svolti nelle province ad alto inquinamento di particolato PM10 all'acquisto di almeno il 25% di veicoli alimentati a gas naturale (compreso o liquefatto) o a energia elettrica con ricarica esterna o a combustione convenzionale purché dotati di sistemi di trazione ibridi**; inoltre, include la possibilità di un aumento di tale percentuale e dell'inclusione dell'acquisto di veicoli a idrogeno.

Per quanto attiene alle politiche di rinnovo del parco mezzi TPL, il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (**PNIEC**), predisposto dai ministeri dello Sviluppo Economico, dell'Ambiente e delle Infrastrutture e Trasporti e pubblicato dal Ministero dello Sviluppo Economico il 21 gennaio 2020, stabilisce gli obiettivi nazionali al 2030 sull'efficienza energetica, sulle fonti rinnovabili e sulla riduzione delle emissioni di CO₂, nonché gli obiettivi in tema di sicurezza energetica, interconnessioni, mercato unico dell'energia e competitività, sviluppo e mobilità sostenibile, delineando per ciascuno di essi le misure che saranno attuate per assicurarne il raggiungimento. Il PNIEC stabilisce, tra l'altro, che per i gestori dei servizi TPL, per le attività svolte nelle **province ad alto tasso di inquinamento di particolato PM10, nell'acquisto di autobus (categoria M3) per il rinnovo delle flotte vada garantito che almeno il 30% degli acquisti sia con veicoli a emissioni zero (elettrici o idrogeno), ibridi con ricarica esterna o a metano entro al 2022, il 50% entro il 2025, l'85% entro il 2030**. Entro giugno 2023 è previsto un aggiornamento del PNIEC e un suo allineamento con il PNRR, nonché con il pacchetto Fit for 55 e il piano REPowerEU, con versione definitiva prevista entro giugno 2024.

Il Ministero delle Infrastrutture e delle Mobilità Sostenibili ha inoltre finanziato ulteriori azioni ai sensi del PSNMS, prevedendo l'assegnazione di contributi per l'acquisto di autobus ad alimentazione sostenibile a favore delle città metropolitane e dei comuni con più di 100.000 abitanti, nonché per le città ad alto inquinamento; in Friuli Venezia Giulia i comuni di Trieste e Pordenone sono risultati assegnatari, rispettivamente, di risorse pari a 15.005.883 euro (decreto n. 71 del 9 febbraio 2021 del ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, di concerto con il ministro dello Sviluppo Economico e il ministro dell'Economia e delle Finanze) e 4.223.931 euro (decreto del ministro delle infrastrutture e dei trasporti di concerto con il ministro dello Sviluppo Economico e il ministro dell'Economia e delle Finanze n. 234 del 6 giugno 2020), da utilizzare per il rinnovo dei parchi mezzi utilizzati per i servizi TPL urbani. Stante che in Friuli Venezia Giulia i comuni non affidano e gestiscono direttamente servizi di TPL (competenza regionale), se non servizi TPL aggiuntivi finanziati dagli stessi, per l'utilizzo di tali risorse e di quelle assegnate agli stessi comuni dal PNRR, come più sotto evidenziato, si è provveduto ad utilizzare una possibilità offerta dai decreti di assegnazione delle risorse che consente di mettere a disposizione le risorse alla regione, mediante specifica convenzione.

Il **Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)**, definitivamente approvato in sede europea il **13 luglio 2021** con decisione di esecuzione del Consiglio, prevede, nella **"Missione 2: Rivoluzione verde e transizione ecologica"**, la componente M2C2 "Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile", che include l'ambito 4 relativo allo **sviluppo di un trasporto locale più sostenibile** e l'ambito 3 relativo alla **sperimentazione dell'idrogeno per il trasporto stradale e nel trasporto ferroviario** e all'**investimento nei bus elettrici**. Alcuni dettagli sulle attività sopracitate comprendono lo sviluppo di una rete infrastrutturale di ricarica elettrica pubblica con 7.500 punti sulle superstrade e altri 13.750 punti nelle città, oltre a 100 stazioni di ricarica sperimentali a idrogeno per automobili e autocarri, e l'ammodernamento del parco mezzi adibiti al trasporto pubblico locale, con la sostituzione di circa 3.000 autobus diesel con autobus elettrici o ibridi.

Per stabilire un quadro concettuale che accompagni gli interventi del PNRR, con delibera n. 1 dell'8 **marzo 2022** del CITE (Comitato Interministeriale per la Transizione Ecologica), è stato definitivamente approvato il **Piano per la Transizione Ecologica (PTE)**, nel quale sono indicati gli obiettivi principali delle politiche ambientali dell'Italia. Il PTE sottolinea che il PNRR rappresenta un cambio di passo nella disponibilità di risorse per la promozione di una **mobilità sostenibile a emissioni zero entro il 2050**, ma che per raggiungere l'obiettivo è necessario programmare nel periodo compreso **fra il 2030 e il 2050 la sostituzione completa dei carburanti fossili con elettricità da rinnovabili, idrogeno e biocarburanti avanzati o di origine sintetica per alimentare autoveicoli leggeri e pesanti, ma anche navi e aerei. Nella prospettiva di una decarbonizzazione completa la motorizzazione elettrica dovrà coprire fino al 50% del settore, diventando ampiamente maggioritaria nel comparto auto, mentre sul fronte carburanti un peso analogo dovranno averlo idrogeno, biocarburanti o carburanti sintetici ad impatto zero**. Per questo, il Piano italiano si allinea ai principali obiettivi indicati dalla già citata strategia europea sulla mobilità ("**Sustainable and Smart Mobility Strategy**", 2020), prevedendo **6 milioni di auto elettriche in Italia entro il 2030**.

Rispetto al rinnovo evolutivo delle flotte TPL su strada, la misura **M2C2-4.4.1 del PNRR** prevede una dotazione, per il periodo 2021 – 2026, di 2.415 milioni di euro per il rinnovo del parco autobus regionale per il trasporto pubblico con veicoli a combustibili puliti, di cui 500 milioni imputati a progetti già in essere. A questo riguardo, il **decreto del ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili (DM n. 530 del 23 dicembre 2021)** ha disposto l'assegnazione di ulteriori risorse a favore dei comuni di Trieste e di Pordenone, secondo i principi di riparto già applicati per il PSNMS, destinate all'acquisto di autobus a zero emissioni ad alimentazione elettrica o a idrogeno per il servizio urbano, nonché alla

realizzazione delle infrastrutture di supporto per il rifornimento e l'alimentazione dei mezzi (6.357.265 euro al Comune di Trieste e 4.050.860 euro a Pordenone).

Il decreto legge n. 59 del 2021, relativo al **Fondo complementare al PNRR** (art. 1, comma 2) assegna al Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili 600 milioni di euro, a valere sulle risorse nazionali del Piano nazionale per gli investimenti complementari, divisi negli anni dal 2021 al 2026, per il rinnovo del parco autobus con veicoli ad alimentazione alternativa per il trasporto extraurbano ed interurbano. In relazione a questo, con il **decreto del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili n. 315 del 2 agosto 2021** le suddette risorse sono state ripartite tra le regioni e le province autonome e destinate all'acquisto di autobus ad alimentazione a metano, elettrica o a idrogeno e per la realizzazione delle infrastrutture di alimentazione, da utilizzare per il servizio extraurbano e suburbano; in tale contesto, alla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia sono stati destinati fondi per 12.345.612,99 euro, di cui sino a un massimo del 15% può essere destinato agli interventi di riconversione a gas naturale dei mezzi a gasolio euro 4 ed euro 5.

Con il decreto legge n. 50/2022 sono stati concessi aiuti per un milione di euro a favore delle imprese esercenti il trasporto passeggeri con autobus di classe ambientale euro 5 ed euro 6 e per la conversione ad alimentazione elettrica dei mezzi pesanti per trasporto merci.

A livello nazionale è stato disposto il riparto di ulteriori risorse di cui all'art. 4, c. 3-ter, d.lgs. 10 settembre 2021, n. 121, convertito in legge 9 novembre 2021, n. 156, con il **decreto ministeriale 24 agosto 2022, n. 256**. Alla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia è stato destinato un importo pari a 13.276.800 euro per l'acquisto di autobus ad alimentazione a metano, elettrica o a idrogeno adibiti al trasporto pubblico extraurbano, suburbano e urbano della regione, in coerenza con le disposizioni del Piano Strategico Nazionale per la mobilità sostenibile.

L'Italia ha recepito la **"Clean Vehicles Directive" (2019)**. I dettagli di applicazione sono stati precisati con il decreto 17 giugno 2021 del Ministero della Transizione Ecologica, pubblicato sulla G.U. n. 157 del 17 giugno 2021, "Criteri ambientali minimi per l'acquisto, leasing, locazione, noleggio di veicoli adibiti al trasporto su strada". In Italia, **il target sull'acquisto di autobus a combustibile alternativo è pari al 45% dei veicoli acquistati per il primo periodo (agosto 2021 – dicembre 2025), e pari al 65% per il secondo periodo (gennaio 2026 – dicembre 2030). La metà di entrambi i target deve essere raggiunta con bus a zero emissioni**. Si specifica che la direttiva, per il comparto autobus, si applica solamente ai seguenti veicoli:

- di classe A, ovvero di categoria M₂ o M₃ con capacità inferiore ai 22 passeggeri
- di classe I, ovvero di categoria M₂ o M₃ con capacità superiore ai 22 passeggeri, che però dispone di zone destinate a passeggeri in piedi.

Sono quindi esclusi dal campo di applicazione della direttiva gli autobus di categoria M₃ con spazi destinati a passeggeri in piedi molto limitati o assenti (autobus extraurbani).

2.3 Contesto nel Friuli Venezia Giulia

La politica regionale del Friuli Venezia Giulia in materia di ambiente e sviluppo sostenibile è stata formalizzata con **la delibera di Giunta regionale n. 812 del 29 maggio 2020, in cui la Giunta regionale ha riconosciuto la strategicità del Green Deal Europeo**, a cui ha aderito.

A seguito della **delibera di Giunta regionale n. 1557 del 21 ottobre 2020**, è stato poi definito un **primo quadro di investimento per l'utilizzo delle risorse statali già citate previste dal PSNMS e attribuite**

direttamente alla Regione, complessivamente pari a 62.947.444 euro. In sintesi, il quadro delineato, così come aggiornato e modificato con successiva **delibera di Giunta regionale 1263/2021**, ha previsto che il contributo sia utilizzato per il biennio 2019 – 2020 e per il triennio 2021-2023 prioritariamente per l'acquisto di mezzi alimentati a metano, sia extraurbani che urbani, e per la realizzazione delle relative infrastrutture, e per gli anni successivi, dal 2024 al 2033, esclusivamente per l'acquisto di autobus con alimentazione a metano, prevalentemente urbani (ovvero, previa rimodulazione, di mezzi elettrici/idrogeno). È inoltre prevista la possibilità di aggiornare i piani di investimento ogni 5 anni in reazione alle eventuali innovazioni tecnologiche intervenute e agli eventuali aggiornamenti normativi in materia di emissioni ambientali.

Inoltre, come sopra evidenziato, **ai comuni di Trieste e di Pordenone** sono stati assegnati dal Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili **rispettivamente 15.005.883 euro e 4.223.931 euro**, in relazione ai servizi di TPL urbani. Regione e Comune di Trieste hanno concordato di impiegare i fondi per una sperimentazione con l'introduzione di 36 mezzi elettrici e la realizzazione dell'infrastruttura per l'alimentazione, mentre il Comune di Pordenone ha optato per un'ipotesi di utilizzo del finanziamento per l'introduzione di 16 mezzi a metano liquido (LNG), condivisa poi dall'amministrazione regionale.

I finanziamenti a favore dei due comuni sono stati implementati, come già sottolineato, con risorse del **PNRR** destinate all'acquisto di autobus a zero emissioni ad alimentazione elettrica o a idrogeno per il servizio urbano, nonché per la realizzazione delle infrastrutture di supporto per il rifornimento e l'alimentazione dei mezzi (ulteriori **6.357.265 euro a Trieste e 4.050.860 euro a Pordenone**). La Regione ha concordato con entrambi i comuni l'impiego di tali finanziamenti per l'inserimento di mezzi ad alimentazione elettrica e la realizzazione delle relative infrastrutture di alimentazione.

Rispetto al quadro attuale dei finanziamenti per le politiche di rinnovo degli autobus, l'assegnazione alla Regione di ulteriori **12.345.613 euro** per gli anni dal 2022 al 2026 e risorse a valere **sui fondi del Piano nazionale per gli investimenti complementari al PNRR**, da destinare all'acquisto di autobus ad alimentazione a metano, elettrica o a idrogeno, e alle relative infrastrutture di alimentazione, adibiti al trasporto pubblico extraurbano e suburbano, in coerenza con le disposizioni del PSNMS, ha portato all'impegno di dette risorse a favore del gestore dei servizi, TPL FVG Scarl (da qui in avanti TPL FVG), con decreto n. 19641/GRFVG del 28 ottobre 2022. Il piano di investimento associato prevede l'acquisto di tre veicoli elettrici per nuovi servizi suburbani a Udine e complessivi 12 autobus CNG e 16 autobus LNG, da inserire nelle flotte che svolgono servizio negli areali extraurbani di Udine e Gorizia, nonché per le relative infrastrutture di alimentazione.

La Regione Friuli-Venezia Giulia ha recepito l'indirizzo delle strategie di livello europeo e statale mediante le disposizioni di cui alla **legge regionale del 29 dicembre 2021, n. 23** (legge collegata alla manovra di bilancio 2022 – 2024 mediante il test vigente dal 09/08/2022, e modificata dalla legge regionale 13/2022, in particolare all'articolo 5, commi 13 e seguenti). In tale ambito si colloca il **presente PREPM-TPL**, che prevede una progressiva sostituzione del parco autobus diesel con autobus a minori emissioni, ed è definito con **l'obiettivo di una sostituzione, entro il 2030, di almeno il 50% del parco diesel con autobus elettrici, a idrogeno o CNG/LNG. Il PREPM-TPL comprende anche le infrastrutture e gli impianti da realizzare per il rinnovo sostenibile degli autobus.**

In sintesi, i finanziamenti attualmente disponibili alla regione Friuli-Venezia Giulia nel periodo 2024 – 2030 per il rinnovo dei mezzi pubblici con mezzi a basse emissioni (metano, CNG o LNG) e a zero emissioni (idrogeno e batterie) sono riportati in Tabella 1. La tabella identifica per ogni finanziamento ricevuto dalla Regione il contributo in euro e il periodo di riferimento.

Ai finanziamenti ad oggi disponibili, potrebbero aggiungersi, nei prossimi anni, ulteriori fondi, in seguito all'avviamento di ulteriori piani di finanziamento a livello nazionale e/o europeo, a sostegno di forme di motorizzazione a basso inquinamento o a zero emissioni (batterie ed idrogeno).

Tabella 1. Risorse statali disponibili per la sostituzione dei mezzi diesel attuali con mezzi a bassa o nulla emissione.

Risorse statali		
Fondo	Contributo	Periodo
PNRR Comune di Pordenone	4.050.860,00 € (di cui 250.860,00 € per infrastruttura BEV)	2022 – 2026
PNRR Comune di Trieste	6.357.265,00 € (di cui 857.265,00 € per infrastruttura BEV)	2022 – 2026
Fondo complementare	12.345.613,00 € (di cui 1.706.013,00 € per infrastruttura BEV e LNG)	2022 – 2026
PSNMS Comune di Pordenone	4.223.931,00 €	2019 – 2023
PSNMS Comune di Trieste	2.750.352,00 € (di cui 797.806,00 € per infrastruttura BEV)	2019 – 2023
	12.255.531,00 €	2024 – 2033
PSNMS Regione	7.153.118,00 €	2019 – 2020
	12.875.613,62 €	2021 – 2023
	21.459.355,00 €	2024 – 2028
	21.459.358,00 € (di cui 3.796.712,08 € per infrastruttura H2)	2029 – 2033
DM 256 del 24/08/2022	13.276.800,00 €	2022 – 2035
DM 345 del 23/11/2016 (Fondo comma 866, Articolo 1, Legge 28 dicembre 2015, n. 208, come modificato dall'art. 27 del decreto-legge del 24 aprile 2017, n. 50 convertito con modificazioni dalla legge 21 giugno 2017, n. 96.)	28.686.070,66 € (di cui 11.980.421,70 € per infrastruttura BEV e LNG)	
Totale	146.893.867,96 €	2019 – 2035

Nota: sono inoltre disponibili risorse per complessivi 5.682.952,32 euro, ripartite nel triennio 2017 – 2019, assegnate alla Regione con DM n. 25/2017 e finalizzate al rinnovo della flotta TPL da utilizzare obbligatoriamente per acquisti su piattaforma CONSIP non vincolate ad alimentazioni alternative.

In aggiunta alle risorse assegnate alla Regione FVG nell'ambito dei diversi finanziamenti nazionali sopraelencati, le risorse disponibili per l'evoluzione della flotta dei mezzi per il trasporto pubblico derivano anche dalla possibilità introdotta dal comma 15 ter, dell'art. 5 della legge regionale 23/2021, il quale consente, in alternativa al recupero mediante compensazione del corrispettivo del servizio pagato dalla Regione a sostegno delle spese per il rinnovo di autobus derivanti dagli obblighi contrattuali, come previsto dai commi 15 e 15 bis del medesimo articolo, che esse vengano utilizzate direttamente dai gestori del servizio di TPL, a copertura delle spese eccedenti gli oneri, a carico dei predetti gestori, per il rinnovo del parco autobus previsto dal contratto di servizio, al fine dell'attuazione del PREPM.

Le risorse ricomprese nel corrispettivo del contratto di servizio per il rinnovo della flotta con mezzi diesel di categoria Euro superiore, ma non impiegate per l'acquisto dei mezzi pianificati perché sostituiti dai mezzi a bassa o nulla emissione finanziati diversamente, rimangono quindi a disposizione del gestore per ulteriori investimenti. Nell'arco temporale preso come riferimento dal programma sostitutivo contrattuale, tali risorse sono riportate in Tabella 2, con dettaglio dei diversi ambiti territoriali di servizio e con riferimento al periodo 2021 – 2030 tenuto conto delle tempistiche di attuazione del PREPM-TPL.

Tabella 2. Risorse regionali destinate al rinnovo della flotta in osservanza di quanto previsto del contratto di servizio di TPL FVG, complessivamente ricomprese nel corrispettivo, disponibili per la sostituzione dei mezzi diesel attuali con mezzi a bassa o nulla emissione, come risultato del mancato acquisto dei mezzi diesel pianificati nel periodo 2021 – 2030.

Risorse regionali di cui al corrispettivo di contratto		
Ambito territoriale (consorzata)	Contributo	Periodo
Pordenonese (ATAP)	€ 18.321.900,00	2021 – 2030
Goriziano (APT)	€ 13.718.400,00	2021 – 2030
Udinese (Arriva Udine)	€ 49.545.600,00	2021 – 2030
Triestino (Trieste Trasporti)	€ 32.420.500,00	2021 – 2030
Totale	€ 114.006.400,00	2021 – 2030

Nel contesto sopra descritto, oltre all'obiettivo previsto dalla legge regionale 29 dicembre 2021 n. 23 modificata dalla legge regionale 13/2022, in particolare all'articolo 5, commi 13 e seguenti, che indica la sostituzione entro il 2030 di almeno il 50 per cento del parco degli autobus urbani ed extra-urbani diesel presenti al 2021 con mezzi elettrici, a idrogeno o a CNG/LNG, il PREPM-TPL prende in considerazione anche gli obiettivi nazionali legati al recepimento della "Clean Vehicles Directive", che impongono un minimo numero di veicoli ad alimentazione alternative e di veicoli a zero emissioni sul numero di veicoli sostituiti nel contesto urbano. Inoltre, si tiene in considerazione il target europeo imposto dal "Fit for 55", di diminuzione delle emissioni di gas serra al 55% entro il 2030 in relazione al 2021.

A questo ultimo riguardo, si evidenzia che l'obiettivo del "Fit for 55" non rappresenta un vincolo puntuale per la Regione Friuli-Venezia Giulia, né tantomeno puntuale per il settore del trasporto pubblico locale, in quando è inteso da raggiungere a livello medio nazionale. Tuttavia, il recepimento all'interno del PREPM contribuisce al meglio al raggiungimento in termini generali di tale obiettivo, tenuto conto che ad ogni modo la strategia complessiva regionale in tema di energia e sviluppo sostenibile viene declinata nel contesto dello specifico piano di settore.

Si sottolinea, inoltre, che il PREPM e gli scenari in esso definiti garantiscono in ogni caso il rispetto dell'obbligo contrattuale per il gestore dei servizi TPL, che stabilisce una vita media della flotta non superiore a 7,5 anni e l'età massima di 15 anni di vita per ogni singolo mezzo.

Si evidenzia, infine, che il quadro delle politiche regionali in materia di transizione energetica e sviluppo sostenibile sta vedendo alcuni importanti aggiornamenti in corso di concretizzazione che qui si richiamano:

- sul Supplemento Ordinario al BUR n. 8 del 22 febbraio 2023 è stata pubblicata la **legge regionale 17 febbraio 2023, n. 4 (FVGreen – Disposizioni per lo sviluppo sostenibile e la transizione ecologica del Friuli Venezia Giulia)** di recente approvazione. Tramite "FVGreen" la Regione si impegna a conseguire l'obiettivo di lungo termine di emissioni di gas a effetto serra nette uguali a zero entro il 2045 e ad una riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, pari almeno all'obiettivo nazionale assegnato dall'Unione europea, entro il 2030, con l'applicazione del pacchetto "Fit for

55". All'interno del testo vengono poi definiti vari strumenti attuativi per il conseguimento di tale scopo e, tra questi, la Strategia regionale di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici identifica il sistema dei trasporti tra i settori strategici interessati dalle misure di mitigazione dei cambiamenti climatici (Capo II, art. 4, comma 3). Dal testo emerge inoltre come la Regione promuova l'attuazione della transizione ecologica sul territorio regionale finalizzando le linee contributive destinate alla realizzazione di attività e di interventi nei settori strategici di cui all'articolo 4, commi 3 e 4 (Capo III, art.14, comma 1);

- la Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile, attraverso il competente Servizio transizione energetica è impegnata nel processo di **revisione del Piano Energetico Regionale (PER)** che prevede l'organizzazione di tavoli di lavoro coordinati tra le varie Direzioni della Regione e che prevede l'avvio della Valutazione Ambientale Strategica (VAS) entro il 2023 ed il completamento della revisione entro il 2024. A questo riguardo, tenuto conto che il tema dei trasporti risulta centrale per il conseguimento degli obiettivi del PER risulterà necessario un costante coordinamento tra tale strumento e il PREPM-TPL quale strumento di programmazione dell'evoluzione verso la neutralità climatica di una delle componenti del sistema del trasporto.

3 Idrogeno

Nel seguente capitolo si analizzano in linea generale i principali temi sul trasporto TPL ad idrogeno, includendo: il tema dell'approvvigionamento e/o produzione (locale o meno), l'uso di idrogeno verde, l'infrastruttura incluso il trasporto, le stazioni di rifornimento (HRS) e le potenziali riduzione di emissioni e costi. Sono analizzate le peculiari caratteristiche della propulsione a idrogeno anche nella distinzione fra utilizzo urbano e non, quindi valutando i principali limiti e vantaggi della tecnologia ad esempio in termini di autonomia e approvvigionamento carburante.

3.1 Gli autobus H2

Un autobus a celle a combustibile è un autobus elettrico che include sia una cella a combustibile a idrogeno sia un sistema di accumulo elettrochimico come batterie/condensatori. In tale architettura ibrida, la cella a combustibile fornisce tutta l'energia per il funzionamento del veicolo, mentre la componente "elettrica", batterie/condensatori, ha l'obiettivo di fornire potenza di picco ai motori per far fronte a rapide accelerazioni e pendenze, oltre che per il recupero rigenerativo. Utilizzando una cella a combustibile in combinazione con una batteria, la dimensione di ciascuna può essere ottimizzata per un determinato percorso e allo scopo di ridurre il costo del bus stesso. Tutta l'energia necessaria per il funzionamento dell'autobus è fornita dall'idrogeno immagazzinato a bordo.



Figura 1. Autobus H2 durante il rifornimento presso la colonna "dispenser".⁸

Il modulo di alimentazione a celle a combustibile a bordo dell'autobus genera energia elettrica attraverso una reazione elettrochimica dall'idrogeno accumulato in serbatoi a bordo e l'ossigeno ricavato dall'aria, producendo come sottoprodotti solo acqua e calore, senza quindi alcuna emissione

⁸ Fonte: Fuel Cell Buses web site. <https://www.fuelcellbuses.eu/wiki/fuel-cell-electric-buses-fuel-cell-electric-buses/about-fuel-cell-electric-buses>

climalterante e inquinante. L'energia elettrica viene utilizzata per fornire la trazione elettrica diretta e mantenere cariche le batterie. La configurazione così descritta è quella che viene denominata generalmente ibrida che risulta idonea per il trasporto urbano in termini di: Elevato comfort di guida e di servizio grazie alla trazione elettrica con assenza delle marce, silenziosità, nessuna vibrazione, introduzione della fermata rigenerativa con riduzione drastica del consumo di carburante e infine un'efficienza di utilizzo più che raddoppiata rispetto al caso di uso della sola cella a combustibile come sorgente energetica del mezzo⁹.

I serbatoi degli autobus a idrogeno sono più capienti di quelli delle auto a idrogeno, con quantità accumulate di circa 30 - 50 kg contro i 5 kg di un'auto. Inoltre, godendo di maggior spazio per l'installazione delle bombole-serbatoio (specialmente sul tetto), la pressione all'interno di queste è significativamente più bassa rispetto a quella necessaria per le auto: 350bar contro 700bar. Pressioni più basse comportano vantaggi quali sistemi di stoccaggio e distribuzione a bordo meno complessi, e quindi costi più contenuti.

In termini di servizio offerto, gli autobus H2 permettono di mantenere lo stesso servizio offerto dagli attuali mezzi alimentati a gasolio, garantendo un rifornimento di carburante in circa 7 minuti, con progetti in fase di sviluppo per consentirne lo stesso in circa 5 minuti. In termini di affidabilità esistono diverse progettualità in Europa che vedono autobus basati su celle a combustibile che hanno percorso cumulativamente più di 8 milioni di km¹⁰ e con all'attivo diversi anni di operatività ben esaminati (fonte: 4 anni¹¹). In termini di costo, diversi studi riportano come la soluzione a cella combustibile per il trasporto pubblico sconti un significativo costo capitale d'investimento (CAPEX) e costo operativo in termini di carburante rispetto alle soluzioni a batterie o alternative, tuttavia da valutare accuratamente sul contesto applicativo, dato che nei prossimi anni sono previste forti riduzioni del costo dei mezzi e infrastruttura dovute all'economia di scala e della maturità tecnologica come avvenuto anche nel settore batterie negli ultimi anni.¹² Anche l'impatto di materiali costosi quali l'uso di catalizzatori a base Platino o Palladio incide minimamente sul costo dei sistemi a cella a combustibile dato che sono presenti in quantità pari a quanto contenuto nelle marmitte catalitiche.¹³

Alcuni studi pongono la parità in termini di TCO (Total Cost of Ownership) nei prossimi 5-6 anni, assumendo anche costi dell'idrogeno medio-elevati. Tuttavia, tali curve sono altamente impattate dall'autonomia richiesta dal servizio e dall'evoluzione tecnologica e industriale dei componenti quali la cella a combustibile, con calo previsto fino al 40% dell'attuale costo al 2029 (Figura 2), oltre che aumento delle ore operative (stimate a 30.000 ore al 2026).¹⁴

Va evidenziato come l'intervento di fondi pubblici a supporto del costo CAPEX, come per esempio da progettualità europee o nazionali sul tema H2, permettano di ridurre ulteriormente il TCO, in

⁹ Fonte: programme CUTE = Clean Urban Transport in European cities.

¹⁰Fonte: situazione a maggio 2019. <https://www.fuelcellbuses.eu/wiki/performance-data-performance-data/performance-data>

¹¹ Roberta Caponi, Andrea Monforti Ferrario, Luca Del Zotto, Enrico Bocci, Hydrogen refueling stations and fuel cell buses four-year operational analysis under real-world conditions, International Journal of Hydrogen Energy, 2022,

¹² Kim, H.; Hartmann, N.; Zeller, M.; Luise, R.; Soyulu, T. Comparative TCO Analysis of Battery Electric and Hydrogen Fuel Cell Buses for Public Transport System in Small to Midsize Cities. Energies 2021, 14, 4384. <https://doi.org/10.3390/en14144384>

¹³ Pagliaro, M., Meneguzzo, F., Electric Bus: A Critical Overview on the Dawn of Its Widespread Uptake. Adv. Sustainable Syst. 2019, 3, 1800151. <https://doi.org/10.1002/adsu.201800151>.

¹⁴ Pedro Muñoz, Esteban A. Franceschini, David Levitan, C. Ramiro Rodriguez, Teresita Humana, Gabriel Correa Perelmuter, Comparative analysis of cost, emissions and fuel consumption of diesel, natural gas, electric and hydrogen urban buses, Energy Conversion and Management, Volume 257, 2022, 115412, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115412>.

particolare lì dove i fondi siano disponibili per la sola mobilità a Idrogeno rispetto le altre tecnologie (finanziamento specifico su H2).

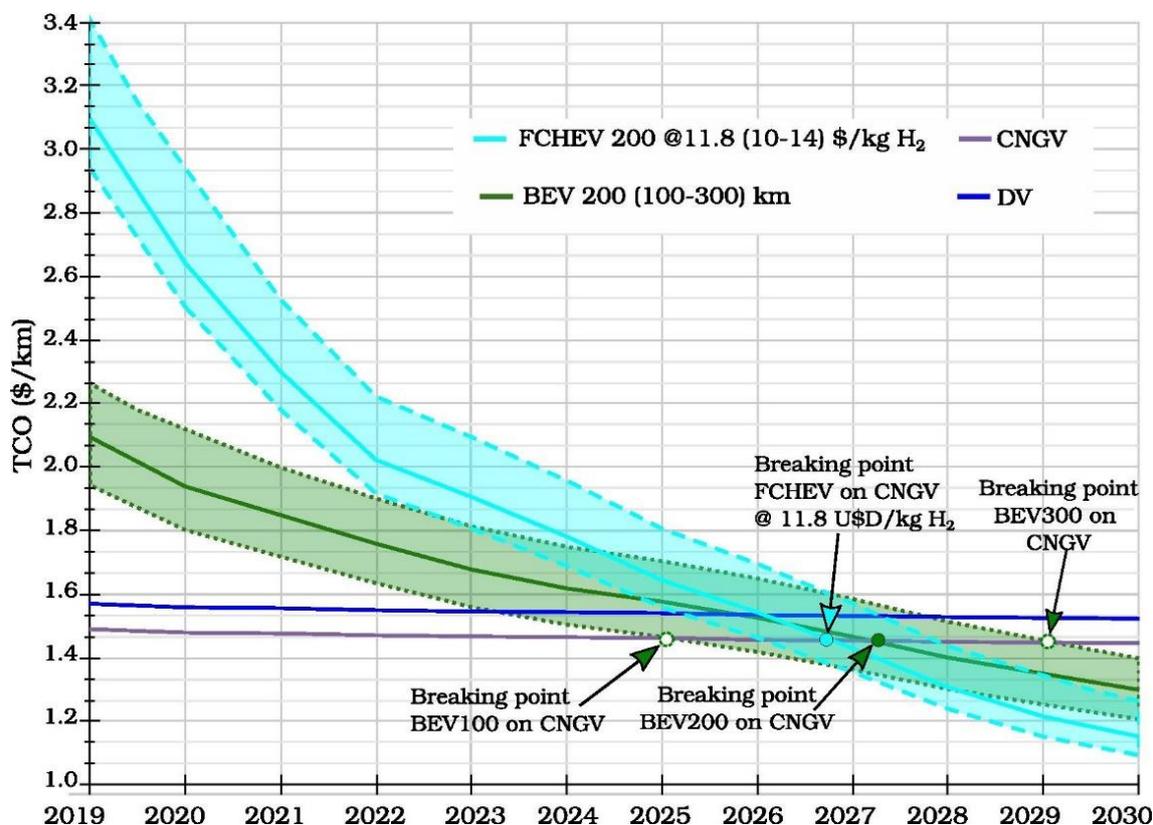


Figura 2. Comparazione del TCO delle principali tecnologie di propulsione usate nel settore del trasporto pubblico locale. FCHEV: Fuel Cell Hybrid Electric Vehicle; BEV: Battery Electric Vehicle (100, 200, 300: con percorrenze medie giornaliere, fino a 100, 200 e 300 miglia, pari a circa 160-320-480 km); CNGV: Compressed Natural Gas Vehicle; DV: Diesel Vehicle ^{14,14}

I principali vantaggi nell'uso di mezzi alimentati a celle a combustibili rispetto le altre tecnologie a zero emissioni (in primis a batterie) sono:

- maggiore flessibilità di servizio, caratterizzata da una maggiore autonomia di mezzo paragonato ai bus elettrici, che ne fanno, all'interno dei mezzi a emissioni nulla, la tecnologia più adatta per le lunghe percorrenza (in competizione con tecnologia a bio-metano);
- basso se non, nessun impatto sulle operazioni correnti del servizio (in termini di tempo di rifornimento e autonomia);
- assenza di infrastrutture di ricarica elettriche (es. filobus o alcuni bus a batterie ricaricabili), in aree critiche o di difficile installazione (linee a catena o pali di ricarica in contesto urbano o anche in contesto extraurbano).

Dal punto di vista delle infrastrutture, la soluzione H2 necessita di ulteriori sistemi legati alla produzione del H2, la sua distribuzione e dispensazione, in particolare il tema delle stazioni di rifornimento viene trattato nel prossimo capitolo.

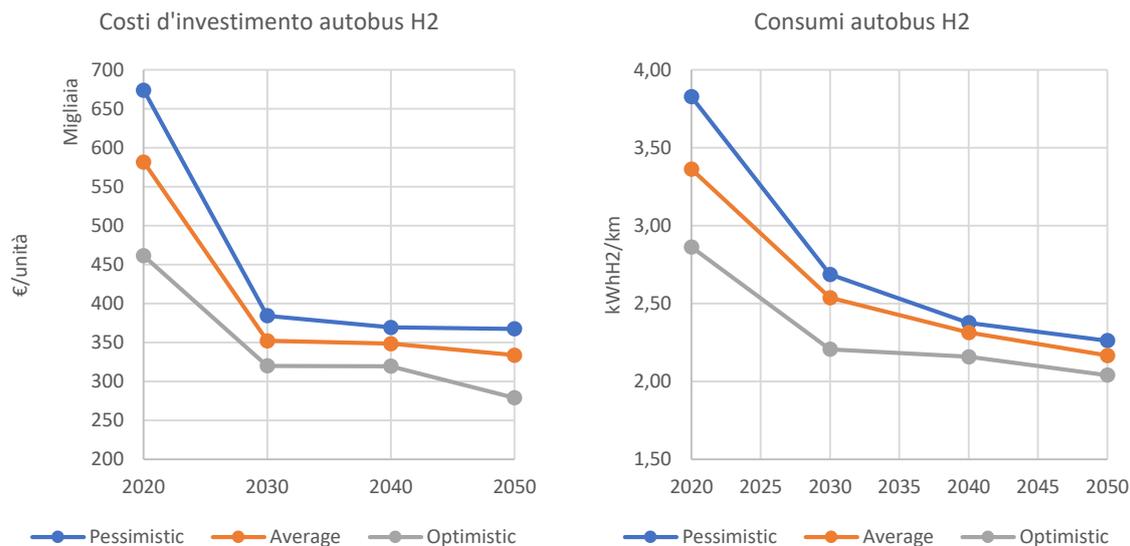


Figura 3. Costi di investimento e consumi specifici di idrogeno al chilometro per gli autobus a idrogeno secondo letteratura. Fonti: (Viesi, Crema and Testi, 2017)(FCHJU, 2017d)(H2IT, 2019)(Zhang, Zhang and Xie, 2020)(Coleman et al., 2020)(Ajanovic, Glatt and Haas, 2021).

3.2 Le stazioni di rifornimento idrogeno per autobus

Una stazione di rifornimento idrogeno è un'infrastruttura preposta al rifornimento dei mezzi elettrici a pila a combustibile con idrogeno ad alta pressione. Diverse tipologie di infrastrutture sono preposte al rifornimento delle varie forme di mobilità, sia stradale (e.g., auto, camion, bus) che ferroviaria o, in futuro, marittima o aeronautica. Le infrastrutture ad oggi più diffuse alimentano mezzi per il trasporto pubblico locale, flotte di veicoli o le iniziali flotte di mezzi pesanti per il trasporto delle merci, piuttosto che il rifornimento di rotabili.

Esistono più configurazioni di stazioni di rifornimento idrogeno, o Hydrogen Refueling Stations (da qui in avanti HRS). Le fasi comuni di ogni HRS sono l'approvvigionamento, la compressione/lo stoccaggio, e l'erogazione. Queste fasi possono essere eseguite con diverse modalità dando origine a diversi tipi di HRS.

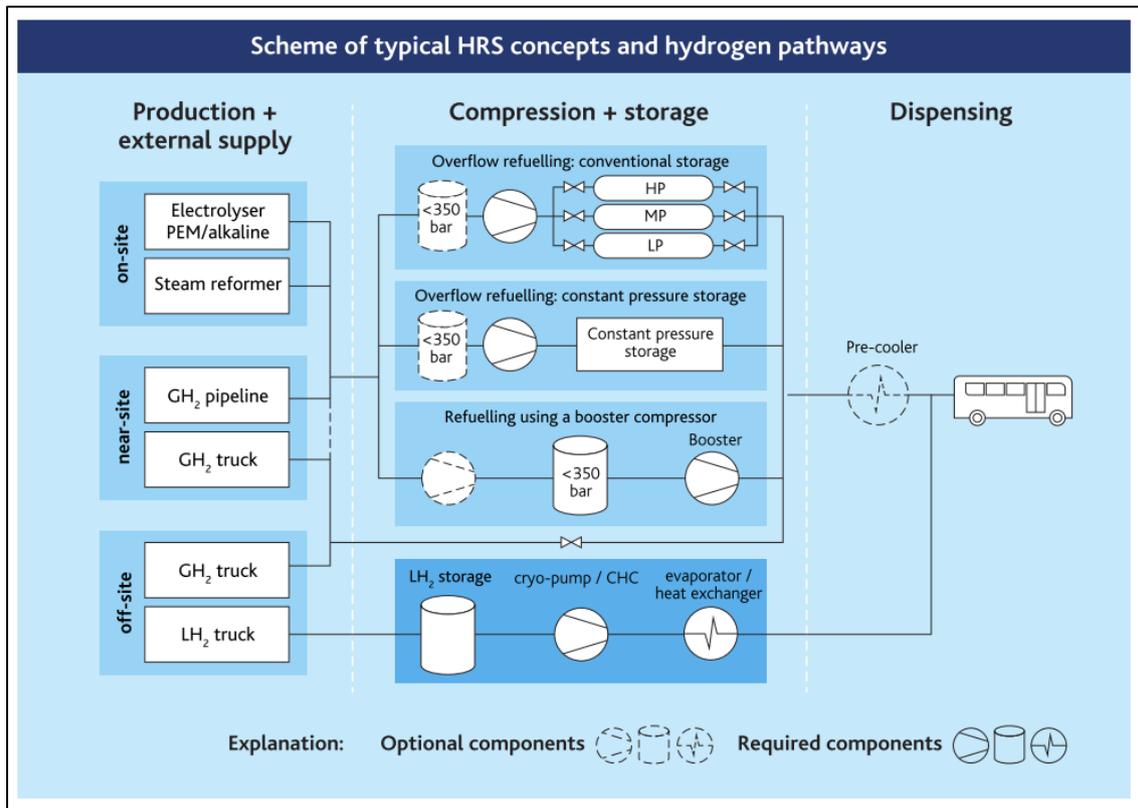


Figura 4. Schema semplificato delle possibili configurazioni della filiera idrogeno per stazioni di rifornimento autobus.

L'idrogeno per il rifornimento può essere generato nel sito stesso dell'HRS, oppure importato da siti di produzione esterni. Nel primo caso, indicato con *on-site supply*, l'idrogeno viene prodotto tramite elettrolisi e/o tramite reforming del gas naturale, o *steam methane reforming* (da qui in avanti SMR).

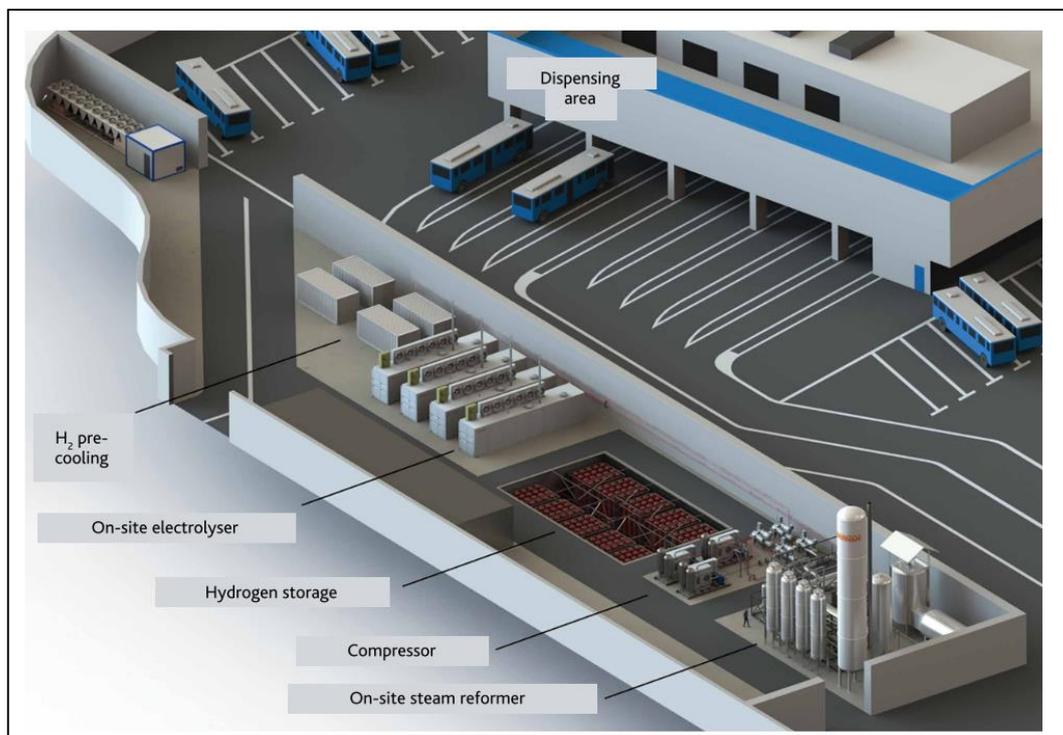


Figura 5. Illustrazione di una tipologia di stazione di rifornimento autobus con produzione di idrogeno in situ sia via elettrolisi che via steam methane reforming (SMR).

L'approvvigionamento di idrogeno da siti di produzione esterni al distributore comporta intrinsecamente il trasporto dell'idrogeno fino alla HRS, incrementandone il costo. Tuttavia, questo sovraccosto può essere bilanciato dai minori costi di produzione propri di impianti centralizzati di produzione (sia con elettrolisi che con SMR) di grandi dimensioni.

L'idrogeno trasportato verso la HRS può essere in forma gassosa o liquida, tramite apposite autocisterne (trailer). Nel primo caso, il quantitativo di idrogeno trasportato varia tra le centinaia di kg fino alla tonnellata, con pressioni comprese tra i 200 e i 500 bar (con trasporto a 500 bar ancora non disponibile al momento della scrittura in Italia, ma in via di sviluppo). Nel secondo caso invece, per via della maggiore densità volumetrica dell'idrogeno liquido, un'autocisterna può arrivare a trasportare fino a 3000 kg di idrogeno. Tuttavia, la liquefazione dell'idrogeno è un processo dispendioso a livello di investimento iniziale, e per via delle basse temperature da raggiungere (-253°C) oltre che a livello energetico (circa un 30% dell'energia per produrre l'idrogeno). Con la tecnologia attuale, infatti, la liquefazione di 1 kg di idrogeno richiede 11 kWh di energia (circa un terzo del contenuto energetico di 1 kg di idrogeno [33.3 kWh/kg]) e viene giustificato per elevati volumi di produzione e trasporto. Ulteriori sovraccosti propri del trasporto di idrogeno liquido sono dovuti all'autocisterna stessa, la quale necessita di isolamenti speciali per il mantenimento delle basse temperature. Inoltre, nonostante l'isolamento delle autocisterne, una frazione dell'idrogeno liquido tenderà ad evaporare (fenomeno del "boil-off", pari a circa lo 0,5% al giorno) comportando un'ulteriore perdita di efficienza nel processo di processo e accumulo. Tuttavia, il tema dell'idrogeno liquido sta prendendo sempre più rilevanza dato che promette per alcune applicazioni un adeguato accumulo a bordo veicolo al fine dell'autonomia, ma anche un design delle stazioni di rifornimento per cui il processo di compressione risulta semplificato dalla sola vaporizzazione dell'idrogeno stesso.

Mass of hydrogen and energy per m ³		
Pressure level	Mass contained in 1m ³	Energy contained in 1m ³
1 bar (0.1 MPa), 25°C	0.081 kg H ₂	10 MJ (2.7 kWh)
100 bar, 25°C	7.67 kg H ₂	922 MJ (256 kWh)
300 bar, 25°C	20.54 kg H ₂	2,469 MJ (686 kWh)
500 bar, 25°C	30.81 kg H ₂	3,704 MJ (1,029 kWh)
Liquid hydrogen (at boiling point)	70.8 kg H ₂	8,501 MJ (2,361 kWh)

Figura 6. Proprietà fisiche dell'idrogeno. Massa e densità volumetrica di energia.

In linea generale, il bilanciamento fra il minor costo di trasporto dell'idrogeno compresso e il maggiore quantitativo di idrogeno trasportabile in forma liquida favorisce l'idrogeno compresso su distanze corte e quello liquido per distanze maggiori. Oltre ciò vi è anche un aspetto legato alla frequenza di trasporto (t/gg) che impatta sulla scelta del tipo di trasporto.

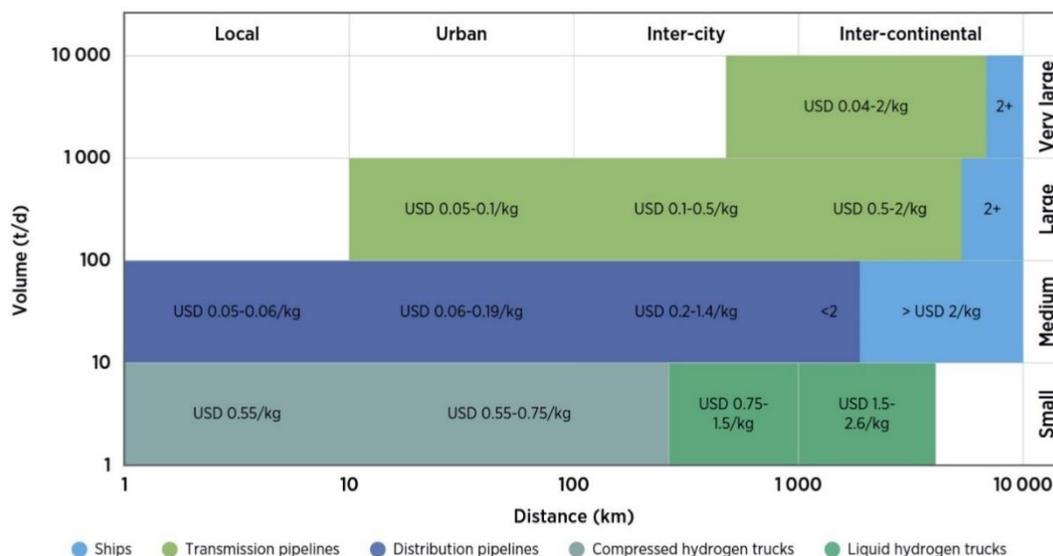


Figura 7 Ottimizzazione del trasporto idrogeno a seconda della distanza tra sito di produzione e uso, e quantità giornaliera richiesta. Costo espresso in \$₂₀₂₁/kg.¹⁵

Scheda 1. Fornitura di Idrogeno alla stazione

1. Idrogeno trasportato in loco in **forma liquefatta** tramite trailer: fornito in volumi di grandi dimensioni come **gas compresso** in cilindri: scalabile da piccole quantità a forniture maggiori

L'idrogeno fornito viene prodotto da reforming del gas naturale in grandi impianti centralizzati o come by-product dell'industria chimica. A volte fornito direttamente da una pipeline

2. Generazione on-site

- impianti di **reforming del gas naturale** di piccola scala
- **elettrolisi** da fonti rinnovabili e/o con prelievo da rete elettrica



In ogni caso, è necessario un processo di purificazione dell'idrogeno prima dello stoccaggio nella HRS. Azoto, vapore d'acqua e gas nobili possono compromettere le prestazioni delle celle a combustibile dei bus, monossido di carbonio, ammoniaca e zolfo invece possono anche degradare la cella nel tempo, comportandone una prematura sostituzione. L'ossigeno e il vapore d'acqua vengono rimossi dal flusso di idrogeno tramite *DeOxo-Dryers*, mentre per le altre impurità viene utilizzato il metodo *Pressure Swing Absorption* (PSA) o altra tecnologia di purificazione.

Indipendentemente dalla modalità di approvvigionamento dell'idrogeno, è necessaria la sua compressione per lo stoccaggio nella HRS. Nel caso della produzione in situ tramite elettrolisi o SMR, l'idrogeno viene compresso per raggiungere le pressioni di stoccaggio. Nel caso di consegna di

¹⁵ Source: IRENA report 'Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal'.

idrogeno compresso con autocisterna, lo stoccaggio in situ può essere riempito senza bisogno di compressione, ma solo fino all'equalizzazione delle pressioni nei due volumi, segue quindi il bisogno di un compressore per completare la consegna. Viene inoltre fatta una distinzione tra compressori che operano in maniera pressoché continua e compressori (detti *booster*) che operano solamente alla necessità di rifornimento. I compressori possono essere di diversi tipi: volumetrici (reciprocanti e a diaframma) o ionici. Nel caso della consegna di idrogeno in forma liquida, la pressione necessaria viene raggiunta tramite pompaggio seguito da una rigassificazione.

Lo stoccaggio è un altro elemento sempre presente nelle HRS. La capienza dei componenti di stoccaggio varia da un caso applicativo all'altro (anche in base ai requisiti di affidabilità e ridondanza necessari per garantire il normale funzionamento della flotta bus). Esistono diversi tipi di stoccaggio, caratterizzati da diverse modalità di rifornimento dei bus, descritti di seguito.

Lo stoccaggio di tipo "a cascata" (*cascade storage*) prevede lo stoccaggio in tre serbatoi, ognuno con un diverso livello di pressione, e almeno uno al di sopra della pressione massima del serbatoio dell'autobus da rifornire. L'autobus si rifornirà dapprima dal serbatoio di stoccaggio con pressione minore, fino all'equalizzazione, per passare successivamente al secondo (avente un livello di pressione maggiore), e infine al terzo a pressione più alta. L'equalizzazione della pressione con il terzo elemento di stoccaggio della cascata assicura il pieno riempimento del serbatoio del bus.

Lo stoccaggio a pressione costante prevede il mantenimento di un serbatoio nella HRS ad una pressione costante tramite un compressore che opera in maniera continua (serbatoi isobarici). Il livello di pressione viene mantenuto al di sopra di quello massimo del serbatoio del bus, permettendo il rifornimento del bus.

Lo stoccaggio a pressione inferiore della pressione massima del serbatoio del bus è possibile se nella HRS è presente un compressore booster. Questo viene attivato al momento del rifornimento per raggiungere le pressioni necessarie. Un compressore di questo tipo differisce da quello necessario per lo stoccaggio a pressione costante in quanto progettato per maggiori portate e per soddisfare un servizio di rifornimento performante.

Lo stoccaggio dell'idrogeno liquido infine deve garantire il mantenimento delle basse temperature (-253°C) per minimizzare l'evaporazione dell'idrogeno stesso ("boil-off"). L'idrogeno che inevitabilmente evaporerà può essere compresso e immesso nel serbatoio del bus o trovare altri utilizzi nella HRS come la generazione di energia. L'idrogeno liquido viene pompato attraverso un rigassificatore per raggiungere la pressione di erogazione.

Infine, la misurazione del quantitativo di idrogeno erogato ad ogni rifornimento risulta tecnologicamente complessa se effettuata all'erogatore (come nelle tradizionali stazioni di rifornimento). Quindi si propone una misurazione tramite pesa del bus prima e dopo il rifornimento.

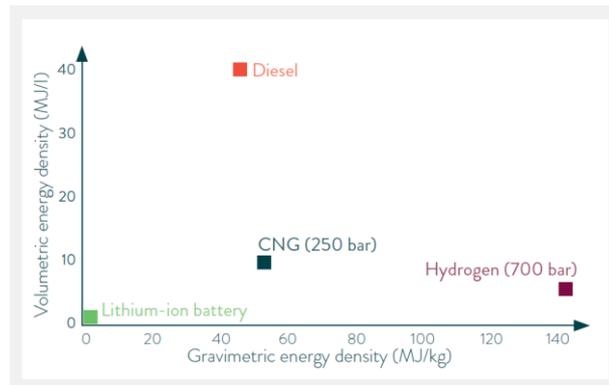
Scheda 2. Accumulo di Idrogeno

Idrogeno liquido: necessità di un sito criogenico per accumulo idrogeno a -253°C

Idrogeno compresso: solitamente il contenitore viene scaricato dal trailer che lo trasporta sul sito stesso e sostituito quando vuoto

- Per grandi quantità viene usato un tube trailer
- Per piccole quantità l'idrogeno viene consegnato in bombole, consegnate anche a pacchi

Se generato **on-site**, l'idrogeno sarà trasferito dal luogo di produzione al luogo di stoccaggio tramite un compressore



3.3 Parametri caratteristici tecnici stazioni di rifornimento idrogeno per autobus

Parametro di primaria importanza è la **domanda giornaliera di idrogeno**. La stima di questo parametro deve avvenire con la maggior accuratezza possibile. Una sovrastima comporterebbe un sovradimensionamento (e conseguente sottoutilizzo) della HRS, e quindi un prezzo dell'idrogeno più alto. Una sottostima invece andrebbe a ledere un aspetto fondamentale del servizio di TPL, ossia l'affidabilità dei mezzi circolanti.

L'incremento del numero degli autobus a idrogeno all'interno della flotta del TPL (detto "ramp-up") è un fenomeno di cui si deve quindi tener conto nella progettazione della HRS, la quale deve essere pronta all'espansione. È consono che il tasso di espansione della flotta autobus a idrogeno avvenga con acquisti di minimo 10-20 bus a lotto, in quanto si assicurano prezzi di acquisto minori per unità oltre che aggiornamento e potenziamento dell'impianto di elettrolisi e distribuzione.

Per mantenere le tempistiche di rifornimento simili a quelle proprie degli autobus a gasolio, è necessario analizzare sia il numero di erogatori sia il regime programmato di utilizzo di questi. La quantità di idrogeno immagazzinabile nel serbatoio del bus (30-50 kg), il tempo necessario per il rifornimento di un'unità e di 10-20 minuti. Se si desidera ottenere tempi di rifornimento dell'intera flotta minori sarà necessario stabilire un regime di rifornimento in parallelo distribuito su più erogatori, andando ad aumentare i costi di investimento ma a diminuire quelli di addetti ai lavori. Al contrario, se si ipotizzassero tempi di rifornimento dell'intera flotta più lunghi (ad esempio nelle ore notturne), sarebbero necessari meno erogatori e quindi minori investimenti, ma maggiori costi di addetti ai lavori.

Aspetto essenziale di qualsiasi servizio di TPL è quello di presentare elevata **affidabilità** e quindi **disponibilità** (98-100%). Per garantire ciò, è necessario che anche le attività di rifornimento siano affidabili e disponibili. Con affidabilità si intende la capacità della HRS di soddisfare la domanda di rifornimento della flotta bus, mentre con disponibilità viene indicato il rapporto tra il servizio di rifornimento offerto realmente dalla HRS e quello che potenzialmente potrebbe offrire. Per determinare l'affidabilità è necessario uno studio riguardo a tutti i possibili rischi (mediante analisi del rischio) di non funzionamento della HRS, assieme ad una mappatura standardizzata delle strategie per evitare tali rischi.

Una misura che viene ripresa anche in altri contesti è quella della **ridondanza**. Essa prevede l'installazione di un componente aggiuntivo rispetto al numero di progetto (n+1), che in caso di guasto è pronto all'uso durante il periodo di riparazione. È tuttavia necessario osservare che implementare la misura della ridondanza comporta non solo investimenti maggiori, ma anche sovradimensionamento della HRS rispetto alla domanda, incrementando i costi dell'idrogeno erogato.

Ulteriore elemento che incide sull'affidabilità della HRS è lo stoccaggio di idrogeno nel sito. Uno stoccaggio con livelli di pressione che permettono il rifornimento senza bisogno di un compressore aggiuntivo evitano totalmente il rischio di rottura del componente (il compressore appunto). Tuttavia, aumentando i livelli di pressione salgono anche i costi di investimento. Il dimensionamento dello stoccaggio deve tenere conto dell'uso della HRS in termini di quantità e prestazioni di rifornimento, oltretutto esiste in Italia la regola tecnica che sovraintende alla distribuzione dell'accumulo in Una HRS insieme alle distanze di sicurezza da rispettare.

Un'altra misura a sostegno della ridondanza è assicurarsi che ci sia un supporto in caso di guasto per l'approvvigionamento dell'idrogeno. Questo aspetto è particolarmente inerente alle HRS in cui è prevista la produzione di idrogeno in situ, ma la valutazione del rischio è consono condurla anche nel caso in cui l'approvvigionamento di idrogeno avviene dall'esterno della HRS.

Altre misure che possono essere implementate per garantire affidabilità sono: assicurarsi di avere scorte necessarie per pezzi di ricambio, facile reperibilità di personale specializzato, obblighi contrattuali di mantenimento affidabilità, progettazione modulare di HRS che permette operazioni di rifornimento in parallelo, assicurarsi che gli interventi di manutenzione avvengano tra un periodo di rifornimento e l'altro, assicurarsi della presenza di mezzi sostitutivi (anche a gasolio) in caso di guasto di un mezzo della flotta bus idrogeno.

Riguardo alla domanda di energia di una HRS, essa varia a seconda del tipo di approvvigionamento dell'idrogeno. I consumi saranno chiaramente maggiori nel caso in cui l'idrogeno venga prodotto in situ. Tali consumi coincidono con energia elettrica, nel caso di elettrolisi, o metano, nel caso di produzione tramite SMR.

Un ulteriore parametro da considerare è il cosiddetto "**footprint**" della HRS, ovvero delle dimensioni necessarie in termini di suolo occupato. A volte, dati i criteri di distanze di sicurezza minime da rispettare, il parametro "footprint" potrebbe rappresentare il primo elemento vincolante per il dimensionamento della flotta bus a idrogeno. Particolarmente vincolante diventa poi nel caso in cui si desidera installare la HRS all'interno del deposito bus. Una possibile soluzione che permette maggiore flessibilità è quella di prevedere la costruzione della HRS in un sito con minori restrizioni spaziali. In linea generale, le HRS che prevedono produzione in situ di idrogeno richiedono più suolo rispetto a quelle a cui viene consegnato idrogeno. A Loro volta, le stazioni a cui viene consegnato idrogeno presentano diversi footprint a seconda dello stato dell'idrogeno (gassoso o liquido). A parità di idrogeno immagazzinato, infatti, l'idrogeno in forma gassosa richiede maggior spazio rispetto a quello in forma liquida. Per una HRS dotata di autoproduzione di idrogeno con capacità di rifornimento di 1.000 kg_{H2}/giorno l'area totale occupata è stimata essere pari a 700 m², 1.700 m² per una capacità di 3.000 kg_{H2}/giorno, e 3.000 m² per 6.000 kg_{H2}/giorno. Di queste aree, la porzione destinata all'unità di produzione idrogeno è invece di 270, 476, 780 m², rispettivamente. Invece per una HRS a cui viene consegnato idrogeno con capacità di rifornimento di 1000 kg_{H2}/giorno l'area totale occupata è stimata essere pari a 700 m², 1.200m² per una capacità di 3000kg_{H2}/giorno, e 1900m² per 6.000 kg_{H2}/giorno. Lo spazio richiesto per l'unità di compressione invece varia tra i 150 e i 250 m², mentre quello per un'unità di pompaggio di idrogeno liquido è inferiore ai 100 m². Per quanto riguarda lo spazio necessario per lo stoccaggio di idrogeno gassoso sono stati stimati essere necessari 50-100 m² per

immagazzinare 1.000 kg/H₂ a pressioni maggiori di 300bar. Mentre, rimarrebbe costante a 100 m² per il sistema di stoccaggio a idrogeno liquido in quanto i serbatoi si sviluppano in altezza. Lo spazio necessario per i singoli erogatori tiene conto anche della superficie occupata dall'autobus stesso di 30-40m² (in aggiunta agli spazi di manovra) ed è stimato essere tra i 70 – 170 m².

All'interno del piano evolutivo PREPM-TPL (si veda anche il paragrafo 3.6), l'impianto di rifornimento previsto dalla società TPL FVG Scarl (consorzata APT), ricompreso altresì nell'ambito del progetto Horizon, per l'ambito territoriale goriziano (con taglia di rifornimento pari a circa 300 kg/giorno su 15 bus) necessita di circa 200 – 300 m², largamente ospitabili, anche includendo ulteriori installazioni e distanze di sicurezza, nell'area individuata. L'impianto per la produzione di idrogeno prevede l'installazione di un elettrolizzatore di taglia 1 MW posto all'interno di un container 40' (40 piedi, base di 12 m per 2,4 m). Questo occuperà un'area di circa 1.360 m² se si considera una distanza di sicurezza necessaria di 15 m. Per l'alimentazione dell'elettrolizzatore è prevista l'installazione di 2 MW di impianto fotovoltaico. Stimando una densità di potenza compresa fra 0,111 e 0,143 kW di picco per metro quadro di suolo occupato, si è determinato che sia necessaria una superficie compresa tra i 14.000 e i 18.000 m², per raggiungere i 2 MW di impianto. Questi valori, assieme al suolo occupato dall'impianto di elettrolisi e dalla HRS, sono comunque rientranti nello spazio a disposizione di 37.900 m².

La stazione di rifornimento per gli autobus H₂ previsti dal PREPM-TPL (anche qui veda il paragrafo 3.6) nell'ambito territoriale triestino richiede indicativamente, nel caso in cui si decida per un'autoproduzione del vettore energetico, di un'estensione minore o al più pari a quella definita più sopra per l'ambito goriziano fronte del minore numero di autobus (10), inizialmente previsti.

3.4 Parametri caratteristici economici stazioni di rifornimento idrogeno per autobus

I **costi** associati con le HRS si dividono in costi di investimento (CAPEX) e costi operativi (OPEX). In particolare, questi ultimi risulteranno più elevati nel caso della produzione in situ dell'idrogeno. Per la produzione tramite elettrolisi si ipotizza un consumo dell'elettrolizzatore tra i 50 e i 70 kWh. Nel caso di produzione tramite SMR invece, sono necessari generalmente tra i 4,5 e i 5,5 Nm³ di metano per ogni kg di idrogeno prodotto.

La produzione di idrogeno in situ avrà anche un forte impatto sui costi di investimento. Il costo dell'unità di produzione idrogeno, infatti, rappresenta circa la metà del costo complessivo della HRS. Viene stimato che per un'unità di produzione con elettrolizzatore con capacità di 1 ton_{H₂}/giorno, occorra un investimento iniziale di 5,5 milioni di euro, 10,7 milioni per una capacità di 3 ton_{H₂}/giorno e 18 milioni per una capacità di 6 ton_{H₂}/giorno. Tuttavia, il contributo del CAPEX al costo di un kg di idrogeno prodotto è via via minore maggiori sono le ore di funzionamento annue dell'elettrolizzatore. In tal caso, infatti, il contributo predominante al costo dell'idrogeno sarà dei soli costi operativi.

A riguardo dell'idrogeno consegnato dall'esterno della HRS, questo avrà dei costi di produzione minori rispetto a quello autoprodotta. Grandi produzioni centralizzate infatti presentano costi inferiori a parità di volumi di produzione, e migliori efficienze, assicurando costi al kg di idrogeno minori. Sono presenti, tuttavia, i sovraccosti del trasporto, che variano a seconda della modalità (idrogeno gassoso o liquido), della distanza, e dei livelli di pressione utilizzati. Nonostante i sovraccosti, però, il risparmio derivato dalla mancata installazione di sistemi di produzione idrogeno renderà in linea generale economicamente più percorribile questa strada, nel momento in cui dovessero rendersi disponibili produzioni da tali impianti, a partire dal contesto in attuazione dell'Hydrogen Valley transfrontaliera.

I costi (CAPEX) relativi allo stoccaggio dell'idrogeno in stato gassoso a 500 bar variano tra gli 800 e i 1.500 €/kg_{H2}, mentre si abbassano a 100 €/kg_{H2} per idrogeno liquido, ma il loro contributo al costo finale dell'idrogeno prodotto rimane relativamente basso (0,5 €/kg_{H2}), dato il forte utilizzo e il lungo tempo di vita di questi sistemi. D'altro canto, i costi associati all'unità di compressione sono significativi, e si aggirano attorno ai 4.000 – 8.000 €/kW. Inoltre, consumando energia elettrica (3-5 kWh/kg_{H2}), i compressori incideranno anche sui costi operativi e dovrà essere garantito che l'energia usata sia di origine rinnovabile. Le pompe per idrogeno liquido presentano sia costi d'investimento che consumi inferiori rispetto ai compressi per idrogeno liquido, favorendo le applicazioni finali (downstream) delle infrastrutture.

Infine, i costi delle unità erogatrici presentano costi nettamente inferiori rispetto al resto delle componenti sopraelencate (100.000 – 300.000 €). Pertanto, il loro impatto sul costo dell'idrogeno prodotto sarà relativamente minimo.

In conclusione, i costi di investimento necessari per una HRS facente uso di idrogeno prodotto in situ sia tramite elettrolisi che tramite SMR sono stimati essere di 16 milioni di euro per una capacità di rifornimento di 1 ton_{H2}/giorno, 28 milioni per una capacità di 3 ton_{H2}/giorno e 35 milioni per una capacità di 6 ton_{H2}/giorno.

3.5 Costo di produzione H₂

Di seguito vengono riportati alcuni valori di costi specifici dell'idrogeno ("Levelized Cost of Hydrogen", LCOH) da considerare per la valutazione dei costi operativi di una flotta autobus. Questi valori sono propri di una stazione di rifornimento per autobus con produzione in situ di idrogeno (differenziando tra elettrolisi e SMR), e tengono conto degli elementi di compressione, stoccaggio ed erogazione sopracitati.

Tabella 3. Costi dell'idrogeno (all'erogatore) prodotti da HRS con autoproduzione da elettrolisi e SMR.

	Capacità HRS [kg/giorno]	Costo vettore primario		LCOH [€/kg]
Elettrolisi	1.000	LCOE [cent€/kWh]	10-16	10-14
	6.000		10-16	7,5-11
SMR	1.000	Prezzo metano [€/cent/kWh]	5-10	6-9
	6.000		5-10	4-7

Si consideri tuttavia, che è prevista una forte riduzione di costo dell'idrogeno prodotto¹⁶, mediante economia di scala degli elettrolizzatori e componenti della filiera, un uso prevalente di energia rinnovabile (con LCOE, Levelized Cost of Electricity, estremamente bassi), miglioramento delle prestazioni di conversione degli elettrolizzatori e celle a combustibile, oltre che un'ottimizzazione dei business case (maggiori ore di funzionamento e sfruttamento dei prodotti collaterali di produzione H₂ come ossigeno e calore).

¹⁶ Fonte: IRENA. IRENA (2022), Global hydrogen trade to meet the 1.5°C climate goal: Part III – Green hydrogen cost and potential, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

3.6 Casi esempio di implementazione Hydrogen Valley e TPL a idrogeno (fuel cell)

Nel seguente capitolo saranno riportati i principali esempi di sperimentazioni e progetti avanzati di trasporto pubblico alimentato ad idrogeno.

Al momento attuale (2022), esistono in Europa 176 stazioni di rifornimento in Europa, di cui 57 di queste adibite per mezzi con accumulo a bordo di 350 bar, tipici per il trasporto pubblico urbano. La concentrazione maggiore risiede in Germania, Benelux, Danimarca e Francia.



Figura 8. Distribuzione delle HRS attive e in fase di realizzazione in Europa.¹⁷

3.6.1 Progetti supportati da FCH JU

Il partenariato pubblico privato della FCH JU (Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking 1 e 2 e la successiva CHE, Clean Hydrogen Partnership) ha finanziato sei progetti europei per il trasferimento di Bus nel trasporto pubblico: HyTransit¹⁸, HighVelocity, 3Emotion, MEHRLIN, JIVE e JIVE2.



¹⁷ Fonte: <https://h2-map.eu/>

¹⁸ Fonte: CORDIS; <https://cordis.europa.eu/project/id/303467/reporting/it>

3.6.2 Progetti di implementazione e pianificazione TPL a idrogeno (fuel cell) in Italia

Anche l'Italia ha visto negli ultimi anni il fiorire di diverse iniziative legate alla mobilità ad idrogeno.¹⁹ Tra le varie si citano quelle di:

- **Bolzano** (CHIC and JIVE): 5 autobus da 12 m in funzione. 22 pianificati.
- **Bologna**: 127 autobus pianificati. 34 a dicembre 2024 e il resto a giugno 2026.
- **Mestre**: 90 autobus a idrogeno (più 33 elettrici) tra il 2024 e il 2026.

3.6.3 Sinergie tra Hydrogen Valley e TPL a idrogeno (fuel cell) in Europa

Oltre le progettualità specifiche riportate in 0 oppure quelle nate dalle stesse municipalità del capitolo precedente, esistono iniziative legate alla mobilità H2 che nate dalla sinergia con lo sviluppo di vere e proprie H2 Valley, dove l'idrogeno viene inizialmente prodotto per altre finalità e dove il trasporto pubblico locale usufruisce delle infrastrutture di produzione di altri siti sfruttando bassi costi di rifornimento e garanzia di fornitura.

Monaco di Baviera [HYBAYERN]²⁰:

- Capacità (investimento): 1.18 ton_{H2}/giorno (45.08 MEUR).
- Filiera: produzione (PEM), trasporto (trailer truck CH2 [idrogeno compresso]), distribuito per mobilità a 700 o 350 bar, uso finale auto e autobus.
- TPL Idrogeno: 5 autobus a idrogeno a Hofolding e 5 a Glonn (Solaris Urbino 12 m).

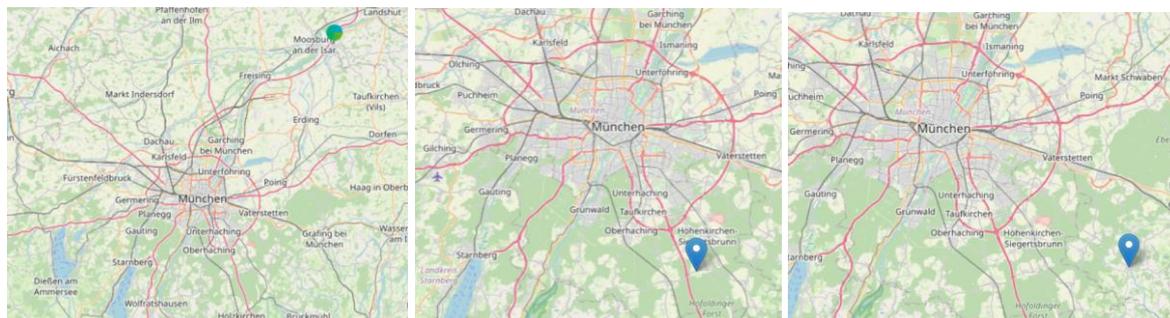


Figura 9. Hydrogen Valley di Monaco di Baviera, HyBayern (indicatore verde). Implementazioni autobus a idrogeno nelle immediate vicinanze di Monaco (indicatori blu) a Hofolding e Glonn.

Mannheim [H2RIVERS]²¹:

- Capacità (investimento): 50 MEUR (dato di produzione H2/giorno ad oggi non disponibile).
- Filiera: produzione (PEM e by-product altri processi), stoccaggio (bombole CH2), trasporto (trailer truck CH2), distribuito per mobilità a 700 o 350 bar, uso finale auto, muletti e autobus.
- TPL Idrogeno: Pianificati: 10 autobus da 10.7 m prodotti da Caetano per Wiesbaden, 13 autobus per Francoforte.

¹⁹ <https://fuelcellbuses.eu/>

²⁰ Fonte: [H2V HYBAYERN](#)

²¹ Fonte: [H2V H2RIVERS](#)

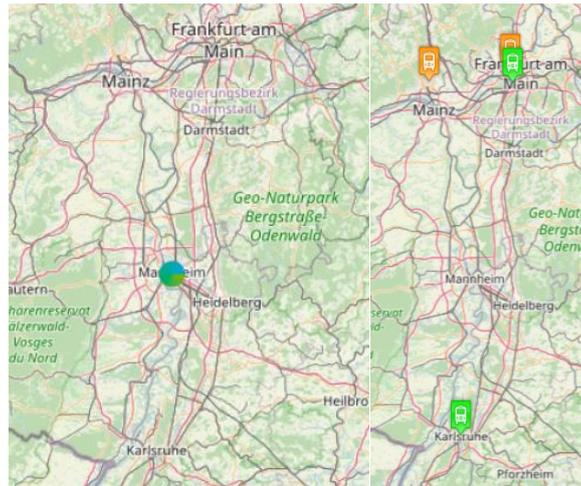


Figura 10. Hydrogen valley di Mannheim, H2Rivers (indicatore verde). Implementazioni autobus a idrogeno nelle immediate vicinanze di Mannheim (indicatori verde chiaro [implementati], indicatori arancioni [pianificati]).

Rotterdam [Europe's Hydrogen Hub]²²:

- Capacità (investimento): 3180 ton_{H2}/giorno (1000 MEUR).
- Filiera: energia da eolico offshore, produzione (PEM e SMR con CCS), stoccaggio (bombole CH₂, ammoniaca, LOHC, altro), trasporto (pipeline CH₂), distribuito per mobilità a 700 o 350 bar, uso finale auto, autobus, navi (ma anche energia [impianti termoelettrici a gas, iniezione nella rete di gas naturale], feedstock per industrie [industria chimica {fertilizzanti}, raffinerie])
- TPL Idrogeno: Implementati: 20 autobus da 12m prodotti da Solaris per South Holland. 2 autobus urbani 13 m, serbatoio 5 bombole per un totale di 40 kg di idrogeno (prodotti da Van Hool, con celle Ballard). Pianificati: 4 autobus extraurbani South Holland



Figura 11. Hydrogen Valley di Rotterdam, Europe's Hydrogen Hub (indicatore verde). Implementazioni autobus a idrogeno a Rotterdam e dintorni (indicatori blu).

Groningen [HEAVENN]²³:

- Capacità (investimento): 100 ton_{H2}/giorno (2800 MEUR).
- Filiera: produzione (PEM, ALK e by-product altri processi), stoccaggio (CH₂ nel sottosuolo [caverne]), trasporto (truck, pipeline, nave CH₂), distribuito per mobilità a 700 o 350 bar, uso finale auto, autobus, camion, navi (ma anche energia [celle a combustibile stazionarie], feedstock per industrie).

²² Fonte: [Europe's Hydrogen Hub H2V](#)

²³ Fonte: [HEAVENN 2V, FUEL CELL BUSES](#)

- TPL Idrogeno: Implementati: 22 autobus per Groningen (2 di questi sono 13 m, 40 kg_{H2}, 8 bombole, prodotti da Van Hool con celle Ballard). Pianificati: 20 bus da 12 m per Emmen (a due piani) forniti da Wrightbus.

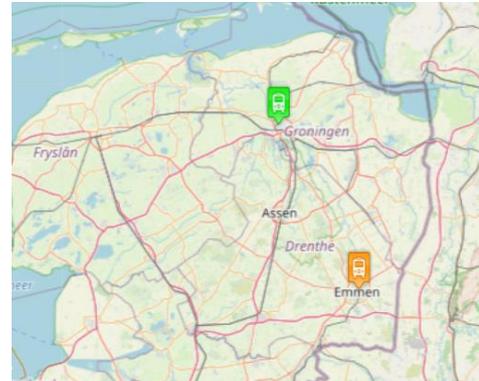
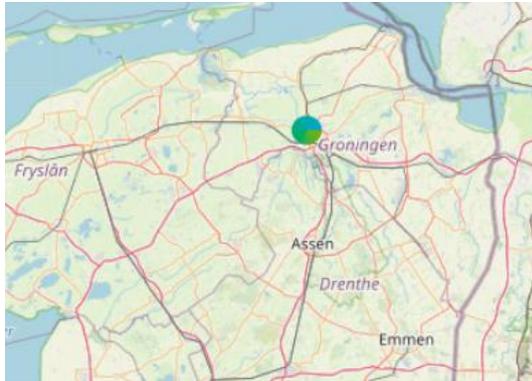


Figura 12. Hydrogen valley di Groningen, Heavenn (indicatore verde). Implementazioni autobus a idrogeno nelle immediate vicinanze di Groningen e dintorni (indicatori verde chiaro [implementati], indicatori arancioni [pianificati]).

Oldenburg [HYWAYS for future]²⁴:

- Capacità (investimento): 3 ton_{H2}/giorno (90 MEUR).
- Filiera: energia elettrica da rete per produzione (PEM), stoccaggio (CH₂ bombole), trasporto (truck CH₂), distribuito per mobilità a 700 o 350 bar, uso finale auto, autobus, camion.
- TPL Idrogeno: Non ci sono sistemi di trasporto pubblico locale nelle vicinanze.



Figura 13. Hydrogen valley di Oldenburg, Hyways for future (indicatore verde).

Amburgo [Norddeutsches Reallabor – Living Lab Northern Germany]²⁵:

- Capacità (investimento): 10 ton_{H2}/giorno (400 MEUR).
- Filiera: produzione (PEM e ALK), stoccaggio (CH₂ bombole e sottosuolo [caverna]), trasporto (truck e pipeline H₂ compresso), distribuito per mobilità a 700 o 350 bar, uso finale Auto, Bus, camion (ma and feedstock per industrie chimiche e raffinerie).
- TPL Idrogeno: Implementati: 2 autobus a idrogeno per Amburgo.

²⁴ Fonte: [HYWAYS H2V](#)

²⁵ Fonte: [Norddeutsches Reallabor H2V](#)



Figura 14. Hydrogen valley di Amburgo, NDRL (indicatore verde). Implementazioni autobus a idrogeno ad Amburgo (indicatore blu).

Iseo [H2ISEO]²⁶

- Capacità (investimento): 1.4 ton/giorno
- Filiera: distribuito per mobilità a 350 bar, uso finale autobus, camion e treni.
- TPL Idrogeno: 14 treni e 40 bus.

Bolzano [Hydrogen Valley South Tyrol]²⁷:

- Capacità (investimento): 1 ton/giorno (55 MEUR).
- Filiera: energia elettrica rinnovabile per produzione (ALK), stoccaggio (CH2 bombole), trasporto (truck CH2), distribuito per mobilità a 700 o 350 bar, uso finale auto, autobus, camion. Il progetto prevede la realizzazione di 5 impianti di rifornimento di idrogeno (HRS) su tratte diverse autostradali
- TPL Idrogeno: Implementati: autobus a idrogeno 12 m prodotti da Solaris per Bolzano. Pianificati: ulteriori 22 per Bolzano.

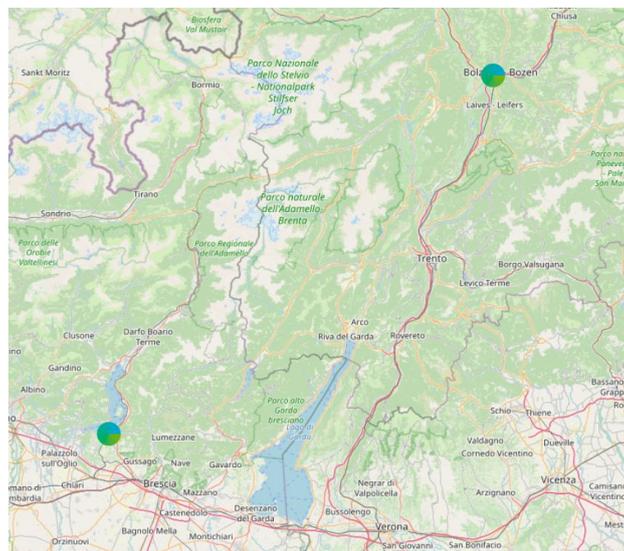


Figura 15. Hydrogen valley italiana: Iseo e Bolzano, H2ISEO e Hydrogen Valley South Tyrol (indicatore verde).

²⁶ Fonte: FNM. <https://www.fnmgroup.it/documents/11605/528909/Factsheet+Web.pdf/d276e90c-2dc9-4740-8309-64e673513db3>

²⁷ Fonte: [Hydrogen Valley South Tyrol H2V](#)

3.7 Autobus a idrogeno. Il contesto FVG-PREPM

La North Adriatic Hydrogen Valley e sperimentazioni TPL-H2

Nel contesto della Regione FVG, il PREPM prevede un primo gruppo di sperimentazioni di mobilità TPL con mezzi a cella combustibile ed idrogeno localizzate su due contesti territoriali (ex provincia di Gorizia ed ex provincia di Trieste), entrambi ricompresi anche nell'ambito della proposta progettuale "Horizon" di cui al contesto della Valle idrogeno transfrontaliera dell'Alto Adriatico (North Adriatic Hydrogen Valley – NAHV) di recente costituzione.

⇒ **Nel contesto territoriale dell'ex Provincia di Gorizia**, ed in particolare a Monfalcone, si prevede l'inserimento di 15 autobus ad Idrogeno (8 nel biennio 2024-2025 e successivi 7 nel triennio 2027-2029) in sostituzione di altrettanti ad alimentazione diesel, per lo svolgimento dei servizi urbani di TPL

Le infrastrutture definite dai primi piani di fattibilità proposti dall'operatore di TPL, includono la produzione in loco dell'idrogeno, quindi senza la necessità di trasportare idrogeno da altri punti di produzione. L'impianto, da realizzarsi a Monfalcone, prevede una saturazione della capacità produttiva di H₂ già con la flotta mezzi prevista, abilitando l'installazione di moduli di elettrolisi aggiuntivi (uniti anche ad un aggiornamento degli ausiliari) in un secondo momento e con ulteriore finanziamento. L'impianto di produzione di idrogeno sarà alimentato in parte da un impianto fotovoltaico da circa 1 MW, previsto sempre dall'operatore di TPL e funzionante a carico nominale continuo per circa 8.000 h/a (>91 % di capacità di carico). Tale taglia di impianto è in grado di produrre circa 7,5 — 8 Kg/h di idrogeno per complessivi 55.000-60.000 kgH₂/anno. Si vuole evidenziare che, essendo l'impianto fotovoltaico operante a non più di 1.300-1.550 ore/anno (assumendo l'esposizione in territori del Nord-Est d'Italia), è necessario che l'operatore di TPL preveda un adeguato rifornimento di energia elettrica per compensare le rimanenti 6.500 ore di funzionamento dell'elettrolizzatore, come mediante un PPA (*Power Purchase Agreement*) rigorosamente verde od altra forma. L'impianto fotovoltaico proposto prevede una potenza di taglia complessiva pari a 2MW (limitato dal terreno a disposizione), in linea tuttavia con un rapporto ottimale di fornitura elettrico per un sistema di elettrolisi da 1MW (rapporto taglia PV/taglia Elettrolizzatore ≥ 2 per le ore di funzionamento riportate precedentemente) a fornitura diretta. Rimane tuttavia da garantire, come già rilevato, l'operatività dell'impianto con l'acquisto da rete delle restanti quote di energia elettrica verde necessaria.

Il costo dell'elettrolizzatore proposto è in linea con i principali dati economici all'attuale conoscenza del mercato con un costo CAPEX di circa 1.500 €/kW per taglie inferiori al MW.²⁸ Il costo della stazione di rifornimento, intesa come solo dispensatore risulta essere in linea con i costi riportati dal DOE²⁹, per la taglia in esame. I costi ancillari riportati dallo studio di fattibilità della TPL FVG Scarl (consorzata APT) sono in linea con i principali indicatori di costi per i sistemi ancillari negli impianti chimici (in questo caso l'elettrolizzatore).³⁰

Nel caso di Monfalcone, la produzione in loco dell'idrogeno non richiede un trasporto dell'idrogeno dato che la stazione di rifornimento è nello stesso luogo. Tuttavia, aggiungendo più moduli di elettrolizzatori sarà possibile in un prossimo futuro poter ampliare la flotta di veicoli (o rendere disponibili eventuali produzioni al sistema della logistica correlato all'infrastruttura portuale e all'area

²⁸ Based on IRENA analysis, based on Böhm et al., 2020.

²⁹ Fonte: DOE, <https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/21002-hydrogen-fueling-station-cost.pdf>

³⁰ Fonte: Store&Go, Innovative large-scale energy storage technologies and Power-to-Gas concepts after optimization Analysis on future technology options and on techno-economic optimization. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5c58ae3ff&appld=PPGMS>

industriale) oltre che alla possibilità di trasportare l'idrogeno verso altre stazioni di rifornimento che non hanno la possibilità di produzione in loco. In tale contesto, data la dimensione della Regione FVG e delle richieste potenzialmente non superiori alle 10 t/giorno di idrogeno da trasportare (pari al rifornimento di circa 200 autobus al giorno per singola stazione) **risulta probabile che il trasporto dell'idrogeno avvenga mediante carri bombolai con idrogeno compresso**, al fine di minimizzarne i costi (Figura 7).

⇒ **Nel contesto territoriale di Trieste**, si prevede l'implementazione di 10 autobus per lo svolgimento dei servizi urbani di TPL (definiti all'interno nel progetto North Adriatic Hydrogen Valley (NAHV) nel periodo 2023-2030, che tuttavia è probabile siano introdotti nell'anno 2025 a seguito della realizzazione della stazione di rifornimento e produzione H₂, assunta a valle dei primi due anni di progetto)

Il progetto NAHV si pone come obiettivo quello di creare un ecosistema economico, sociale e industriale basato sull'idrogeno. Il risultato atteso è quello della crescita economica, creazione di nuovi posti di lavoro in ambiti innovativi e sostenibili, e di gettare le basi per una sua replicabilità a livello europeo. Si tratterebbe inoltre della prima Hydrogen Valley transnazionale in quanto prevede la collaborazione di Friuli-Venezia Giulia, Slovenia e Croazia.

Gli obiettivi posti dal progetto NAHV sono in linea con la Strategia Europea Idrogeno e con l'European Green Deal. Per raggiungere questi obiettivi, la NAHV prevede - nell'ambito della proposta progettuale a valere sul bando comunitario "Horizon" - fra le attività lo sviluppo di 18 "test beds" (siti di prova) che coprono l'intera filiera dell'idrogeno (produzione, trasporto/stoccaggio e utilizzo finale) volti alla decarbonizzazione dei tre territori coinvolti. Questi 18 testbeds sono suddivisi in 3 macroaree: settori hard-to-abate, energia, trasporti. All'interno di questa ultima macroarea vi è un testbed specifico che riguarda la decarbonizzazione delle flotte di autobus per trasporto pubblico locale, tramite transizione da autobus a gasolio ad autobus a idrogeno.

Con la proposta di cui al bando "Horizon" nella NAHV viene prevista la produzione di circa 6.000 ton_{H₂}/anno. Ripartite in 3.618 ton_{H₂}/anno in Slovenia, 1.002 ton_{H₂}/anno per la Croazia e 1.279 ton_{H₂}/anno in Friuli Venezia Giulia.

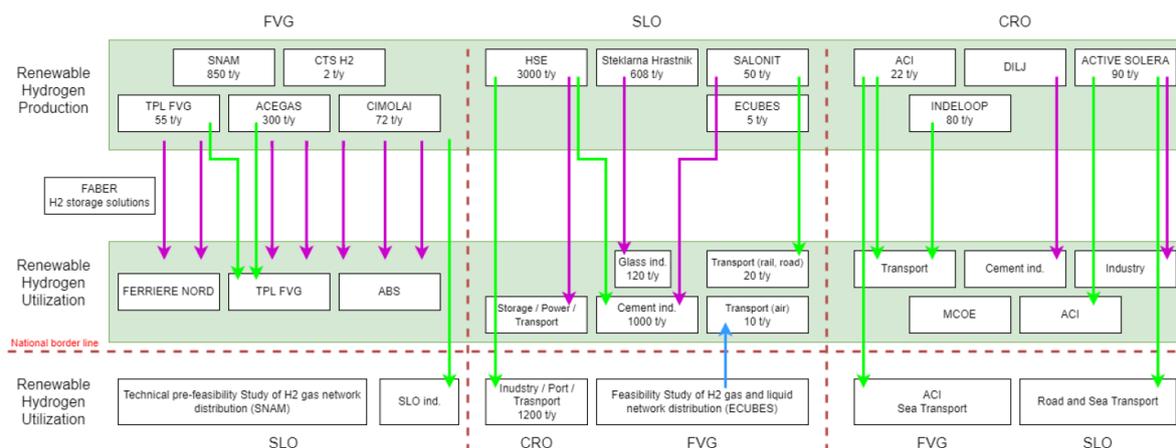


Figura 16. Schema di produzione, scambio transfrontaliero e consumo di idrogeno rinnovabile previsto nel contesto della North Adriatic Hydrogen Valley.

Il progetto della NAHV è stato recentemente selezionato per il finanziamento della Clean Hydrogen Joint Undertaking, un partenariato pubblico-privato per la ricerca e lo sviluppo delle tecnologie

dell'idrogeno in Europa, e, al momento dell'approvazione del PREPM-TPL, è in fase di grant agreement preparation per l'assegnazione dei fondi a valere sul Programma "Horizon Europe" per complessivi 25 M€, costituendo il primo caso europeo di Valle idrogeno transfrontaliera di cosiddetta larga scala (Large scale).

Il progetto prevede, per la sperimentazione di autobus a idrogeno nel contesto dei servizi TPL dell'areale triestino, l'approvvigionamento del vettore energetico mediante utilizzo dell'idrogeno prodotto dall'impianto ACEGAS, anch'esso parte del progetto proposto all'interno della NAHV. Il gestore dei servizi TPL realizzerà l'impianto di stoccaggio e distribuzione. Le produzioni di idrogeno prefigurate nell'iniziativa su tale contesto potranno essere altresì potenzialmente a servizio di una ulteriore sperimentazione sui servizi TPL extraurbani, operati con riferimento all'areale goriziano, di collegamento con il terminal aeroportuale regionale - Trieste Airport mediante autobus extraurbani a idrogeno.

Il progetto prevede la produzione di idrogeno mediante un prototipo di elettrolizzatore basato su tecnologia mista PEM ed AEM da 2 MW alimentato da energia elettrica di origine biogenica proveniente dal Termovalorizzatore (Waste-To-Energy, WTE) di Trieste di proprietà ACEGAS integrabile con successive fonti rinnovabili. L'impianto WTE permette sul piano teorico, la produzione di elevate quantità di idrogeno mediante il sistema di elettrolisi menzionato (grazie all'elevato *capacity factor* disponibile, circa 80-85 %³¹ e l'energia disponibile, pari a 20GWh/anno), soddisfano l'iniziale richiesta per 10 bus (approssimabili ad un consumo di circa 40 t/anno³² e circa 2,2 GWh/anno³³ di energia rinnovabile richiesta). Si sottolinea che per definire l'idrogeno così prodotto verde ed a zero emissioni, va chiarito che l'energia prelevata dall'elettrolizzatore dell'impianto WTE dev'essere di origine rinnovabile³⁴.

Al momento della scrittura non si è conoscenza del sito di installazione del sistema di elettrolisi e la stazione di rifornimento per gli autobus. Data la posizione dell'impianto WTE di ACEGAS, se la produzione di idrogeno e la HRS sono localizzate nel medesimo sito o in adiacenza, non vi è necessità di un trasporto idrogeno mediante carri bombolai. Nel caso in cui le infrastrutture siano dislocate su siti alternativi, il trasporto si suppone avvenga con carri bombolai con idrogeno compresso, dato l'ammontare di H₂ trasportato (massimo 500 kg/giorno³⁵) e con distanze da percorrere ridotte (Figura 7).

Inclusa nella proposta progettuale avanzata dalla NAHV sul bando "Horizon" è, come già detto, anche la sperimentazione di un impiego di 15 mezzi H₂ complessivi sui servizi urbani di Monfalcone, con la previsione di un impianto di autoproduzione come in precedenza illustrato.

Contesti territoriali di Pordenone e Udine:

Per quanto concerne i possibili ulteriori sviluppi sul territorio regionale, al momento della stesura del PRPEM nella sua versione definitiva, non sono previsti attualmente usi dell'idrogeno per il trasporto

³¹ Naderi, S., Banifateme, M., Pourali, O., Behbahaninia, A., MacGill, I., & Pignatta, G. (2020). Accurate capacity factor calculation of waste-to-energy power plants based on availability analysis and design/off-design performance. *Journal of Cleaner Production*, 275, 123167. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123167

³² Assunto un consumo simile all'uso descritto da APT per i 15 bus a H₂.

³³ Assumendo un'efficienza di conversione dell'elettrolizzatore pari a 55 MWh/t_{H₂}

³⁴ Ovvero prodotta dalla frazione rinnovabile del Potere Calorifico Inferiore medio dei rifiuti in ingresso; tale parametro è calcolato a partire dalla percentuale di carbonio biogenico determinata secondo quanto indicato nella norma CEN EN 15440. Fonte: A2A, Il Termoutilizzatore di Brescia, Dichiarazione Ambientale 2021, <https://a2a-be.s3.eu-west-1.amazonaws.com/a2a/2021-07/DA-2021-Termovalorizzatore-Brescia.pdf?VersionId=null>

³⁵ Assumendo rifornimento giornaliero di 50 kg per 10 autobus

pubblico locale. Ciò in ragione del fatto che in tale ambito territoriale non sono emerse, al momento, ulteriori ipotesi concrete e di livello progettuale sufficientemente avanzato, per una valutazione di contesti di applicazione nell'ambito dei servizi di trasporto pubblico, di realizzazione di impianti per la produzione di idrogeno verde a supporto di tale tipologia di alimentazione. Tuttavia lo scenario relativo all'idrogeno nel FVG risulta in continua e veloce evoluzione ed è possibile che nei prossimi anni, mediante bandi di finanziamento specifici (come ad esempio il bando regionale con risorse PNRR per la realizzazione di impianti di produzione, stoccaggio e distribuzione di idrogeno verde in "aree industriali dismesse"), o iniziative di ulteriore sviluppo nell'ambito dell'ecosistema di Valle idrogeno della NAHV, si possa nucleare una produzione di idrogeno verde nel Friuli Venezia Giulia che vada a rifornire ulteriori autobus della flotta di mezzi urbani. Ciò potrà risultare inoltre ancora più significativo quando gli sviluppi interesseranno anche la significativa componente extraurbana della flotta per la quale ad oggi le soluzioni a zero emissioni (elettriche a batteria) non appaiono funzionali in termini di autonomia dei mezzi, velocità di ricarica e congestione rete elettrica. La prospettiva di una introduzione nel mercato, nel medio termine, di autobus ad idrogeno per lo svolgimento di servizi extraurbani di taglie diverse, invece, potrebbe aprire uno scenario di possibile acquisto di mezzi con tale tipologia di alimentazione.

Ciò vale per il contesto dell'ex provincia di Pordenone, così come per quello dell'ex provincia di Udine, dove non si prevede nelle condizioni attuali l'uso dell'idrogeno per il trasporto pubblico locale; tuttavia, il forte impegno indirizzato verso la metanizzazione della flotta di bus (circa il 50%), deve essere considerato contestualmente ad uno scenario di effettiva produzione e reperimento di biometano ai fini di un'effettiva transizione verso flotte a zero emissione (pur sempre considerando le emissioni locali derivanti dal processo di combustione). In questo contesto, l'implementazione di autobus a celle a combustibile e idrogeno potrebbe essere una valida alternativa al trasporto extraurbano e urbano con motorizzazioni diesel e metano, eventualmente anche con schemi di produzione H₂ da biometano mediante SMR, sistema che favorisce costi di produzione minori. Inoltre, nel breve periodo potrebbero concretizzarsi opportunità di finanziamento per l'installazione di sistemi di elettrolisi (vedi il citato bando aree industriali dismesse di cui al PNRR) che possono ridurre drasticamente il costo iniziale d'investimento per la filiera di produzione e distribuzione dell'idrogeno.

Il costo dei mezzi H₂ viene riportato dalla letteratura, con una media di circa 575 k€ al 2020 e prevedendo una diminuzione dei costi fino a 350 k€ di media per il 2030 (Figura 3). Si citano ulteriormente i casi di Bolzano e Barcellona con costi per mezzo pari a 650 k€ al 2019³⁶. Al fine della definizione economica degli scenari del PREPM-TPL, il costo dei mezzi H₂ usato è di 700 k€.

³⁶Fonte: Enel Foundation. https://www.enelfoundation.org/content/dam/enel-foundation/topics/2021/11/Report%20su%20TCRO_ITA_def.pdf

4 Bus elettrici

I bus elettrici stanno diventando sempre più popolari come soluzione per la mobilità urbana sostenibile. Questi veicoli utilizzano batterie per fornire energia direttamente ad un motore elettrico, anziché un motore a combustione interna, e sono spesso dotati di tecnologie avanzate per il recupero dell'energia in frenata e per il controllo degli impatti ambientali. La tecnologia elettrica permette di raggiungere efficienze elevatissime, dove il collo di bottiglia diviene l'inefficienza delle batterie e dell'elettronica di controllo, in ogni caso estremamente ridotte.

Le dimensioni delle batterie utilizzate sui bus elettrici possono variare notevolmente, in base alla dimensione del veicolo e alla sua autonomia operativa. In genere, le batterie utilizzate sui bus elettrici hanno capacità comprese tra 50 kWh e 350 kWh a seconda della taglia del mezzo e del servizio da garantire.

Il consumo di un bus elettrico è compreso tra 1,65 e 1,84 kWh per chilometro, con esempi anche di consumo minore in scenari virtuosi e consumi maggiori in scenari di uso più sfidante. Sulla base di questi dati, un autobus di 18 metri con 350 kWh di capacità può coprire un raggio compreso tra 190 e 210 chilometri. Tuttavia, i consumi ancillari del bus possono creare forti distorsioni sulla reale capacità di autonomia dei mezzi. Infatti, la necessità di alimentare i sistemi di riscaldamento o di raffrescamento del mezzo incidono sul consumo elettrico effettivo del mezzo. Test eseguiti su mezzi elettrici da 12 mt, hanno dimostrato che nonostante un largo eccesso di accumulo (300 kWh) di batteria, la richiesta termica del mezzo ha portato l'autonomia a poco più di 130 km effettivi³⁷. In media, un autobus di 12 metri ha nelle migliori condizioni un consumo di 0,8 kWh per km, assumendo di operare in una giornata normale con 20 gradi (no riscaldamento o raffrescamento), poco traffico ed un autista esperto. Tutto dipende dal riscaldamento. Un autobus che viaggia in inverno, ad esempio a meno 10 gradi, con il riscaldamento elettrico acceso può raggiungere un consumo di 2,3 – 2,5 kWh per km e ridurre così drasticamente la propria autonomia operativa.

Altro aspetto da menzionare, è il non trascurabile impatto dell'esperienza dell'autista nell'uso di veicoli con frenata rigenerativa. La frenata rigenerativa permette di recuperare parte dell'energia cinetica del mezzo, che altrimenti andrebbe dispersa in calore nei freni. Risulta che il comportamento di guida impatta fortemente sull'autonomia del mezzo anche per quote del 30%. I conducenti che non usano la rigenerazione perché azionano i freni troppo bruscamente, attivando direttamente il freno meccanico e non quello rigenerativo, recuperano solo il 5% dell'energia disponibile. Ma un conducente più esperto saprebbe portare tale valore di recupero anche a quote del 35 al 40%.

L'impatto delle condizioni climatiche esterne sui dispositivi a bordo di un bus elettrico, in principale modo la batteria è un ulteriore aspetto da considerare. Un test condotto negli Stati Uniti, finanziato dal programma nazionale Fuel Cell Bus, ha mostrato come sia la tecnologia elettrica che quella ad idrogeno, in condizioni di freddo relativamente estremo (-5 / 0 °C) mostrino una riduzione significativa dell'autonomia stimata in -38% e -23% rispettivamente.

³⁷ <https://www.sustainable-bus.com/news/electric-bus-range-electricity-consumption>.

I costi dei bus elettrici sono generalmente superiori rispetto ai bus a combustione interna tradizionali, ma stanno diminuendo con l'aumento della produzione in serie e l'innovazione tecnologica. In letteratura sono presenti diversi intervalli di costo dei bus che dipendono da taglia, autonomia e dotazioni aggiuntive. In genere si è concordi con un costo di circa 500 k€ come confermato anche da alcuni studi^{38,39}, o valori anche maggiori fino a 558 – 635 k\$⁴⁰ al 2019.

Inoltre, i costi di esercizio dei bus elettrici sono potenzialmente inferiori rispetto a quelli di bus a combustione interna per diverse ragioni: i veicoli elettrici sono realizzati con un numero di pezzi inferiore (minor costo potenziale di CAPEX), hanno un'elevata efficienza, con conseguente calo dei consumi di combustibile usato. Tuttavia, il mercato dei mezzi a batteria ha raggiunto maturità solo da poco e con un numero di ore operative e chilometraggi percorsi ancor non di certo paragonabili alle motorizzazioni diesel, mancando pertanto dati di lungo termine che diano certezza assoluta dei costi operativi.

L'infrastruttura necessaria per supportare i bus elettrici include stazioni di ricarica, principalmente classificabili nelle due tipologie a lenta ricarica (“overnight charging”) nelle aree di deposito, o a ricarica veloce (ad es. sistemi cd. “opportunity” o “flash charging”) con dispositivi situati lungo i percorsi di linea – fermate e/o capolinea - dei servizi TPL e sistemi di gestione della flotta. Il costo dell'infrastruttura dipende dal numero di bus elettrici che verranno utilizzati. Tuttavia, l'investimento in infrastrutture per i bus elettrici può portare a una maggiore sostenibilità e riduzione dei costi a lungo termine.

³⁸ <https://leonardo-energy.pl/wp-content/uploads/2019/02/Analysis-of-the-potential-for-electric-buses.pdf>

³⁹ <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/iet-est.2019.0014>

⁴⁰ <https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/100-yutong-electric-buses-delivered-in-kazakhstans-capital-city-nur-sultan/>

5 CNG/LNG e biometano

Il PREPM prevede, tra i sistemi di possibile alimentazione alternativa al gasolio, lo studio e lo sviluppo di soluzioni aventi ad oggetto sia la realizzazione di impianti di produzione di biometano, sia la promozione della mobilità sostenibile con mezzi a CNG, LNG e biometano per i servizi di TPL nel Friuli Venezia Giulia (soprattutto per il trasporto extraurbano, per il quale sono richieste elevate prestazioni in termini di affidabilità e autonomia).

Nel contesto territoriale dell'ex provincia di Udine si è già avviato da tempo, in ambito urbano, e più di recente, in ambito extraurbano, lo sviluppo di una flotta che punta sull'utilizzo di autobus a gas naturale compresso (CNG) come soluzione per la riduzione delle emissioni inquinanti. La prospettiva di PRPEM è quella di rafforzare tale percorso con l'introduzione di nuovi mezzi alimentati a gas naturale sia compresso che liquefatto (CNG o LNG). Sebbene, nei due casi, il combustibile usato sia lo stesso, ossia gas naturale da rete (composto prevalentemente da metano), le due sigle indicano due modi diversi per il trasporto e l'accumulo. Nel caso del CNG, il gas naturale viene immagazzinato nel serbatoio di un veicolo in forma gassosa. Al contrario, nel caso del LNG, il gas viene liquefatto mediante compressione e raffreddamento a temperature estremamente basse. Alla temperatura di condensazione il gas diventa liquido, con una conseguente riduzione drastica del volume occupato. Il LNG presenta, quindi, dei vantaggi dal punto di vista della logistica di trasporto e immagazzinamento, e per questo risulta essere la tipologia più usata per il trasporto del gas nel commercio globale. Alcuni paesi, come la Corea del Sud e il Giappone, ricevono quasi tutto il gas naturale che utilizzano sotto forma di LNG⁴¹. **Nelle applicazioni per veicoli, la maggiore densità nell'accumulo del LNG rispetto al CNG rende la scelta del combustibile liquido la più idonea per autonomie e carichi elevati.** Un serbatoio LNG consentirà un'autonomia maggiore di un serbatoio per CNG delle stesse dimensioni. Ciò rende il LNG un'opzione interessante soprattutto per autocarri o bus utilizzati per lunghe distanze e carichi elevati.

Dal punto di vista delle emissioni, l'uso di gas naturale invece del gasolio come carburante per la movimentazione dei bus permette un considerevole abbattimento delle emissioni inquinanti. Riguardo le emissioni di gas climalteranti (emissioni GHG, Green House Gas), ossia anidride carbonica (CO₂) e altri gas con effetto serra (e.g., CH₄, N₂O), si evidenzia come le motorizzazioni a metano presentino un'emissione "well to wheel" ridotta rispetto a quelle diesel (fino a circa il 25%) considerando l'uso di gas naturale di origine fossile. Ulteriore vantaggio nell'uso della propulsione basata su gas naturale (o metano), è la possibilità di generare metano da diverse fonti. Infatti, a seconda che l'approvvigionamento avvenga da metano di origine fossile oppure da biometano, derivante dall'upgrading di biogas prodotto tramite digestione anaerobica di rifiuti urbani, scarti agro-alimentari o industriali, o fanghi di depurazione, l'intensità di tali emissioni può variare considerevolmente. Per esempio, si stima che mediamente per 1 MJ di biometano da rifiuti organici (letame e rifiuti alimentari) o di gas da discarica (landfill gas) si abbiano emissioni GHG (negative) pari a -30 g CO₂eq, mentre per 1 MJ di biometano da fanghi di depurazione si arriva a fino a -69 g CO₂e. Ossia, includendo nel sistema in analisi i processi di produzione del gas biogenico, l'utilizzo di determinate risorse per la produzione di gas combustibile può comportare una significativa riduzione delle emissioni di CO₂ che, nello scenario di riferimento, sono associate al non utilizzo di quelle risorse. Si parla perciò di *avoided* o *negative emissions*. I valori citati per il biometano e il gas da discarica sono

⁴¹ Fonte: Cummins. Compressed Natural Gas vs. Liquefied Natural Gas

determinati considerando per il Global Warming Potential (GWP) dei GHG un intervallo di tempo di 100 anni e hanno un'incertezza molto ampia, ma danno un'indicazione di quanto sia indispensabile un'analisi accurata di ogni componente del sistema per determinare l'effettiva riduzione delle emissioni rispetto alle soluzioni alternative tradizionali⁴².

Quali valori di riferimento cui si può arrivare in termini di riduzioni e minore impatto, si può stimare che l'uso di biometano per l'alimentazione degli autobus, rispetto al gasolio, può portare all'abbattimento significativo delle emissioni NOx (-74%), particolato (-97%), e CO₂ (-33%);^{43,44} con riferimento a quest'ultimo valore, per il calcolo delle emissioni derivanti dall'utilizzo di biometano, alle emissioni di CO₂ è comunque associato un fattore emissivo nullo in quanto di origine biogenica (si assume che l'anidride carbonica emessa sia compensata dall'anidride carbonica assorbita in fase di crescita delle biomasse da cui il biometano è derivato); quindi, seppure l'utilizzo del biometano comporti emissioni di CO₂ dovute alla sua combustione, queste nell'analisi delle emissioni vengono considerate nulle.

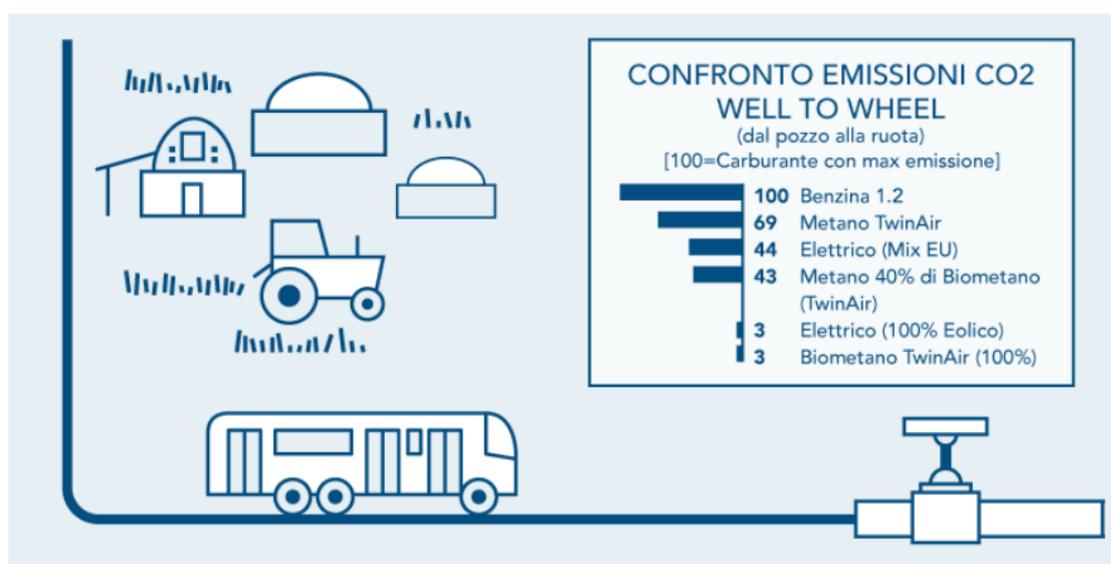


Figura 17. Confronto emissioni dal "pozzo alla ruota" (Well to Wheel) per diversi combustibili usati per i motori a combustione interna. Fonte: SNAM.⁴⁴

L'interesse per le tecnologie CNG e LNG è dovuto all'importante livello di autonomia dei mezzi che questo combustibile dimostra in particolare quando applicato alla mobilità pesante. Confrontando le tecnologie odierne: per guidare un autocarro pesante da 40 tonnellate per oltre 1.000 km, sarebbero necessari circa 330 litri di gasolio, o 280 kg (620 litri) di LNG o, se completamente elettrico, una capacità della batteria di 1.600 kWh. Assumendo una densità energetica di 250 Wh/kg, la capacità della batteria richiesta significherebbe un surplus di 6.400 kg di peso che si rifletterebbe direttamente in una riduzione del carico utile. Stessa argomentazione può essere declinata sui mezzi per il trasporto pubblico⁴⁵.

⁴² Y. Zhou, D. Swidler, S. Searle, C. Baldino, I. C. on C. T. (ICCT), and E. C. Foundation, "Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of Biomethane and Hydrogen Pathways in the European Union," no. October, p. 40p, 2021, [Online]. Available: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/lca-biomethane-hydrogen-eu-oct21.pdf%0Ahttps://trid.trb.org/view/1885442>

⁴³ BIOMETHANE fuelling a transport revolution. Save money while saving the planet. Biogas Insights. <https://bennamann.com/wp-content/uploads/2021/12/ADBA-Biomethane-to-transport-report-June-2021-FINAL.pdf>

⁴⁴ Fonte: SNAM. https://www.snam.it/it/transizione_energetica/mobilita_sostenibile/mobilita_sostenibile/

⁴⁵ Fonte: NGVA. <https://www.ngva.eu/medias/the-necessary-rise-of-lng/>

Infine, fra la tecnologia CNG e LNG, si evidenzia come quest'ultima permetta di ottenere lunghe percorrenze e autonomia (1.000 km) con esempi in funzione a Bologna per il trasporto pubblico extraurbano. Ciò ne fa la tecnologia, ad oggi più concretamente disponibile sul mercato, su cui puntare ai fini della riduzione delle emissioni “well to wheel” di GHG e di inquinanti nell'ambito della trasformazione della flotta di autobus extraurbana verso sistemi ad alimentazione alternativa.

5.1 Stazioni di rifornimento LNG e CNG

Le stazioni per il rifornimento di LNG o CNG sono strutturalmente simili a quelle di benzina e gasolio, includendo elementi comuni quali: serbatoio di accumulo, regolatore con contatore fiscale, e dispensatore, che include anche il condizionamento del gas (e.g. termostatazione).

I costi di installazione per le infrastrutture di rifornimento di LNG e CNG dipendono da richiesta giornaliera, capacità di accumulo, specificità del gas naturale erogato (compresso, liquefatto) e modalità di erogazione (time-fill, fast-fill oppure ibrida).

Nel caso di CNG, le stazioni “fast-fill” (Figura 18), ossia di rifornimento rapido, sono più adatte per situazioni di vendita al dettaglio in cui i veicoli arrivano in modo casuale e devono riempirsi rapidamente (in analogo alle attuali stazioni di rifornimento benzina e gasolio per il pubblico servizio). In questo caso, le stazioni ricevono carburante da una linea di servizio locale a bassa pressione e quindi utilizzano un compressore in loco per comprimere il gas alla pressione necessaria al rifornimento. Una volta compresso, il gas naturale si accumula in una serie di serbatoi di stoccaggio, denominati “buffer”, in modo che sia disponibile per un rapido rifornimento in caso di richiesta immediata. Il “buffer” serve al fine di tamponare i transienti di attivazione del compressore principale.

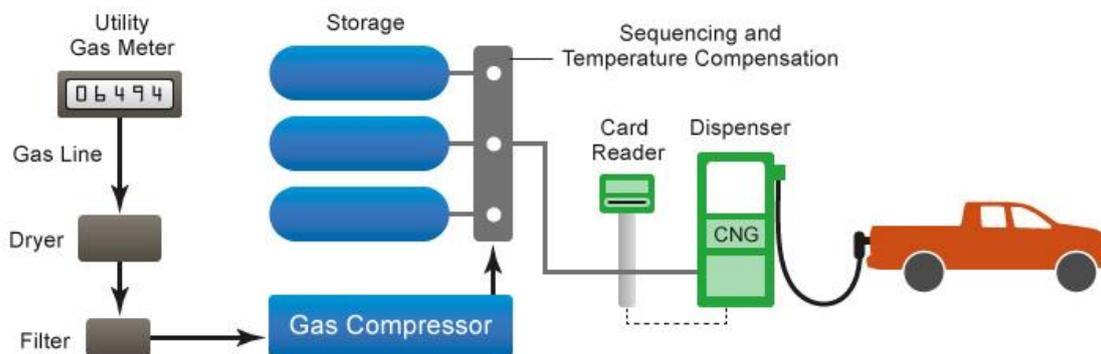


Figura 18. Schema dei principali componenti per una stazione a CNG, prelevato da rete e condizionato, della tipologia fFast-fill”. Questo approccio privilegia la prestazione in termini di disponibilità di rifornimento e capacità operativa (presenza di buffer intermedi).

Le stazioni “time-fill” (Figura 19), stazioni di rifornimento a tempo, sono utilizzate principalmente dalle flotte aziendali e/o pubbliche e funzionano meglio per i veicoli con grandi serbatoi che fanno rifornimento in una posizione centrale ogni notte. In pratica, risultano ideali dove vi è una programmabilità del rifornimento in termini di capacità e tempo disponibile. Tale scenario è esattamente quello richiesto dalle flotte di bus per il servizio pubblico. In una stazione di rifornimento temporizzato, il gas naturale viene prelevato dalla rete di distribuzione e inviata ad un compressore. A differenza delle stazioni di rifornimento rapido, i veicoli nelle stazioni di rifornimento a tempo vengono generalmente riforniti direttamente dal compressore, senza ulteriori serbatoi o buffer intermedi. La dimensione del compressore necessario dipende dalla dimensione della flotta e dalla richiesta di carburante. Sebbene sia presente un piccolo serbatoio di accumulo tampone, il suo scopo

non è quello di riempire i veicoli ma di impedire che il compressore si spenga e si riaccenda inutilmente, sprecando elettricità e provocando un'eccessiva usura del compressore. Il serbatoio di stoccaggio viene talvolta utilizzato per "rabboccare" i serbatoi dei veicoli durante il giorno⁴⁶.

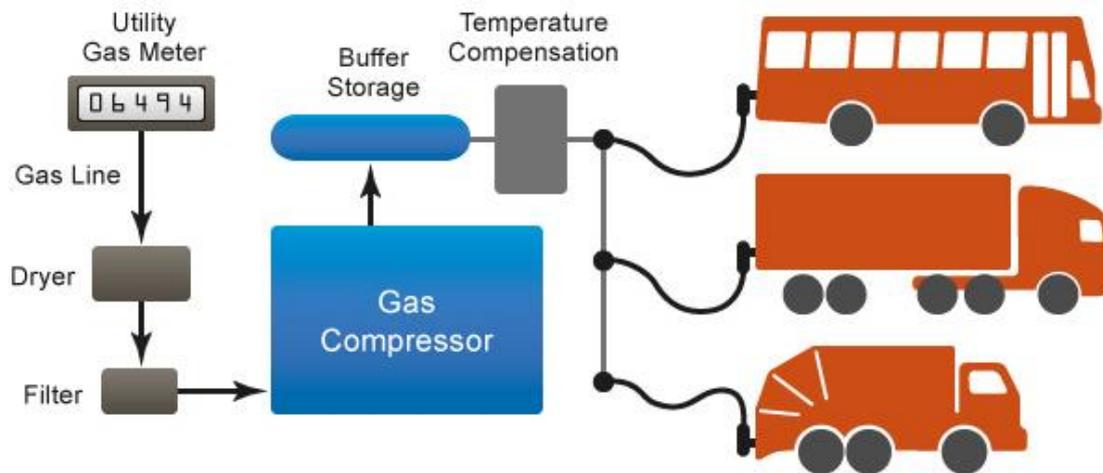


Figura 19. Schema dei principali componenti per una stazione a CNG prelevata da rete e condizionata della tipologia "time-fill". Questo approccio privilegia l'efficienza di ricarica in termini di CAPEX ridotto e consumi ridotti (compressore di dimensione ridotta).

Tema da sottolineare per i mezzi alimentati a CNG è la sicurezza durante il rifornimento a causa della produzione di calore nel serbatoio dell'automezzo rifornito dovuto alla compressione del gas. Generalmente, il sistema di rifornimento è ottimizzato con erogatori a riempimento rapido dotati di una funzione di compensazione della temperatura per aiutare a mantenere in condizioni di sicurezza il serbatoio, aiutando così i veicoli a raggiungere il massimo riempimento. Il riscaldamento del gas durante il rifornimento non è solo una questione di sicurezza, ma anche una questione di misura per la quantificazione del rifornimento. Per tale motivo, i dispensatori/erogatori seguono normative e standard di riferimento che ne definiscono le corrette procedure e i sistemi ancillari necessari (raffreddamento gas, misuratori certificati, etc.).

Per quanto riguarda i mezzi alimentati a LNG, i distributori (Figura 20) erogano carburante ai veicoli a pressioni tra 2 e 8 bar. Il LNG viene immagazzinato ed erogato mediante una speciale pompa, come gas liquefatto super raffreddato. Il mezzo deve essere provvisto di un serbatoio criogenico per mantenere il gas in forma liquida ($< -162\text{ °C}$)⁴⁷, Come per il rifornimento con gas compresso, anche quello con combustibile liquido segue diverse direttive e standard di riferimento.

⁴⁶ Fonte Alternative Fuel Data Center, DOE, 2022

⁴⁷ Fonte: Izar, <https://www.izar.com/italy/2021/09/17/izar-produce-il-primo-autobus-a-lunga-percorrenza-a-gas-naturale-liquefatto-gn/>

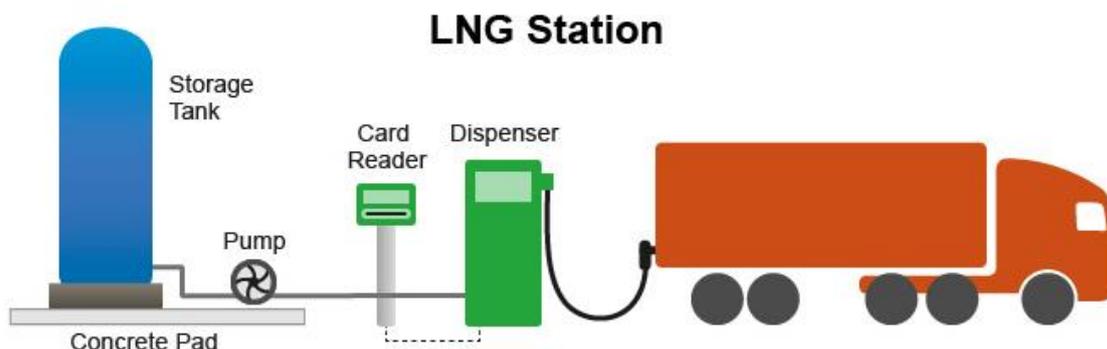


Figura 20. Schema dei principali componenti per una stazione di rifornimento LNG.

Va rilevato che una filiera di distribuzione basata sul gas naturale liquefatto (LNG) può garantire e alimentare anche la filiera dell'uso e distribuzione del gas naturale compresso. Il contrario, invece, non è garantito. Esistono infatti soluzioni di infrastruttura basate su stoccaggio di LNG che possono garantire il rifornimento anche ai mezzi CNG.

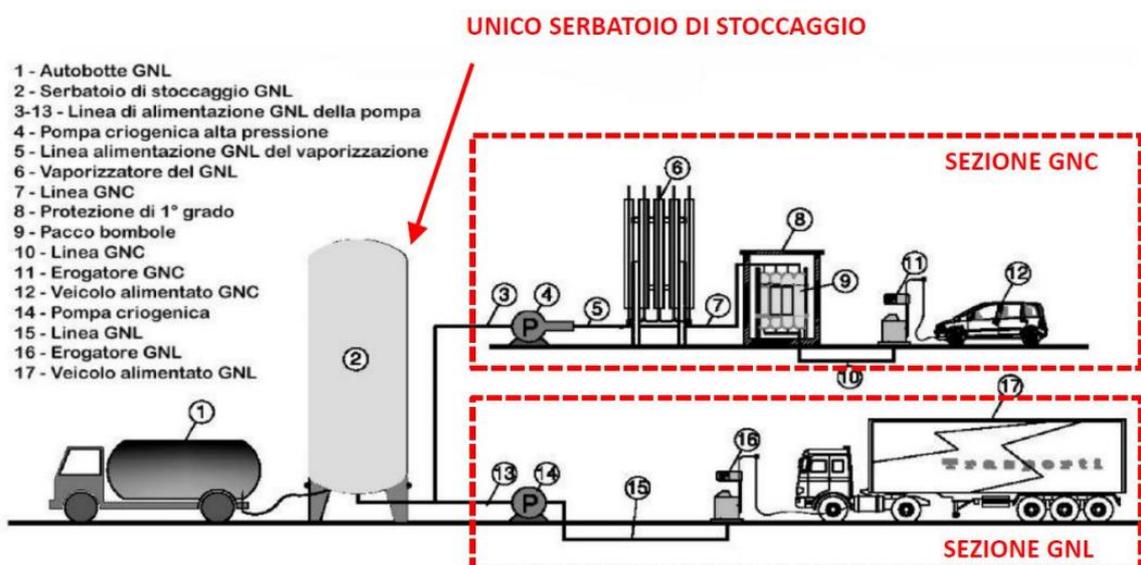


Figura 21. Impianto di tipo CNG/LNG⁴⁸.

5.1.1 Casi studio

Si riporta di seguito il caso studio di Trentino Trasporti, società di trasporto pubblico della Provincia Autonoma di Trento, con particolare attenzione al sistema di approvvigionamento energetico dei mezzi con biometano. La flotta autobus di Trentino Trasporti è composta da 715 bus, di cui 235 urbani; di questi 67 sono alimentati a metano e circolano sul territorio urbano della città di Trento; essi totalizzano il 57% delle percorrenze del capoluogo. Dal primo luglio 2021 il fabbisogno di metano di questi autobus è soddisfatto mediante biometano, derivante da biogas prodotto da digestione anaerobica di rifiuti organici urbani. Infatti, una parte del biogas prodotto dalla macerazione di 60.000 tonnellate annue di FORSU prodotte in provincia di Trento presso l'impianto di Bioenergia di Cadino è

⁴⁸ Progetto SIGNAL. Piano di gestione degli approvvigionamenti via mare attraverso un modello di rappresentazione calibrato ad hoc. MLAB srl, 2021

avviata a un moderno impianto di purificazione e upgrade per la produzione di biometano che viene successivamente iniettato nel metanodotto SNAM a circa 60 bar mediante apposito sistema di compressione e infine utilizzato, attraverso il coinvolgimento strategico di Dolomiti Energia Trading e Dolomiti Energia, negli autobus della città di Trento. Trentino Trasporti, infatti, aderendo al portale della Pubblica Amministrazione CONSIP per gli acquisti, acquista il biometano da Dolomiti Energia⁴⁹. Nel 2020 sono stati consumati 1,2 milioni di kg di metano. L'alimentazione interamente a biometano porta ad un risparmio di più di 3 milioni di kg di CO₂ equivalente.



Figura 22. Autobus a bio-metano attualmente in uso a Trento. Fonte: Trentino Trasporti.

Anche a Bologna, gli scarti alimentari prodotti dall'aeroporto verranno trasformati presso l'impianto di Sant'Agata Bolognese, in biometano da destinare al trasporto pubblico locale. Il primo mezzo è stato presentato a marzo 2022, ma la fornitura totale prevista è di 450 mila metri cubi di biometano per alimentare 11 nuovi autobus urbani⁵⁰.

5.2 Autobus a metano e biometano. Il contesto FVG-PREPM

Nel contesto della Regione FVG e all'interno degli scenari proposti nel capitolo 7 è prevista un'estensione del parco mezzi a metano (CNG e LNG) nel periodo di attuazione del PREPM, in particolare per il trasporto extraurbano, contesto per cui l'autonomia dei mezzi e la tipologia di servizio richiedono l'impiego di una tecnologia assodata e robusta (già testata nei contesti del trasporto merci pesante). Una quota parte è dedicata anche al servizio urbano. I mezzi si concentrano complessivamente nei contesti territoriali di Pordenone, Gorizia e Udine, dove si prevedono più di 6 milioni di km complessivi di servizio TPL extraurbano realizzati con i nuovi mezzi in sostituzione del parco diesel.

Il costo da sostenere per l'acquisto previsto dei mezzi a gas metano compresso (CNG) previsti dal PREPM, può variare, per ciascun autobus, fra i 253 k€ e i 294 k€, con differenze determinate dal numero di mezzi acquistato e in parte da una previsione di possibili ribassi offerti in sede di gara dai

⁴⁹ <https://www.trentinotrasporti.it/azienda/trentino-trasporti/autobus-e-treni/7104-autobus-biometano>

⁵⁰ <https://mobilita.regione.emilia-romagna.it/news-archivio/2022/marzo/aeroporto-di-bologna-hera-e-tper-insieme-per-12019ambiente>

produttori. Viene quindi assunto, cautelativamente, un valore medio di 280 k€. I costi menzionati sono in linea con quelli derivabili dalle principali fonti di letteratura, con costi tra i 207 k€ (per mezzi di lunghezza pari a 8 metri) e i 258 k€ (per mezzi di lunghezza pari a 12 m).⁵¹

Il finanziamento riservato nel PREPM per i mezzi a LNG prefigura invece un costo medio conservativo per mezzo pari a circa 300 k€, tenuto conto della variabilità dei prezzi in funzione della taglia (si può scendere fino ad un minimo di 264 k€ per 16 autobus per bus ad autonomia legata al contesto urbano). Fonti di letteratura presentano inoltre costi di 380 k€ per i mezzi da 18 m, ma anche di 200 k€ per mezzi a 12 mt, chiarendo come il mercato di tali mezzi sia funzione degli accordi e ordini di acquisto. Risulta coerente per lo studio quindi l'uso di un costo medio di 300 k€, stimato nel PREPM, e riportato nel capitolo di esposizione degli elementi base dello studio.

Per quanto riguarda le infrastrutture di rifornimento gas, il PREPM-TPL prevede l'installazione di diverse infrastrutture per il rifornimento di LNG:

- contesto territoriale di Pordenone, infrastruttura di rifornimento LNG da 1,3 milioni di euro a servizio di 54 bus di cui 16 ad uso urbano (quindi con consumi ridotti);
- contesto territoriale di Udine, nuova infrastruttura di rifornimento LNG da 2,04 milioni di euro (che si affianca a quella esistente utilizzata prevalentemente per l'urbano di Udine) a servizio di circa 66 bus esclusivamente per uso extraurbano (alto chilometraggio annuale e servizio nel territorio anche montano);
- contesto territoriale di Gorizia, infrastruttura di rifornimento LNG da 1,4 milioni di euro a servizio di 30 bus per uso extraurbano.

In termini di costi, al fine di un paragone, si riporta l'esempio della società TPER SpA (Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna), che ha approvato la fornitura di 46 nuovi autobus alimentati a LNG tra il 2016 e il 2017. In particolare, i mezzi acquistati sono:

- 15 nuovi bus per l'esercizio extraurbano
- 31 nuovi bus per il servizio urbano.

Il costo sostenuto per la realizzazione di un'apposita stazione di rifornimento è stato di circa 1,6 milioni di euro⁵², valore questo in linea con i costi infrastrutturali presi a riferimento all'interno del PREPM.

Va citato che attualmente i ricavi economici degli impianti di produzione biometano derivano principalmente dall'immissione in rete di energia elettrica prodotta da un motore cogenerativo alimentato dallo stesso biometano prodotto, oltre che dalla sua immissione in rete e dalla vendita di ammendante. Tuttavia, si deve rilevare che la durata degli incentivi per la cogenerazione risultano in scadenza al 2028 e quelli per l'immissione in rete del biometano vigenti fino al 2031⁵³. Tale contesto, di probabile cambiamento in relazione al decadimento dei citati sistemi di incentivazione, potrebbe risultare economicamente vantaggioso nel corso dell'attuazione del PREPM-TPL, tenuto conto che il gestore dei servizi nei prossimi anni potrebbe stringere accordi di fornitura con impianti di produzione

⁵¹ Fonte: Enel foundation. https://www.enelfoundation.org/content/dam/enel-foundation/topics/2021/11/Report%20su%20TCRO_ITA_def.pdf

⁵² Fonte: Progetto SIGNAL. Piano Integrato per la distribuzione del GNL. Piano di gestione degli approvvigionamenti via mare. Link: https://interreg-maritime.eu/documents/782647/1723986/T.1.1.1_OUTPUT_Piano+RETE+MARITTIMA_IT.pdf/73adc250-dfa3-4939-b61c-6b495965547c

⁵³ Fonte: Federmetano. <https://www.federmetano.it/il-biometano/>

di biometano rimasti senza incentivi alla vendita. Nel territorio del Friuli Venezia Giulia è presente un impianto di produzione di biometano di dimensioni rilevanti a Maniago (3.000 Nm³/ora) da FORSU⁵⁴.

Al contempo è da rilevare che altre realtà di rilievo del settore infrastrutturale energetico, produttivo e distributivo del gas, hanno in corso di progettazione e realizzazione impianti di media e grande taglia nel territorio del Friuli Venezia Giulia per la messa in rete di biometano^{55,56} e, pertanto, il quadro complessivo dell'offerta di tale carburante potrà risultare maggiormente avvicinabile sia in termini di diffusione sul territorio, sia dal punto di vista dei costi e dei possibili accordi stipulabili per assicurare la definizione di ulteriori linee di approvvigionamento.

A questo riguardo va altresì tenuto conto che, allo stato attuale, la rete di distribuzione di gas metano nel territorio regionale, nelle forme CNG e LNG, sia costituita da poco più di 10 punti di rifornimento (13, di cui solo 2 per rifornimento con LNG)⁵⁷ e che pertanto l'approvvigionamento mediante specifici impianti aziendali e relative forniture risulta strategico per il sostentamento energetico di tale tipologia di motorizzazione.

⁵⁴ Fonte: assogasmetano. <https://www.assogasmetano.it/biometano-mappa-impianti-italia-e-europa/>

⁵⁵ https://www.snam.it/it/media/comunicati-stampa/2022/Snam4Environment_5_impianti_produzione_biometano.html

⁵⁶ <https://www.eni.com/it-IT/media/news/2023/02/prima-immissione-biometano-rete-AcegasApsAmga.html>

⁵⁷ Fonte: Portale dell'Osservatorio Carburanti del Ministero delle Imprese e del Made in Italy. <https://carburanti.mise.gov.it/ospzSearch/home>

6 Retrofit e repowering

I motori diesel rappresentano al momento il più diffuso sistema di alimentazione per i mezzi TPL su gomma. Questi motori sono affidabili, a basso consumo di carburante e con coppia elevata, capaci di alimentare la stragrande maggioranza dei veicoli pesanti del mondo, quali autocarri, autobus e veicoli fuoristrada. I motori diesel sono facili da riparare, poco costosi da usare, ed estremamente resistenti. Risulta normale che un motore diesel possa raggiungere i 15-20 anni o, in termini di percorrenza, più del milione di km con molta facilità.

Esistono diverse strategie per la riduzione delle emissioni inquinanti e climalteranti per i mezzi a propulsione diesel con vantaggi specifici anche in termini di allungamento della vita utile del mezzo. Tale strategia si dividono in:

- **Conversioni:** i veicoli con motori convenzionali possono essere modificati tramite l'uso di un kit di conversione per funzionare con un carburante o una fonte di alimentazione che è diverso da quello per cui era stato originariamente progettato (diesel). Il processo per convertire un veicolo dipende dal tipo di fonte di alimentazione alternativa selezionata, ma in genere comporta l'aggiunta di linee di alimentazione specifiche del carburante, stoccaggio componenti e controller del sistema e ricalibrzioni del motore o regolazioni del software al controllo elettronico del sistema. I mezzi convertiti possono usare diversi combustibili quali: propano, gas naturale compresso (CNG), etanolo (E85) o alimentazione ibrida. Veicoli e motori possono essere convertiti in configurazioni dedicate esclusivamente ad un combustibile alternativo o con alimentazione "bi-fuel" con due motori separati e relativi sistemi ancillari.
- **Retrofit:** "Retrofit" è un termine usato spesso per tutte le modifiche effettuate su una propulsione diesel per ridurre le emissioni inquinanti. Le tecnologie di retrofit sono costituite da modifiche o aggiunta di alcuni componenti nel motore. L'attività di "retrofit" più comune è l'aggiunta di sistemi di abbattimento emissioni negli scarichi del motore quali: filtri antiparticolato diesel (DPF), catalizzatori di ossidazione diesel (DOC), riduzione catalitica selettiva (SCR).
- **Repowering:** l'opzione di "repowering" è particolarmente adatta ai veicoli più vecchi. Il "repowering" di un veicolo consiste nella sostituzione dell'intero powertrain (inteso come motore e sistemi ancillari ad esso) con un nuovo powertrain per soddisfare gli standard sulle emissioni, con il riflesso positivo di poter prolungare la vita del veicolo, ridurre il consumo di carburante e ridurre significativamente le emissioni climalteranti e inquinanti. Una strategia di questo tipo richiede tuttavia una soluzione ingegnerizzata, perché i nuovi componenti del motore non sono progettati generalmente per la disponibilità di spazio dei vani motore. Ciò si riflette su un costo maggiore⁵⁸.

Il "repowering" di un mezzo diesel rappresenta un'ottima strategia per la riduzione delle emissioni inquinanti e climalteranti oltre che per allungare la vita utile di mezzi per il trasporto pubblico. Ad oggi diverse realtà aziendali offrono la possibilità di "repower" di mezzi per il trasporto pubblico prevedendo sostanzialmente la modifica del powertrain, composto da unità propulsiva, accumulo energetico, controllo/gestione e interfaccia con l'autista/operatore, oltre ad alcune variazioni dei sistemi ancillari a seconda della tecnologia impiegata. Il processo di "retrofit" differisce molto a seconda del sistema propulsivo adottato che si tratti di puro elettrico, ibrido, con celle a combustibile, oppure a metano, con i vari gradi di ibridizzazione. Tuttavia, l'impatto non si limita alla sola variazione

⁵⁸ <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/69030.pdf> DOE/GO-102017-5039 • October 2017

di emissioni inquinanti e clima-alteranti ma anche al costo e al servizio offerto (in termini di autonomia, ricarica/rifornimento, etc..) che va accuratamente valutato. Il processo di “retrofit” del powertrain può includere o essere disaccoppiato dalla ristrutturazione e l’aggiornamento del corpo veicolo, che tuttavia deve essere considerata al fine di un effettivo e visibile rinnovo della flotta veicoli, tenuto conto che può contribuire all’immagine degli attori che programmano, finanziano e svolgono i servizi TPL, oltre a fornire evidenti vantaggi ambientali ed economici.

Nei seguenti capitoli si descrivono le principali soluzioni di “repowering” con evidenza dei principali punti di forza e debolezza della nuova propulsione adottata. Vengono prese in considerazione esclusivamente le strategie di “repowering”, ovvero legate alla sostituzione del powertrain, e non quelle di “retrofit” legate all’installazione di sistemi per l’abbattimento degli inquinanti (NOx o PM) di una propulsione diesel.

6.1 Repowering: da gasolio a batteria - elettrico

La modifica da propulsione a gasolio a propulsione completamente elettrica richiede la rimozione e l’aggiunta di numerosi sistemi a bordo bus oltre che l’aggiunta di elementi fondamentali per la propulsione elettrica quali freni rigenerativi, pacchi batterie, powertrain elettrico e gestore di potenza elettrica, con inoltre gli aspetti di sicurezza legato al nuovo pericolo di elettrocuzione presente⁵⁹. Esistono tuttavia due approcci per raggiungere questo obiettivo:

- Sostituire il motore diesel e la sua trasmissione con un motore elettrico, attuando la propulsione sull’asse posteriore esistente (probabilmente con una modifica al rapporto al ponte posteriore). Aggiungere un pacco batteria di trazione e un gestore di potenza elettrica, più un compressore d'aria elettrico ed una pompa idraulica (per il servizio al servosterzo), fornire un'alimentazione a 24 V CC dalla trazione batterie e una fornitura di potenza per l’impianto di aria condizionata.
- Operare come al punto precedente, a differenza del fatto che l'asse posteriore viene completamente sostituito da uno nuovo, con motori elettrici montati direttamente nei mozzi. Questa soluzione fornisce un’installazione più compatta eliminando pesi quali l’albero di trasmissione ed il differenziale.

Per una conversione ottimale della flotta veicoli si preferisce agire su mezzi di circa dieci anni in cui le parti più usurate (il motore e la trasmissione) sono prossime ad importanti fasi di manutenzione e revisione. Tuttavia, la soglia di età ottimale per questa operazione non risulta univocamente determinabile dato che alcune fonti riportano l’indicazione di un’età dei mezzi inferiori ai 5 anni rispetto alla aspettava di vita.

L’aspetto più importante dell’operazione di “repowering” è la capacità della batteria da dimensionare in modo appropriato, senza impattare sull’esistente capacità di trasporto passeggeri. Le tipiche capacità della batteria attualmente installate variano tra i 72 a 420 kWh. Capaci di garantire un’autonomia tra i 100 a 300 km in funzione dell’uso. L’operazione di ricarica impatta pesantemente sul servizio, in caso di servizio garantito con autonomia giornaliere elevate.

Risulta complicato stimare con precisione i costi coinvolti in tali conversioni, dal momento che il contesto è quello di un mercato in evoluzione e sviluppo. Un aspetto di riduzione di costo che si intravede nei prodotti disponibili è la standardizzazione dei kit di conversione. Chiaramente il costo

⁵⁹ Repowering CNG and Diesel Buses to Electric Basil Hancock Principal Consultant, Project Management Services William Wachsmann Head of Safety and Assurance

del capitale della conversione sarà maggiore rispetto al costo di una revisione di un veicolo diesel alla medesima età, ma sarà sostanzialmente inferiore all'acquisto di un veicolo nuovo elettrico. Ad ogni modo, la conversione elettrica deve considerare anche l'investimento lato infrastruttura di ricarica, oltre che un approfondito studio di fattibilità al fine di verificare la garanzia di servizio in termini di autonomia e tempi di ricarica.

Esistono fonti di letteratura e informazioni pubblicitarie di kit per la conversione a propulsione completamente elettrica che citano un risparmio in termini di TCO (Total Cost of Ownership) su 9 anni pari al 20%, se si confronta il caso di sostituzione di autobus rinnovato e modificato a propulsione elettrica, con uno nuovo alimentato a diesel⁶⁰. Va chiarito che il maggior risparmio è principalmente imputabile alla riduzione delle spese operative legate al costo del vettore elettrico rispetto al diesel (da valutare accuratamente in particolare nell'attuale situazione economica).

In termini di costo per l'operazione, esistono fonti di letteratura che citano un esborso totale inferiore ad un 1/3 del costo di un nuovo bus diesel⁶¹. Altre fonti citano costi di "repowering" su di un mezzo con pacco batterie pari a 200 kWh pari a 110 k€ per il kit di "repowering" e l'installazione, oppure circa 125 k\$-175 k\$ a seconda delle taglie di batteria⁶².

L'operazione di "repowering/retrofitting" elettrico richiede tempistiche variabili a seconda del mezzo interessato e dell'azienda incaricata di eseguire l'operazione. Si citano in letteratura periodi compresi tra le 2 e le 24 settimane. L'operazione generalmente include anche il testing e l'omologazione, incluso il tema garanzia di diversi anni a seconda dell'azienda.

L'esperienza e la strategia di "repowering" dei mezzi diesel in elettrici è molto seguita in Inghilterra, dove esiste un partenariato Pubblico-Privato che sovvenziona tali sperimentazioni (Zemo partnership) con diversi casi ed esempi attivi (poco più di 10 al 2020).



⁶⁰ e-troFit™ - the world's most sustainable and economic electrification KIT for commercial vehicles. https://www.aveve.org/wp-content/uploads/2020/06/e-troFit-GmbH_AVERE-webinar_17062020_AH.pdf

⁶¹ https://lightningemotors.com/wp-content/uploads/2020/10/LeM_Via-Hop-Boulder-Bus-Repower-case-study.pdf

⁶² <https://stnonline.com/blogs/the-big-deal-about-nycs-first-electric-school-buses-being-diesel-repowers/>

Figura 23. Caso studio: Battery-Electric Repower, costo complessivo: 250k€ per il repowering di due bus diesel a full electric. [anno 2016]⁶³

6.2 Repowering: da gasolio a motore a combustione interna H2

La possibilità di effettuare un “repowering” mediante alimentazione ad idrogeno su un mezzo originariamente alimentato a diesel è piuttosto recente. Sebbene l'utilizzo dell'idrogeno sia comunemente associato alle celle a combustibile, in anni recenti è stato largamente sviluppato anche lo studio per l'alimentazione diretta di motori a combustione interna (H2-ICE, Internal Combustion Engine), con elevata efficienza (42%)⁶⁴. In particolare, una combustione condotta in regime “ultra-lean” (eccesso di aria) porta ad un significativo aumento di efficienza dell'H2-ICE. Tuttavia, tale tipologia di combustione richiede un layout specifico del sistema (principalmente in termini di rapporto di compressione), una modifica del turbocompressore (per abilitare l'operazione con cariche molto povere), una modifica delle valvole di ricircolo esausti- EGR (diluizione), una modifica al dispositivo di trattamento esausti di combustione AFT (per ridurre gli NOx formati a livelli minimali) oltre che la possibilità di applicare la modifica su di motore che accomodi naturalmente le elevate pressioni di combustione, tipiche di un motore Diesel, il quale oltretutto fornisce già livelli di affidabilità ideali per applicazioni commerciali.

Dalla combustione dell'idrogeno non viene emessa CO₂. La fonte di inquinamento minima proviene dalla combustione della frazione di lubrificante consumato oltre che dalla reazione dell'urea iniettata nel sistema di post trattamento (SCR) dei gas di scarico: anche con queste considerazioni, l'emissione totale di CO₂ rimane al di sotto di 1 g/kWh abilitando la possibilità di omologare il veicolo come veicolo a zero emissioni⁶⁵. Gli NOx (ossidi di azoto) sono l'unica emissione residuale di un motore H2 ICE), che tuttavia raggiungono concentrazioni allo scarico motore inferiori a 1/10 comparato ad un analogo motore diesel allo stato dell'arte, ulteriormente abbattuto dal sistema SCR a valle del motore.⁶⁶

La conversione di un classico motore diesel ad uno alimentato da idrogeno, richiede una modifica al motore stesso, principalmente focalizzato su alcuni componenti:

- un efficiente sistema di sovralimentazione (turbocompressore e circuito EGR), per garantire l'elevata richiesta d'aria;
- l'ottimizzazione della taglia degli iniettori e il ridimensionamento del collettore di aspirazione per la corretta introduzione del combustibile;
- modifica degli anelli del pistone per limitare ed abbattere il trafileamento di H₂;
- la testa del motore viene sottoposta a rilavorazione delle sedi dell'iniettore diesel per consentire l'installazione di candele centrali.

Il resto dei sistemi principali, quali le porte di aspirazione /scarico, i passaggi di acqua e olio, sono mutuati dal motore diesel; tuttavia, è rimosso l'intero sistema di alimentazione diesel sostituito dai sistemi di iniezione e accensione H₂ (rail di alimentazione, iniettori, candele, bobine e tubazioni dell'idrogeno).

In termini di costo non sono disponibili quotazioni o stima dei costi sostenuti per un repowering con tecnologia ICE-H₂, dato il carattere innovativo dell'opzione. Tuttavia, alcuni studi preliminari

⁶³ Zero Emission Bus Guide October 2022, zemo.org.uk. Authors: Daniel Hayes, Programme Manager, Tim Griffen, Project Officer, Reviewed by: Jason Doran, Head of Marketing

⁶⁴ Yip, Ho Lung, et al. "A review of hydrogen direct injection for internal combustion engines: towards carbon-free combustion." *applied sciences* 9.22 (2019): 4842.

⁶⁵ “Zero Emission Vehicle” (EU reg. 2019/1242, EU directive 2019/1161)

⁶⁶ Fonte: PUNCH Torino (PUNCH Hydrocells).

paragonano il TCO a 5 anni della soluzione repowering – H2 ICE, con quello di un sistema a fuel cell e di un nuovo motore diesel, prospettando questa soluzione come un interessante opzione al repowering a batterie in termini di costo sostenuto durante il servizio operativo.

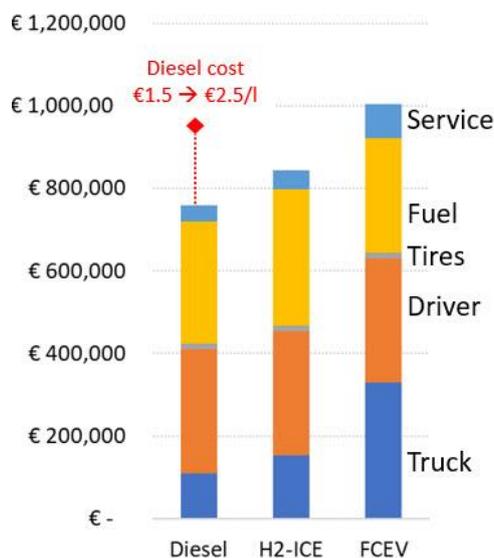


Figura 24. Comparazione dei TCO 5 anni per 3 tecnologie di propulsione: diesel, H2-ICE e Fuel Cell⁶⁷, il punto rosso in corrispondenza della soluzione diesel mostra come il TCO potrebbe crescere in caso di costo diesel pari a 2,5 €/litro.

Esiste anche la possibilità di effettuare un “repowering” su H2 alimentato da celle a combustibili. Il procedimento risulta molto simile a quello di repowering batteria, dove l’intero motore diesel e ausiliari, viene disassemblato per far posto alle unità di cella a combustibile, elettronica di potenza e batteria di buffer⁶⁸ (Hyzon Motor). Tuttavia, gli attuali riferimenti in letteratura specializzata si concentrano sul repowering di camion per il trasporto pesante piuttosto che su mezzi per il trasporto pubblico (unica azienda rilevata al momento è la Clean logistic⁶⁹).

Di seguito si riporta una lista dei principali attori industriali coinvolti in attività e servizi di repowering di mezzi diesel sia su batteria che anche H2 a fuel cell o ICE.

Tabella 4. Lista preliminare aziende coinvolte nel repowering di mezzi per il trasporto pubblico.

Repowering	Azienda
H2 ICE	• Punch Torino (Hydrocell)
	• Industria Italiana Autobus
H2 Fuel Cell	• HYZON motors • Clean logistic
Batteria	• Equipmake • KleanBus • Ricardo • Magtec

⁶⁷ <https://mobilitynotes.com/h2-ice-truck-cost-of-ownership-vs-diesel-and-fuel-cell-vehicles/> Fonte: Yip, Ho Lung, et al. "A review of hydrogen direct injection for internal combustion engines: towards carbon-free combustion." applied sciences 9.22 (2019): 4842.

⁶⁸ Fonte: Hyzon Motor, <https://www.hyzonmotors.com/repower>

⁶⁹ <https://www.cleanlogistics.de/en/fyuriant.html>

	<ul style="list-style-type: none"> • Amminex Emissions Technology A/S
--	--

6.3 Repowering: metano

L'uso di gas naturale in un motore a combustione interna richiede che esista una qualche forma di innesco integrato. Mentre il motore a benzina con accensione a scintilla sembra essere l'opzione più ovvia per la conversione a gas naturale, tale opzione trova consistenza anche nei motori diesel nonostante il principio di accensione per compressione. Infatti, un motore diesel può anche essere convertito per funzionare solo a metano sostituendone gli iniettori diesel con candele per generare la scintilla.

Il “repowering” verso propulsione a gas naturale prevede fundamentalmente due diverse opzioni su motore diesel:

- conversione di un motore diesel in CNG dedicato (accensione a scintilla);
- conversione di un motore diesel a doppia alimentazione (gas e diesel combinati) combustione.

Gli autobus urbani che operano da un deposito su itinerari fissi sono, in linea di principio, ideali per la conversione alla combustione dedicata di metano (prima opzione). In tal caso, il motore diesel deve essere modificato (convertito) in un motore ad accensione comandata per bruciare il 100% di gas naturale invece del diesel. La modifica principale richiesta è una riduzione del rapporto di compressione fino a circa 14:1, che si ottiene rimuovendo il materiale dalla tazza del pistone o sostituendo i pistoni e/o testata cilindri. Gli iniettori diesel devono essere sostituiti con candele e carburatore a gas (mixer) deve essere riparato. Anche la pompa del gasolio deve essere rimossa e un distributore (o un sistema di accensione elettronica a scintilla) aggiunto. A causa dell'aumento del calore disperso della combustione del metano, derivante dalla minore efficienza meccanica rispetto alla combustione diesel, il sistema di raffreddamento del motore deve essere migliorato in molti casi. Ciò può essere fatto sostituendo la testata del cilindro con un più ampio diametro delle condotte idriche e/o installando un radiatore maggiorato. Nel sistema a doppia alimentazione (seconda opzione) la quantità di gasolio è ridotta a un'iniezione pilota finalizzata ad avviare la combustione. I motori a doppia alimentazione rimangono diesel, cioè ad autoaccensione, motori per i quali il deficit di energia, causato dalla riduzione dell'iniezione diesel, viene compensato a qualsiasi posizione dell'acceleratore da gas naturale miscelato con l'aria di aspirazione. Le modifiche costruttive sono minori: l'iniezione il sistema deve essere modificato per ridurre il flusso di gasolio, integrato da un miscelatore di gas nell'aspirazione tratto per fornire la quantità di bilanciamento del gas al motore. Il tasso di sostituzione del diesel è di solito ridotto a un intervallo di circa il 70 per cento in condizioni di funzionamento/carico del motore medio dell'autobus ma può anche variare notevolmente.

Si riassumono i maggiori pregi e difetti delle due soluzioni nella seguente tabella:

Propulsione mediante metano	<ul style="list-style-type: none"> • Sostituzione al 100% del diesel a metano. • Emissioni ridotte. • Maturità tecnologica elevata 	<ul style="list-style-type: none"> • Scarsa affidabilità con condizioni di manutenzione inferiori. • necessario personale qualificato conversione e manutenzione.
Doppia alimentazione (metano/diesel)	<ul style="list-style-type: none"> • Solo motore minore modifiche. • Alta affidabilità anche con scarse condizioni di manutenzione. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ridotto impatto sulla sostituzione del gasolio.

		<ul style="list-style-type: none"> • Scarsa riduzione dello scarico emissioni ad eccezione del particolato.
--	--	--

Il costo per il repowering a metano di un motore diesel risulta essere estremamente ridotto rispetto alle opzioni batterie o idrogeno, pari a circa 20 – 70 k€ (con sostituzione blocco motore e serbatoio⁷⁰, riferito ad un mezzo per il trasporto pesante).

6.4 Repowering e contesto FVG-PREPM

Nel contesto del Friuli-Venezia Giulia e del PREPM-TPL al 2030, il tema del “repowering” va attentamente considerato come possibile opzione di rapida decarbonizzazione della flotta e ottimizzazione dei costi (per la quale va comunque considerato lo stato di sperimentazione di alcune delle ipotesi sopra rappresentate). Come menzionato nei paragrafi precedenti, tale strategia permette di convertire dei mezzi diesel a fine ciclo (15 anni o meno tenuto conto dei vincoli di cui agli obblighi contrattuali del gestore del servizio) in mezzi a propulsione alternativa, mediante sostituzione del powertrain e revamping del mezzo. L’obiettivo di questa strategia è riuscire a raggiungere l’obiettivo di decarbonizzazione e riduzione degli inquinanti al minor costo possibile.

Il “repowering” ed il tipo di propulsione da installare, vanno attentamente valutati sulla base delle infrastrutture presenti o in previsione. Oltre ciò, il contesto imposto dalla normativa EURO VII, dal 2025, con le relative limitazioni date dalle nuove e più stringenti norme sulle emissioni dei veicoli porta ad un’attenta riflessione sulla opportunità di considerare tale alternativa, evitando l’acquisto di mezzi con maggiori sistemi di abbattimento inquinanti con impegni economici futuri ragionevolmente più rilevanti rispetto quelli legati agli attuali costi degli autobus diesel di categoria EURO VI. Si consideri inoltre che la strategia degli acquisti di autobus diesel nel periodo fino al 2030, dovrà tenere conto degli esiti del Regolamento europeo, ad oggi in fase di discussione, che prevede zero emissioni dal 2030 per i bus che circolano in città e un taglio del 90% delle emissioni per le flotte degli altri mezzi pesanti, a partire dal 2040, contesto che potrà portare quindi al divieto di circolazione di mezzi diesel e benzina in ambito urbano e forti limitazioni altrove, eliminando di fatto la possibilità di futuri rinnovi della flotta autobus con tali propulsioni. Il “repowering”, quindi, può supportare una strategia di transizione verso mezzi a mobilità sostenibile con alimentazioni alternative in particolare per la flotta diesel che al 2035 sarà ancora presente ma di età non ancora tale da comportare la dismissione dei mezzi.

Il PREPM nello Scenario 1, successivamente descritto, prevede l’acquisto di 56 autobus diesel per servizi extraurbani nel periodo 2025-2030, con identici mezzi dismessi in ragione del raggiunto limite di età ai sensi del contratto di servizio (massima età dei mezzi TPL circolanti di 15 anni) nello stesso periodo temporale. I mezzi acquistati in prossimità del 2030 (dall’anno 2025) sono potenzialmente soggetti a “repowering” dei loro powertrain nell’ottica di un ulteriore rafforzamento della transizione verso una mobilità pienamente sostenibile ed a basse o zero emissioni. Tuttavia, anche i mezzi diesel precedenti al 2025 possono essere soggetti ad opzione di “repowering”, nel caso in cui si ritenga necessario incrementare la quota di decarbonizzazione del trasporto pubblico locale in maniera più significativa già nei primi anni di implementazione del piano evolutivo, e come valida alternativa all’acquisto di nuovi bus (valutazione economica).

⁷⁰ Biomethane use for cities: grid injection & transport in Valmiera/Latvia WP 5 – Task 5.2/5.3 / D5.2/5.3 April 2014, https://www.urbanbiogas.eu/images/pdf/FR/ANNEX_FR_41_D5_2_EKODOMA_EN_Biomethane_use_concept.pdf

La strategia relativa al tipo di propulsione aggiornata mediante il “repowering” dei mezzi diesel deve in ogni caso essere opportunamente condivisa con il gestore dei servizi di TPL, con particolare riferimento alle infrastrutture installate o in programmazione, e alle capacità produttive e di disponibilità energetica nei casi di mobilità basate su siti di produzione centralizzati come biometano o idrogeno.

In termini generali, per il contesto territoriale dell'ex provincia di Pordenone potrebbe essere valutata la soluzione di “repowering” a gas naturale e/o elettrica come quella migliore da adottare, a meno di prossimi investimenti in infrastrutture per l'idrogeno, a supporto del trasporto extraurbano.

Per il contesto territoriale delle ex provincie di Gorizia e di Udine potrebbe essere valutata la possibilità di eseguire “repowering” di veicoli diesel su tutte le opzioni tecnologiche sopra descritte, avendo in programmazione l'ingresso nella flotta mezzi sia di veicoli a propulsione a batteria, che con sistemi a idrogeno e gas naturale.

Nel contesto territoriale dell'ex provincia di Trieste potrebbe essere valutata la possibilità di applicare la strategia di retrofit verso propulsioni a batteria o idrogeno ad esclusivo uso urbano.

Il principale parametro che discrimina la scelta dell'opzione di “repowering” è l'effettiva forchetta di costo fra l'acquisto di un mezzo nuovo a zero emissioni oppure il kit di “repowering” e la sua installazione, oltre che il costo di rinnovamento (revamping) in caso di mezzi con età avanzata.

7 Programma operativo di rinnovo evolutivo del parco mezzi TPL in Friuli-Venezia Giulia

7.1 Riferimenti per la definizione del PREPM-TPL

Vengono riportati di seguito i valori di riferimento e le assunzioni poste alla base del PREPM-TPL, frutto della condivisione e dello scambio di dati e interlocuzioni tecniche tra le competenti strutture regionali, FBK nel suo ruolo di referente per il supporto tecnico-scientifico, e il gestore unico dei servizi di TPL regionali e locali automobilistici, Società TPL FVG Scarl.

L'annualità di riferimento a partire dal quale il PREPM definisce il piano di sostituzioni finalizzato alla transizione energetica del parco mezzi TPL è il 2021. Tale assunzione deriva sostanzialmente da due condizioni: da un lato il riferimento al quadro normativo consolidatosi con la l.r. 23/2021, e le sue successive integrazioni, che ha disposto la definizione del presente programma, nonché fissato gli obiettivi da conseguire con l'attuazione dello stesso; dall'altro il fatto che il PREPM, in considerazione dei vincoli derivanti da alcuni dei provvedimenti statali che dispongono l'assegnazione di risorse alla Regione, tiene conto della fornitura di mezzi ad alimentazione alternativa già a decorrere dal 2022, concretizzando pertanto, a partire da tale annualità, gli effetti della sua attuazione, assumendo quindi il 2021 quale "anno zero".

Essendo, poi, l'obiettivo di cui all'art. 5, comma 15 quater, della l.r. 23/2021 fissato con riferimento all'anno 2030, ne consegue che il periodo di riferimento per il programma operativo del PREPM è, in senso stretto, il 2022 – 2030, con la precisazione che l'impatto della sua attuazione viene valutato sull'arco temporale 2021 – 2030 e, quindi, come detto, con riferimento al parco circolante nell'anno 2021 (più precisamente al 31/12/2021, in quanto si deve considerare che l'immissione di nuovi mezzi avviene secondo una dinamica dilazionata nel corso dell'anno, secondo esigenze e disponibilità delle forniture per le diverse consorziate).

Assunto un tanto, il target regionale di sostituzione mezzi (riduzione del 50% di autobus a gasolio) viene definito, quindi, in base alla flotta per il TPL circolante al 31/12/2021, di cui vengono descritte di seguito composizione e caratteristiche in termini di percorrenze e consumi:

- nel 2021 il servizio fornito dalla società consortile TPL FVG Scarl (composta dalle quattro consorziate Arriva Udine, ATAP Pordenone, APT Gorizia e Trieste Trasporti) per il trasporto pubblico locale automobilistico viene realizzato con un totale di 954 mezzi, distribuiti fra le consorziate come in Tabella 5;
- la percorrenza totale annua nel 2021 dell'intera flotta, a causa delle soggezioni derivanti dal contesto Covid-19, è stata di circa 41,9 milioni di km, di cui circa 18,9 milioni per il servizio urbano e circa 23,0 milioni per il servizio extraurbano (contro 43,2 milioni di km complessivamente programmati nell'anno di riferimento), con diverse specificità di consumo combustibile dovute alle diverse percorrenze e orografie affrontate dai servizi offerti dalle singole consorziate.

Il PREPM-TPL assume, di base, invariato il servizio offerto dalle singole consorziate nel periodo 2021 – 2030 e, quindi, un numero totale di autobus (urbani ed extraurbani) e relative produzioni chilometriche annuali costanti, a meno di un aumento del numero di mezzi a 967 (+13), correlato alla riorganizzazione operativa dell'impiego macchine in ragione della diversa flessibilità di utilizzo che le nuove alimentazioni potranno consentire, con un conseguente e graduale eventuale riassorbimento o alienazione dei mezzi diesel, non sostituiti in origine, una volta definito l'esatto numero di mezzi

necessari per il servizio e di scorta, oltreché per l'effettuazione di alcuni nuovi servizi già previsti, come quelli da realizzarsi nel contesto urbano di Udine con l'utilizzo di mezzi elettrici, o in corso di definizione, come quelli che interesseranno il contesto urbano e transfrontaliero di Gorizia anche in relazione all'evento "GO!2025". A questi si aggiunge un mezzo a gasolio pertinente al contesto territoriale triestino rimasto per un periodo fuori servizio e rientrato, con nuova immatricolazione, a fine 2022 (considerato ai fini del PREPM parte integrante della flotta a partire dal 2023).

Tabella 5. Situazione flotta TPL FVG al 2021. Composizione flotta autobus per il trasporto pubblico locale della regione Friuli Venezia Giulia suddivisa per società consorziate, servizi urbani ed extraurbani, e alimentazione.

Consorziate	Numero mezzi	gasolio	metano	batteria	Note (mezzi ibridi parificati ai fini PREPM a gasolio)
Arriva Udine	398	334	64		
Extraurbano	318	308	10		
Urbano	80	26	54		
APT Gorizia	122	120		2	
Extraurbano	86	86			
Urbano	36	34		2	
ATAP Pordenone	164	164			6 (gasolio/elettrico) + 2 (gasolio/LNG)
Extraurbano	136	136			3 (gasolio/elettrico) + 2 (gasolio/LNG)
Urbano	28	28			3 (gasolio/elettrico)
Trieste Trasporti	270	270			
Urbano	270	270			
Totale TPL FVG	954	888	64	2	6 (gasolio/elettrico) + 2 (gasolio/LNG)
Urbano	540	530	10	0	3 (gasolio/elettrico) + 2 (gasolio/LNG)
Extraurbano	414	358	54	2	3 (gasolio/elettrico) + 2 (gasolio/LNG)

Il programma sostitutivo dei mezzi TPL previsto dal gestore unico dei servizi, TPL FVG Scarl, in ottemperanza agli obblighi contrattuali, e cioè finalizzato al mantenimento di una vita media della flotta non superiore a 7,5 anni e di un anzianità non superiore ai 15 anni di vita per ogni singolo mezzo, e che prevede la sostituzione dei mezzi che non rispettano tali parametri con nuovi mezzi con le più recenti caratteristiche di motorizzazione Euro, prefigura (come da ultimo valutato dalla stessa) la sostituzione, nel periodo 2021 – 2030 (tenuto conto che l'annualità 2021 viene assunta quale contesto di rinnovo già consolidato), di un totale di 589 mezzi. Tale valore, in analogia previsione di sostituzione di mezzi della flotta, ma con l'introduzione anche di mezzi alimentazione alternativa in luogo di parte dell'introduzione di nuovi mezzi diesel, tenuto conto delle risorse statali disponibili a tal fine, porta ad un corrispondente valore di nuovi mezzi da introdurre, nel medesimo periodo, pari a 602 bus. Il rispetto degli obblighi contrattuali è attuato con una progressiva sostituzione dei mezzi su base annua. In questo modo la sostituzione dei mezzi a gasolio è prevista, di norma, nel momento in cui avranno raggiunto la durata massima della loro vita utile di 15 anni (cioè l'età massima prevista da contratto). Si evidenzia che, se per rispettare i vincoli contrattuali è necessario sostituire i 589 mezzi con altrettanti nuovi autobus diesel di motorizzazione Euro di ultima generazione (come descritto nel capitolo 2 - Tabella 2, la Regione ha già ricompreso nel corrispettivo contrattuale il rinnovo del parco autobus, stimabile sul periodo 2021 – 2030 in 114 milioni di euro), il PREPM si concretizza quale programma evolutivo verso sistemi ad alimentazione "green" e la sua attuazione prevede la sostituzione di mezzi a gasolio con mezzi a basse o zero emissioni in modo tale da rispettare gli obiettivi regionali diretti alla transizione energetica del parco mezzi (50% di mezzi diesel sostituiti entro il 2030).

Le alimentazioni alternative che andranno a sostituire, secondo il programma definito dal PREPM, quelle attualmente in uso sono: gas naturale (compresso, CNG, o liquefatto, LNG), energia elettrica (mezzi a batteria), idrogeno (autobus a celle a combustibile ossia fuel cell, FC). A seconda, poi, dello scaglionamento temporale dell'entrata in servizio delle varie tipologie di mezzi, è possibile valutare, anno per anno, la riduzione dei consumi di gasolio/metano fossili (e quindi delle emissioni ad essi associate) e quantificare l'incremento dei consumi di combustibili alternativi. In particolare, vengono calcolati, oltre alla quantità di gasolio utilizzata, anche i kWh di energia elettrica utilizzata dai mezzi a batteria (con cui stimare la capacità degli accumuli a bordo mezzo), la quantità di metano consumata dai mezzi CNG/LNG e l'idrogeno utilizzato dai mezzi a celle a combustibile (e indirettamente i kWh di energia elettrica necessari per produrre l'idrogeno elettrolitico richiesto).

Il PREPM, inoltre, propone una stima delle emissioni della flotta, valutate sui consumi specifici (litri di gasolio o chilogrammi di gas metano per 100 km percorsi) così come resi disponibili da TPL FVG. Questi sono stati forniti divisi per consorziata, tipologia di servizio (urbano/extraurbano), tipologia di mezzo (diverse lunghezze/numero di piani) e tipologia di alimentazione (Tabelle 6 – 9). Tale classificazione è stata ritenuta la più coerente con l'esigenza di articolare le differenze dei veicoli, in termini di prestazioni e consumi, a seconda della tipologia di servizio effettuato mediamente nell'anno, pur consentendo la trattazione di una serie di dati di tipo aggregato.

Tabella 6. Consumi medi annui registrati per la consorziata Arriva Udine, distinti per tipologia di servizio offerto, tipologia di mezzo e alimentazione.

Consorziata Arriva Udine			
Urbano			
Alimentazione	Lunghezza [m]	Consumo carburante	
Gasolio	Urbano medio (8 m)	37,0	l/100km
Gasolio	Urbano corto (7 m)	23,8	l/100km
Gas	Urbano standard (12 m)	38,5	kg/100km
Extraurbano			
Alimentazione	Lunghezza [m]	Consumo carburante	
Gasolio	Extraurbano 2 piani	43,5	l/100km
Gasolio	Extraurbano lungo (13 m)	34,5	l/100km
Gasolio	Extraurbano standard (12 m)	32,3	l/100km
Gasolio	Extraurbano medio (10,5 m)	34,5	l/100km
Gasolio	Extraurbano corto (8-9 m)	32,3	l/100km
Gas	Extraurbano standard (12 m)	28,6	kg/100km

Tabella 7. Consumi medi annui registrati per la consorziata APT Gorizia, distinti per tipologia di servizio offerto e tipologia di mezzo.

Consorziata APT Gorizia		
Urbano		
Lunghezza [m]	Consumo gasolio	
8	33,66	l/100 km
9,5 e 10,7	32,95	l/100 km
Extraurbano		
Lunghezza [m]	Consumo gasolio	
2 piani	40,35	l/100 km

18	46,84	l/100 km
12	31,71	l/100 km

Tabella 8. Consumi medi annui registrati per la consorziata ATAP Pordenone, distinti per tipologia di servizio offerto e tipologia di mezzo.

Consorziata ATAP Pordenone		
Urbano		
Lunghezza [m]	Consumo gasolio	
Tutti mezzi urbani	36	l/100 km
Extraurbano		
Lunghezza [m]	Consumo gasolio	
7	15,41	l/100 km
9	27,37	l/100 km
10	29,08	l/100 km
12	31,18	l/100 km
14	39,95	l/100 km
2 piani	41,75	l/100 km
18	44,04	l/100 km

Tabella 9. Consumi medi annui registrati per la consorziata Trieste Trasporti, distinti per tipologia di servizio offerto e tipologia di mezzo.

Consorziata Trieste Trasporti		
Urbano		
Lunghezza [m]	Consumo gasolio	
18	64,3	l/100 km
altre misure (7,7 - 9,5 - 10,5 - 12 m)	42,4	l/100 km

Al fine dell'analisi, il PREPM assume i valori di consumo di ogni tipologia di mezzo come sopra rappresentati associandoli ai singoli mezzi della flotta, per poi determinare le emissioni puntuali associabili ai singoli autobus. Relativamente al consumo della flotta, è ritenuto sufficiente identificare un valore medio pesato sulla suddivisione dei mezzi a livello di consorziata, tenendo conto delle differenze (anche sostanziali) all'interno di ognuna di esse derivanti dal contesto territoriale su cui è esercito il servizio, e sul numero di mezzi delle singole tipologie/alimentazioni. È stato perciò preso a riferimento il consumo medio ponderato per consorziata definito dal numero di mezzi, tipologia e motorizzazione, disaggregato per ambito di servizio urbano ed extraurbano. In questo modo è possibile stimare il valore delle emissioni medie e, al contempo, tenere conto dei diversi contesti territoriali di svolgimento dei servizi propri delle singole consorziate (servizio extraurbano in tratti montani contro servizio extraurbano in pianura).

Il secondo elemento che il PREPM considera ai fini della stima delle emissioni sono le produzioni chilometriche dei mezzi. Il chilometraggio viene assunto come valore medio tra quelli riferibili alle diverse tipologie di motorizzazione e alle classi di lunghezza di mezzi, disaggregato tuttavia tra ambito urbano ed extraurbano, e per ogni consorziata, come riportato in Tabella 10, al fine di mantenere un riscontro reale con la specificità delle percorrenze delle tratte.

Tabella 10. Produzioni (*) di km all'anno (2021) delle singole consorziate della TPL FVG Scarl, suddivise per tipologia di servizio offerto (urbano/extraurbano).

Arriva Udine	km
Urbano	3.123.203
Extraurbano	12.476.778
<i>Totale</i>	<i>15.599.981</i>
APT Gorizia	km
Urbano	1.372.494
Extraurbano	4.486.095
<i>Totale</i>	<i>5.858.589</i>
ATAP Pordenone	km
Urbano	1.448.419
Extraurbano	6.105.984
<i>Totale</i>	<i>7.554.403</i>
Trieste Trasporti	km
Urbano	12.923.373
<i>Totale</i>	<i>12.923.373</i>
TPL FVG Scarl	km
Urbano	18.867.489
Extraurbano	23.068.857
<i>Totale</i>	<i>41.936.346</i>

(*) Le produzioni 2021 sono risultate, a causa delle soggezioni derivanti dal contesto Covid-19, complessivamente inferiori rispetto ai 43,2 milioni di km programmati nell'anno di riferimento medesimo.

Lo scenario di rinnovo evolutivo del parco veicoli TPL del PREPM deve rispettare, oltre che i termini del contratto di servizio riportati precedentemente, anche gli obiettivi fissati dalla normativa regionale, nonché quelli delle direttive italiane ed europee e dei relativi vincoli da queste disposti a livello di decarbonizzazione della flotta e abbattimento delle emissioni inquinanti. Tali criteri sono sintetizzati in Tabella 11.

Tabella 11. Obiettivi per l'identificazione del piano evolutivo della flotta TPL FVG.

Obiettivo	Fonte	Normativa/Misura di finanziamento	Azione/Criterio
1	Legge regionale del 29 dicembre 2021, n. 23 (legge collegata alla manovra di bilancio 2022 – 2024 mediante il test vigente dal 09/08/2022)	Programma di Rinnovo Evolutivo del Parco Mezzi per il Trasporti Pubblico Locale (PREPM-TPL).	L'obiettivo di sostituzione, entro il 2030, di almeno il 50% del parco diesel con autobus elettrici, a idrogeno o CNG/LNG. Il PREPM-TPL comprende anche le infrastrutture e gli impianti da realizzare a supporto degli autobus ad alimentazione alternativa.
2	Decreto legislativo n. 187 dell'8 novembre 2021	Recepimento della Direttiva europea 2019/1161 per la "promozione di veicoli puliti e a basso consumo energetico nel trasporto su	Gli appalti per la fornitura di autobus (categoria M3) nel contesto urbano devono garantire l'acquisto di almeno il 45% di veicoli "puliti", mentre dal 1° gennaio 2026 al 31 dicembre 2030 deve

		strada” (Clean Vehicles Directive).	essere assicurato l’acquisto di almeno il 65% di veicoli puliti. Il 50% degli autobus “puliti” deve essere a emissioni zero.
3-PN/TS	PNIEC ⁷¹	Solo per i comuni capoluogo di città metropolitana, nei comuni capoluogo di regione o di province autonome e nei comuni con alto tasso di inquinamento da PM10 e biossido di azoto, sulla base dei criteri stabiliti dal DPCM 14 aprile 2019.	Relativamente agli appalti per la fornitura di autobus, entro il 2022 il 30% degli acquisti per rinnovo delle flotte bus per i servizi urbani deve essere composto da veicoli elettrici, veicoli ibridi con ricarica esterna, veicoli a metano e a idrogeno. La quota sale al 50% al 2025 e all’85% al 2030.
4	Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) Fit for 55	Misura M2C2.3, volta a promuovere la produzione, la distribuzione e gli usi finali dell’idrogeno. Misura M2C2.4, volta a “sviluppare un trasporto locale più sostenibile” e misura M2C2 4.4.1, relativa al “Rinnovo del parco autobus regionale per il trasporto pubblico con veicoli a combustibili puliti”.	Misure finalizzate alla “decarbonizzazione” del trasporto pubblico, in linea con l’obiettivo di riduzione del 55% delle emissioni entro il 2030. In attesa dell’adozione formale dell’aggiornamento degli obiettivi del “Fit for 55”, l’accordo politico provvisorio approva un obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra a livello dell’UE del 40% entro il 2030 rispetto ai livelli del 2005 per i settori non coperti dal sistema di scambio di quote di emissione dell’UE (EU ETS), vale a dire il trasporto stradale e il trasporto marittimo interno, gli edifici, l’agricoltura, i rifiuti e le piccole industrie ⁷² .

Nei seguenti paragrafi (6.2 e 6.3) vengono illustrati lo Scenario 1 e le linee di indirizzo per la sua evoluzione e futuro ulteriore rafforzamento e accelerazione (Scenario 2) definiti dal PREPM-TPL per il rinnovo evolutivo della flotta TPL nel contesto della Regione Friuli-Venezia Giulia, relazionati agli obiettivi riportati in Tabella 11. Detti scenari muovono la prospettiva del salto evolutivo nel rinnovo del parco mezzi a partire, come detto, dallo stato di fatto della flotta TPL al 31/12/2021 e dalla previsione sostitutiva strettamente funzionale al rispetto degli obblighi contrattuali, traguardando altresì il raggiungimento degli obiettivi sopra descritti. Rispetto a questi è da rilevare che l’obiettivo 1 risulta vincolante e prioritario, così come gli obiettivi 2 e 3 (quest’ultimo sui contesti dei servizi di TPL urbani di Pordenone e Trieste) costituiscono un obbligo che si concretizza al livello dei bandi di gara per le forniture degli autobus che, sui periodi di riferimento individuati dalle rispettive normative, devono portare complessivamente al conseguimento di quanto prescritto sulla scala regionale; l’obiettivo 4, invece, come già evidenziato, non rappresenta un vincolo puntuale per la Regione Friuli Venezia Giulia, né tantomeno puntuale per il settore del trasporto pubblico locale, in quanto si riferisce a obiettivi da raggiungere a livello medio nazionale, pur contribuendo al raggiungimento in

⁷¹ Fonte: PNIEC, https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf, pag 145.

⁷² Fonte: <https://www.consilium.europa.eu/it/press/press-releases/2022/11/08/fit-for-55-eu-strengthens-emission-reduction-targets-for-member-states/>

termini generali degli stessi, e rilevato che la strategia complessiva regionale in tema di energia e sviluppo sostenibile viene declinata nella normativa e nel contesto dello specifico piano di settore.

Il PREPM orienta, quindi, la definizione degli scenari come di seguito:

- Scenario 1: scenario di riferimento rispettante i vincoli normativi di cui agli obiettivi 1, 2, 3 e 4;
- Scenario 2: scenario che definisce, a partire dal quadro delineato con lo Scenario1, le linee di indirizzo per ulteriori azioni di rinnovo volte a massimizzare l'introduzione di veicoli a zero emissioni per la riduzione di emissioni climalteranti e inquinanti, nell'ottica di un'ulteriore accelerazione e rafforzamento della transizione energetica della flotta autobus verso sistemi ad alimentazione sostenibile.

Entrambi gli scenari considerano, di base, la sostituzione dei mezzi diesel con mezzi a bassa emissione di CO₂ (CNG e LNG) alimentati da biometano, e quindi con emissioni climalteranti considerabili nulle (tuttavia con emissioni inquinanti di PM e NOx, seppur ridotte), o con mezzi a zero emissioni (intesi come a batteria o a idrogeno, alimentati da energia rinnovabile).

Per mezzo a bassa emissione si rimanda alla classificazione della direttiva DAFI (2014/94/UE15) che sovrintende alla realizzazione di infrastrutture per i combustibili alternativi a quelli standard (benzina e diesel). La classificazione prevede che i mezzi a bassa emissione possano essere quelli alimentati da:

- elettricità;
- idrogeno;
- biocarburanti non di tipo primario;
- combustibili sintetici e paraffinici;
- gas naturale, compreso il biometano, in forma gassosa (CNG) e liquefatta (LNG);
- gas di petrolio liquefatto (GPL).

All'interno dell'insieme dei mezzi a bassa emissione si considerano mezzi a emissioni nulle i veicoli privi di motore a combustione interna o con un motore a combustione interna che emette meno di 1 g CO₂/kWh o 1 g CO₂/km. Ne consegue che sono considerabili tali i mezzi alimentati a:

- elettricità;
- idrogeno.

Lo Scenario 1, e di conseguenza anche lo Scenario 2 quale rafforzamento del primo:

- rispettano il criterio contrattuale in capo al gestore del servizio TPL di garantire una vita media della flotta pari o inferiore a 7,5 anni, e di non superare i 15 anni di vita per ogni singolo mezzo;
- concretizzano il rispetto dell'obiettivo 1, determinato dalla legge regionale 29 dicembre 2021 n. 23, modificata dalla legge regionale 13/2022, che indica la sostituzione entro il 2030 di almeno il 50% del parco degli autobus diesel presenti nella flotta al 2021 con mezzi elettrici, a idrogeno o a CNG/LNG;
- rispettano gli obiettivi nazionali legati alla Clean Vehicles Directive (obiettivo 2) e al PNIEC (obiettivo 3);
- rispettano, con riferimento ad uno scenario di ripartizione lineare delle riduzioni da garantire da parte di ciascun settore di attività comportanti l'introduzione di gas climalteranti, gli obiettivi del pacchetto Fit for 55 (obiettivo 4) da parte del comparto del trasporto pubblico stradale nel caso i cui i veicoli a basse o nulle emissioni vengano alimentati a biometano o energia elettrica da fonti rinnovabili.

In relazione a quest'ultimo punto, il PREPM considera, altresì, a livello qualitativo, una prospettazione dello sforzo aggiuntivo necessario, in relazione all'inserimento di un numero maggiore di autobus "ecologici" al posto di mezzi diesel, correlato a condizioni che determinino diverse percentuali di penetrazioni di energia rinnovabile nel contesto TPL.

Lo Scenario 2, come detto, è uno scenario descrittivo e di indirizzo, e si distingue dallo Scenario 1 in quanto più ambizioso e spinto verso una maggiore penetrazione di mezzi alternativi nel contesto del trasporto pubblico della Regione sia in ambito urbano che extraurbano. Lo Scenario 2 costituisce riferimento per l'accelerazione del percorso di rinnovo della flotta, nella direzione della completa decarbonizzazione e non stabilisce puntualmente quantità e annualità di inserimento dei nuovi mezzi, ma, assumendo quale base il piano evolutivo di cui allo Scenario 1, delinea gli indirizzi di ulteriore incremento di inserimento di autobus ecologici, tenuto conto di contesti di riferimento prioritari e di massimizzazione dell'efficacia delle azioni.

Lo Scenario 1 del PREPM viene esplicitato attraverso l'evidenza del numero di autobus sostituiti ogni anno e del tipo di autobus adottato per la sostituzione, la quantificazione del rispetto dell'obiettivo regionale di riduzione dei mezzi a diesel della flotta e di quelli di cui alle direttive nazionali, nonché del contributo apportato al raggiungimento dell'obiettivo "Fit for 55", una valutazione economica che tiene in considerazione i finanziamenti e le risorse disponibili, sia per i mezzi che per le infrastrutture di supporto per l'alimentazione. Tali valori vengono articolati per ogni consorziata e per ambito urbano/extraurbano.

Per le stime di costo per l'acquisto dei mezzi vengono presi a riferimento i valori resi disponibili dal gestore dei servizi TPL FVG Scarl, specifici per mezzi con diversa taglia e motorizzazione, verificati mediante una comparazione con la letteratura disponibile al momento della stesura del presente documento e secondo il principio di una loro stima cautelativa in eccesso. In Tabella 12 sono riportati i costi medi per tipologia di motorizzazione.

Tabella 12. Costo medio per singolo mezzo per diverse motorizzazioni (diesel, CNG/LNG, BEV, idrogeno). Negli scenari è stato usato il costo mezzi conservativo reso disponibile da TPL-FVG Scarl, declinato anche sulla taglia degli autobus.

Tipo di motorizzazione	Costo medio per singolo mezzo
Diesel	246 k€
CNG	280 k€
LNG	300 k€
BEV	500 k€
H2	700 k€

Infine, la valutazione delle emissioni, riassunta in Appendice nella sezione 9.2, si concretizza in una stima delle emissioni climalteranti (GHG, Green House Gas) e inquinanti (particolato e ossidi di azoto) "tank-to-wheel" e "well-to-wheel". Negli scenari definiti dal PREPM si assume che la quota di energia elettrica per sostenere la motorizzazione a batterie e idrogeno, oltre che il gas naturale per le flotte CNG e LNG, siano totalmente verdi (con elettricità prodotta da fonti rinnovabili e gas metano derivante da biomassa).

Va anche precisato che il dato di riferimento del "Fit for 55", ad oggi fissato in un abbattimento delle emissioni al 2030 pari al 55% rispetto al 1990, è stato recentemente oggetto di accordo politico in sede di consiglio e parlamento europeo che lo aggiorna alla riduzione delle emissioni al 2030 del 40%

sul 2005. Intendendo dare un significativo contributo, attraverso il rinnovo “ecologico” della flotta TPL al conseguimento di tali riduzioni che vanno inquadrare su scala complessiva regionale e nazionale, e avendo come riferimento il dato completo e di partenza del 2021, va considerata che a decorrere dal 2005 una certa quota di riduzione delle emissioni è già stata conseguita (rispetto alla diminuzione complessiva richiesta del 40%) per effetto:

- del miglioramento tecnologico dei mezzi diesel nel periodo di riferimento;⁷³
- dell’impegno della Regione FVG, rispetto ad altri contesti italiani, alla configurazione – attraverso l’introduzione di specifici obblighi contrattuali da parte dei gestori di servizi TPL – di flotte autobus sul proprio territorio con vincoli stringenti in termini di vita media della flotta e di singolo mezzo. Come conseguenza vi è stata una sostituzione completa dell’intera flotta tra il 2005 e il 2021 (per il tema di vincolo di autobus circolanti nel FVG di età massima di 15 anni)⁷⁴, con conseguente rinnovo tecnologico dei mezzi;
- della presenza nel 2021 di una componente di mezzi a gas naturale, non presenti nel 2005.

I dati disponibili sui profili dei fattori di emissione diesel negli ultimi 20 anni sono disponibili su base chilometrica e su tutti le motorizzazioni diesel (non solo trasporto pubblico); tuttavia, assumendo una variazione non significativa del servizio TPL nella Regione, in termini di produzioni chilometriche, si può stimare che già al 2021 vi sia stata una riduzione di emissioni di gas climalteranti conservativamente del 5%^{75,76}. Ciò comporta che al fine del rispetto dell’obiettivo 4 è sufficiente raggiungere una decarbonizzazione del TPL regionale maggiore del 35%.

⁷³ Fonte: ICCT, <https://theicct.org/the-ever-improving-efficiency-of-the-diesel-engine/>

⁷⁴ Fonte: Helmers, Eckard; Leitão, Joana; Tietge, Uwe; Butler, Tim (2019). CO2-equivalent emissions from European passenger vehicles in the years 1995–2015 based on real-world use: Assessing the climate benefit of the European “diesel boom”. Atmospheric Environment, 198 (2019), 122–132. doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.10.039

⁷⁵ Estrapolato da riduzione emissione trasporti tra 2005 al 2014 dal sito della commissione Europea, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions_en

⁷⁶Fonte: Transport environment, p. 39 https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/07/2019_01_EUKI_IT_report_FINAL_0.pdf

7.2 Scenario 1

Lo Scenario 1 del PREPM prevede la sostituzione di 616 bus entro il 2030 (Tabella 13) al fine di rispettare gli obiettivi di età massima di ogni mezzo (15 anni) ed età media del parco pari o inferiore a 7,5 anni, rispettando i criteri definiti nel capitolo precedente, traguardando un rinnovo del parco autobus di tipo evolutivo con l'obiettivo di una sostituzione di almeno il 50% della flotta ad alimentazione con gasolio (obiettivo 1) con mezzi ad alimentazione alternativa.

A tal fine il programma operativo di rinnovo amplia la sostituzione delle motorizzazioni diesel con mezzi a basse emissioni, passando da un programma di sostituzione che prevede il solo soddisfacimento degli obblighi contrattuali in merito ad anzianità del parco ad un livello evoluto che, in attuazione degli obiettivi fissati dalla Regione, introduce 495 nuovi mezzi ad alimentazione alternativa (173 CNG, 123 LNG, 174 BEV e 25 H2) determinando un passaggio deciso nella direzione della transizione energetica e sostenibilità ambientale. L'introduzione di nuovi autobus diesel, pur con motorizzazioni di classe ambientale più recente al momento della fornitura, nel medesimo periodo 2021-2030, costituisce parte residuale con 121 mezzi corrispondenti al solo 20% del rinnovo complessivo, con un parco autobus, al 2030, i cui mezzi CNG e LNG, diventano rispettivamente 205 e 123, e con una significativa presenza di mezzi per la mobilità urbana sostenibile ad emissione zero (batteria, 174, e idrogeno, 25).

Tabella 13. Numero mezzi del parco totale TPL FVG negli anni del programma evolutivo (2021 – 2030) PREPM-TPL nel contesto dello Scenario 1.⁷⁷

TPL FVG - Totale flotta	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<i>Gasolio</i>	888	854	801	764	710	637	585	536	491	440
<i>CNG</i>	64	80	96	111	130	146	169	177	186	205
<i>LNG</i>		18	37	49	60	83	85	97	111	123
<i>BEV</i>	2	5	26	39	65	93	119	138	158	174
<i>H2</i>				5	8	8	9	19	21	25
Totale	954	957	960	968	973	967	967	967	967	967

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<i>Gasolio</i>	24	27	9	5	8	9	4	9	13	13
<i>CNG</i>	11	17	16	15	19	21	23	13	14	24
<i>LNG</i>		18	19	12	11	23	2	12	14	12
<i>BEV</i>		3	23	13	26	28	26	19	20	16
<i>H2</i>				5	3		1	10	2	4
Totale	616	35	65	67	50	67	81	56	63	69

Le Figura 25 e Figura 26 Figura 27 rappresentano in termini percentuali la composizione della flotta autobus per tipologia di alimentazione rispettivamente all'anno 2021 e, attraverso l'attuazione dello Scenario 1 del PREPM, al 2030. La Figura 26, intermedia tra queste, evidenzia la composizione

⁷⁷ Nel periodo 2021 – 2030 sono presenti 8 mezzi ibridi (gasolio/elettrici, 3 per trasporto urbano e 3 per extraurbano per ATAP e 2 gasolio/LNG extraurbani sempre per ATAP) che nelle sommatorie riportate, ai fini del PREPM, sono inseriti come mezzi gasolio.

percentuale della diversificazione della tipologia di alimentazione dei nuovi mezzi introdotti nel periodo 2021-2030.

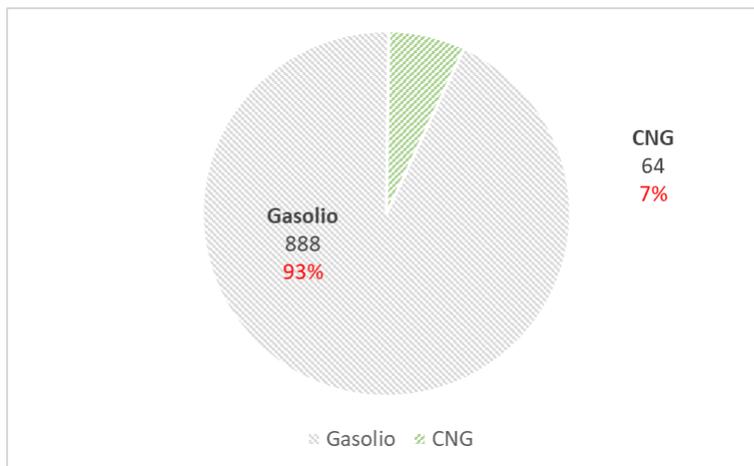


Figura 25. Composizione flotta autobus per tipologia di alimentazione (anno 2021).

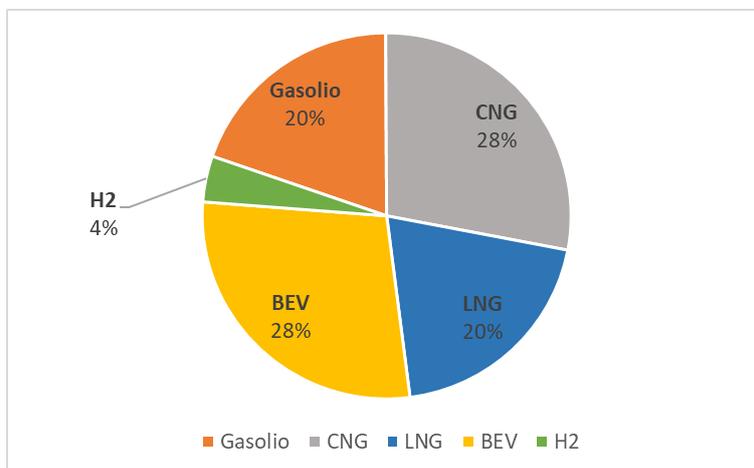


Figura 26. Introduzione nuovi autobus 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

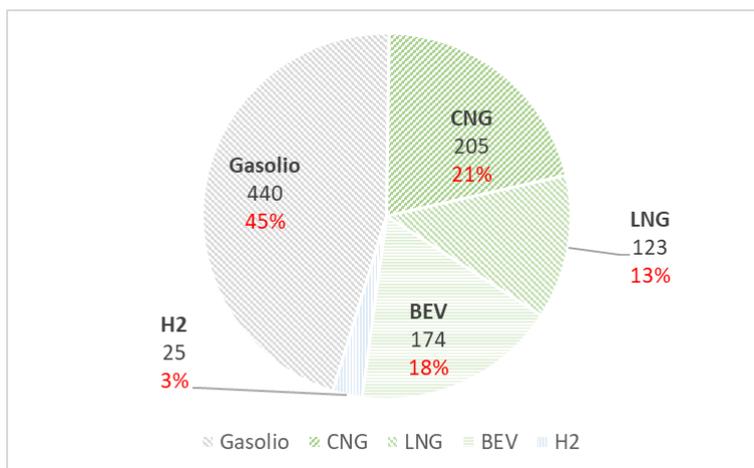


Figura 27. Composizione flotta autobus per tipologia di alimentazione (anno 2030).

La seguente Figura 28 illustra nel dettaglio l'andamento annuale della composizione della flotta complessiva (urbana ed extraurbana) circolante nel territorio regionale a fronte dell'attuazione di quanto previsto dallo Scenario 1 del PREPM.

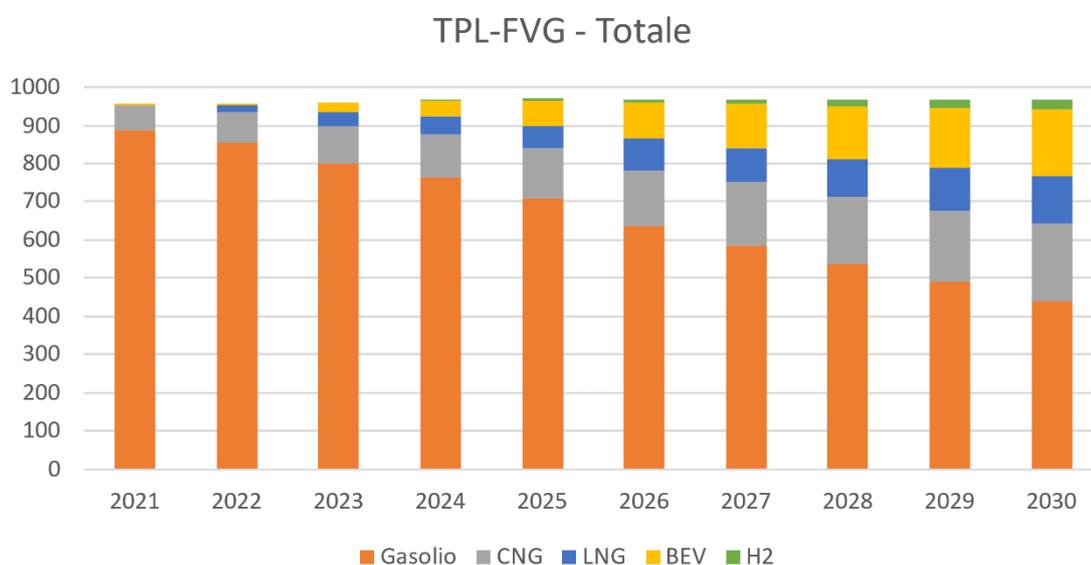


Figura 28. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto territoriale dell'intero FVG, aggregato sull'intero servizio (urbano ed extraurbano) nel contesto dello Scenario 1.

I dati di sintesi sopra riportati, relativi allo Scenario 1 e alla sua evoluzione nel periodo 2021-2030, nonché alla composizione della flotta dei nuovi mezzi introdotti e complessiva al 2021 e al 2030, vengono di seguito analogamente rappresentati secondo l'articolazione per ambito extraurbano (Tabella 14 e Figura 29, Figura 30, Figura 31, Figura 32) ed ambito urbano (Tabella 15 e Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36).

Tabella 14. Numero mezzi del parco extraurbano TPL FVG negli anni del programma evolutivo (2021 – 2030) nel contesto dello Scenario 1.⁷⁸

TPL FVG - EXTRAURBANO	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	530	512	485	462	432	393	368	344	321	290
CNG	10	26	34	45	64	80	103	115	124	143
LNG		2	21	33	44	67	69	81	95	107
BEV										
H2										
Totale	540									

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	16	4	8	5	8	9	4	9	13	13
CNG	4	16	8	11	19	16	23	12	9	19
LNG		2	19	12	11	23	2	12	14	12

⁷⁸ Nel periodo 2021 – 2030 sono presenti 8 mezzi ibridi (gasolio/elettrici, 3 per trasporto urbano e 3 per extraurbano per ATAP e 2 gasolio/LNG extraurbani sempre per ATAP) che nelle sommatorie riportate, ai fini del PREPM, sono inseriti come mezzi gasolio.

BEV											
H2											
Totale	333	20	22	35	28	38	48	29	33	36	44

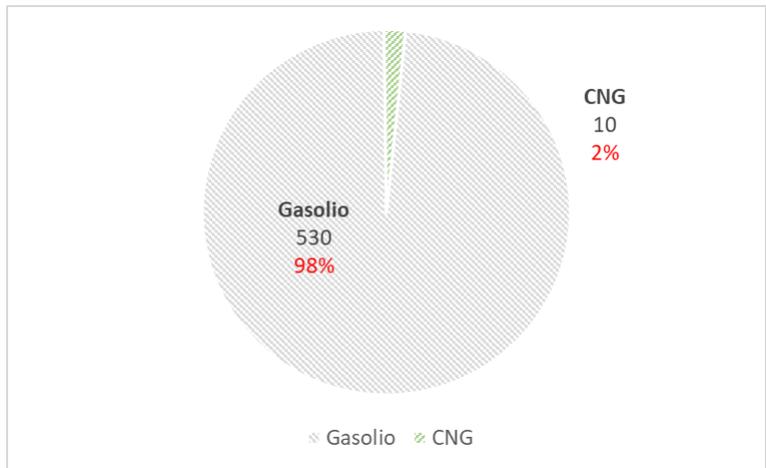


Figura 29. Composizione flotta autobus EXTRAURBANI per tipologia di alimentazione - anno 2021

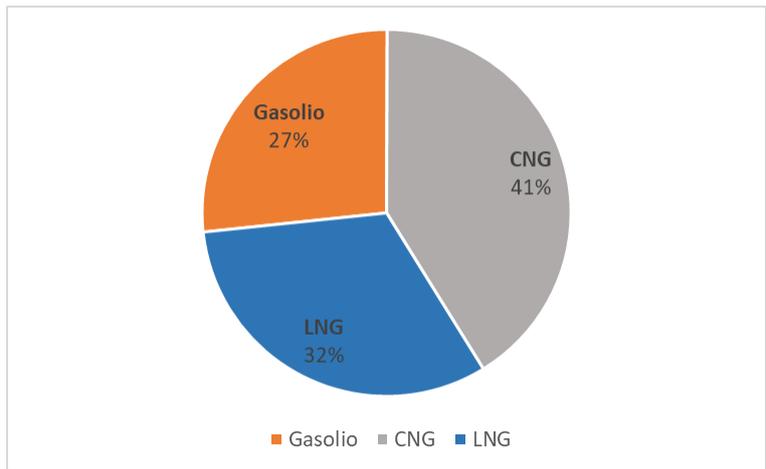


Figura 30. Introduzione nuovi autobus EXTRAURBANI 2021-2030 per tipologia di alimentazione

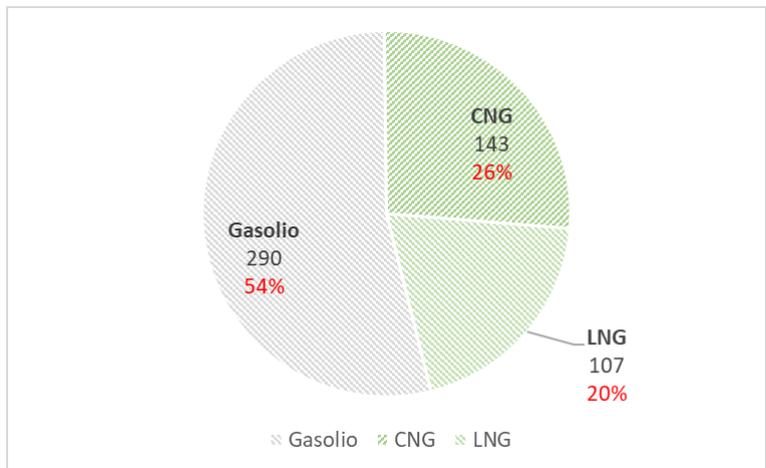


Figura 31. Composizione flotta autobus EXTRAURBANI per tipologia di alimentazione - anno 2030

TPL-FVG - Extraurbano

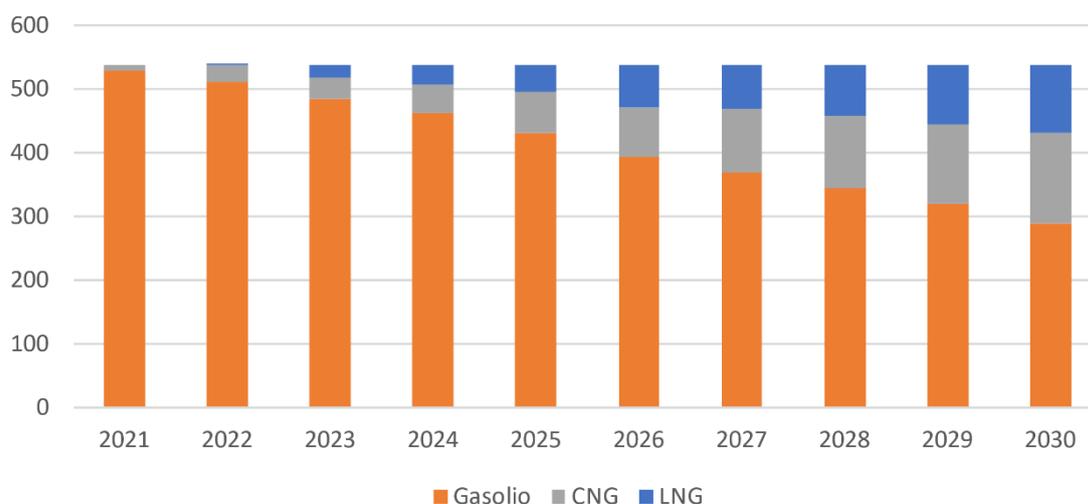


Figura 32. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto territoriale dell'intero FVG disaggregato sul servizio extraurbano nel contesto dello Scenario 1.

Tabella 15. Numero mezzi del parco urbano TPL FVG negli anni del programma evolutivo (2021 – 2030) nel contesto dello Scenario 1.⁷⁹

TPL FVG - URBANO	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	358	342	316	302	278	244	217	192	170	150
CNG	54	54	62	66	66	66	66	62	62	62
LNG	0	16	16	16	16	16	16	16	16	16
BEV	2	5	26	39	65	93	119	138	158	174
H2	0	0	0	5	8	8	9	19	21	25
Totale	414	417	420	428	433	427	427	427	427	427

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	8	23	1							
CNG	7	1	8	4		5		1	5	5
LNG		16								
BEV		3	23	13	26	28	26	19	20	16
H2				5	3		1	10	2	4
Totale	283	43	32	22	29	33	27	30	27	25

⁷⁹ Nel periodo 2021 – 2030 sono presenti 8 mezzi ibridi (gasolio/elettrici, 3 per trasporto urbano e 3 per extraurbano per ATAP e 2 gasolio/LNG extraurbani sempre per ATAP) che nelle sommatorie riportate, ai fini del PREPM, sono inseriti come mezzi gasolio.

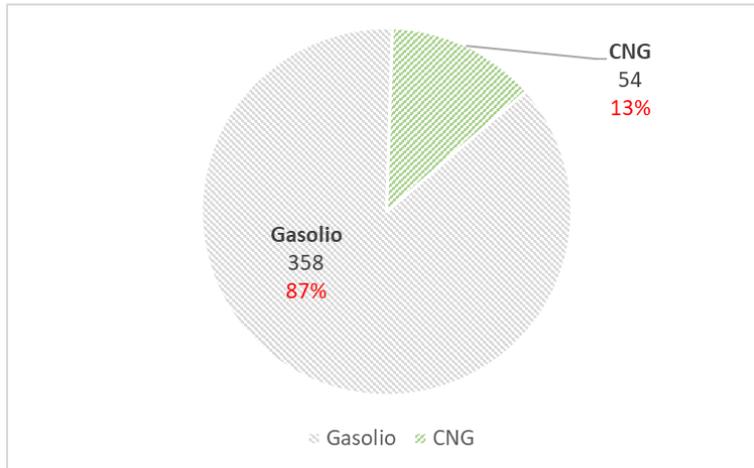


Figura 33. Composizione flotta autobus URBANI per tipologia di alimentazione - anno 2021.

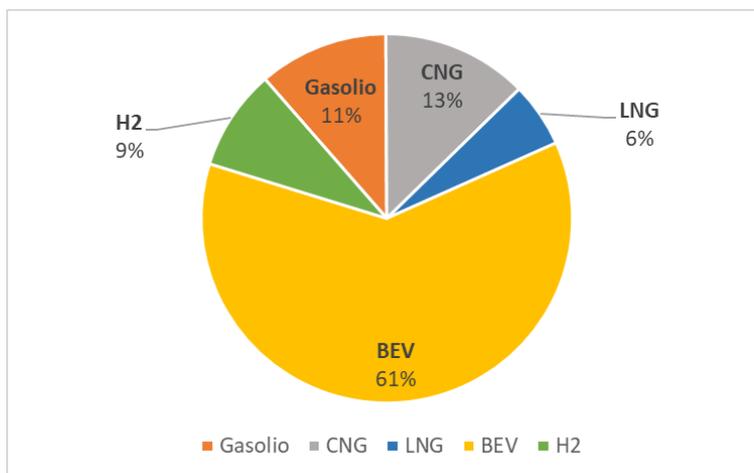


Figura 34. Introduzione nuovi autobus URBANI 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

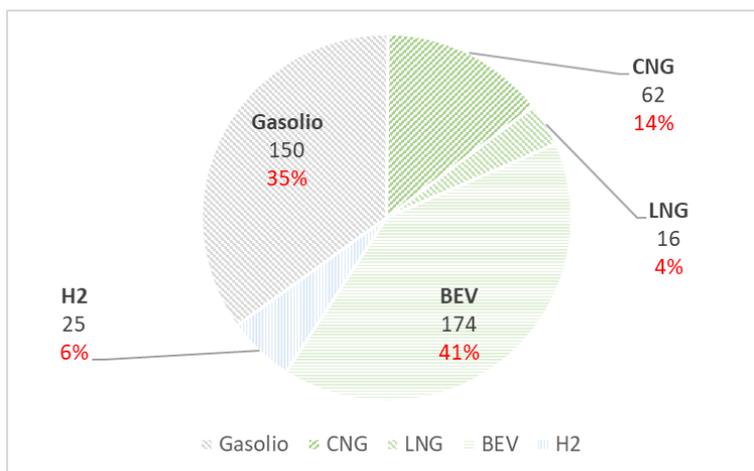


Figura 35. Composizione flotta autobus URBANI per tipologia di alimentazione - anno 2030.

TPL-FVG - Urbano

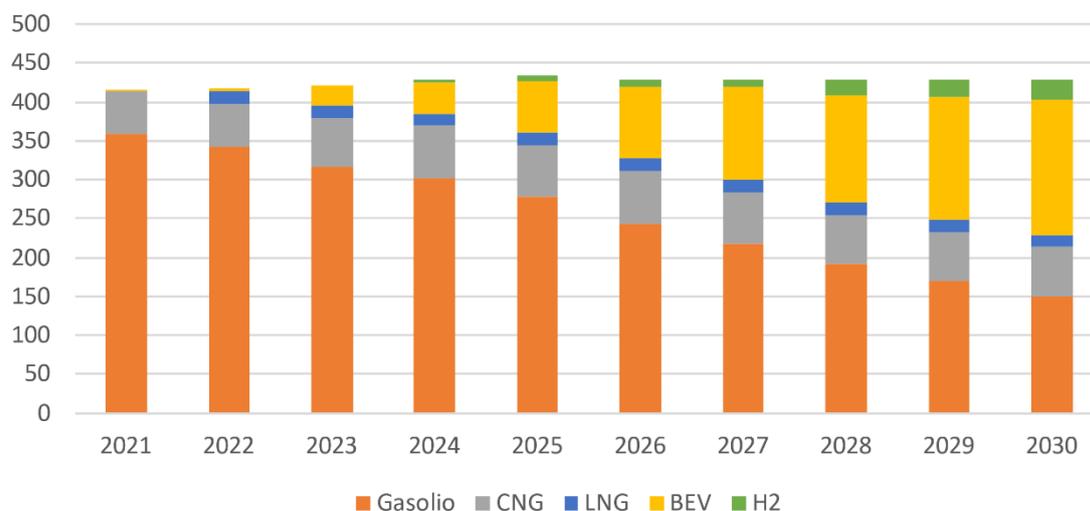


Figura 36. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto territoriale dell'intero FVG disaggregato sul servizio urbano nel contesto dello Scenario 1.

La Figura 28 mostra nel dettaglio l'andamento della flotta urbana ed extraurbana circolante nel Friuli Venezia Giulia con la programmazione PREPM 2021 – 2030 (Scenario 1). In Figura 32 e in Figura 36 vengono invece riportate le distribuzioni della flotta per tipologia di alimentazione suddivise rispettivamente per il servizio extraurbano e per quello urbano.

Come si evince dalla Tabella 16, lo Scenario 1 determina un programma sostitutivo del parco autobus regionale, nel rispetto dell'obiettivo 1 (Legge regionale del 29 dicembre 2021, n. 23). I mezzi a gasolio, infatti, al 2030 sono ridotti del 50%, in termini numerici, rispetto alla composizione della flotta diesel al 31/12/2021.

Tabella 16. Riassunto sostituzione mezzi diesel nel periodo 2021 – 2030 (obiettivo 1) per lo Scenario 1.

Anno		Mezzi totali		Mezzi a gasolio		Riduzione mezzi a gasolio
		2021	2030	2021	2030	
Consorzio Arriva Udine	Urbano	80	85	26	8	-69%
	Extraurbano	318	318	308	175	-43%
	Totale	398	403	334	183	-45%
Consorzio APT	Urbano	36	43	34	11	-68%
	Extraurbano	86	86	86	44	-49%
	Totale	122	129	120	55	-54%
Consorzio ATAP	Urbano	28	28	28	6	-79%
	Extraurbano	136	136	136	71	-48%
	Totale	164	164	164	77	-53%
Urbano		270	271	270	125	-54%

<i>ConSORZIATA Trieste Trasporti</i>	Extraurbano	-	-	-	-	-
	Totale	270	271	270	125	-54%
Società TPL FVG Scarl	Urbano	414	427	358	150	-58%
	Extraurbano	540	540	530	290	-45%
	Totale	954	967	888	440	-50%

È possibile riscontrare dalla Tabella 17 che l'obiettivo 1 viene raggiunto sul totale della flotta circolante nel FVG, con differenze però sui singoli contesti territoriali di sviluppo dei servizi. Il trasporto extraurbano, in particolare, pone in evidenza la possibilità di una strategia più ambiziosa, dato che - andando a considerare la componente della motorizzazione diesel ripartita sui singoli contesti di servizio - la flotta riferita a ciascuna consorziata non raggiunge l'obiettivo di riduzione dei mezzi a gasolio operanti negli ambiti extraurbani. Con riferimento ai servizi urbani, al contrario, viene raggiunto, per tutte le consorziate, l'obiettivo di sostituzione al 50% dei mezzi diesel di cui dall'obiettivo 1, sostanzialmente in ragione di una maggiore disponibilità e possibile diversificazione delle tecnologie applicabili in tali ambiti caratterizzati da servizi a chilometraggi più contenuti che permettono l'implementazione di tecnologie (attualmente) anche a inferiore autonomia (e.g. a batteria).

Tabella 17. Distribuzione acquisti autobus nei periodi 2021 – 2025 e 2026 – 2030, come richiesto dall'obiettivo 2 (Clean Vehicles Directive), vincolante solo per il servizio urbano.

TPL FVG Scarl	2021-2025			2026-2030		
	Mezzi acquistati	% alternativi (min 45%)	di cui % alternativi e zero emissioni (min 50%)	Mezzi acquistati	% alternativi (min 65%)	di cui % alternativi e zero emissioni (min 50%)
Urbano	141	77%	67%	142	100%	89%
Extraurbano	143	71%	0%	190	75%	0%
Totale	284	74%	35%	332	86%	44%

Anche l'obiettivo 2, legato al vincolo rispetto le forniture dei mezzi nel contesto urbano di precise percentuali di alimentazioni alternative e a zero emissioni (Clean Vehicles Directive), è conseguito con lo Scenario 1 (Tabella 17). Qualora si consideri l'applicazione del vincolo anche nel contesto extraurbano, si rileva ancora una volta che il servizio extraurbano può potenzialmente prefigurare, in ottica futura, una strategia di rinnovo mezzi più ambiziosa, con l'introduzione di mezzi a zero emissioni (batteria o celle a combustibile/idrogeno) una volta che tali tecnologie risulteranno disponibili e consolidate sul mercato e previa valutazione di specifici contesti e linee di servizio sui cui attivarle.

Lo Scenario 1 determina un contributo importante in termini di sostituzione dei mezzi diesel della flotta e abbattimento delle emissioni climalteranti, raggiungendo nel 2030 una riduzione delle emissioni "tank-to-wheel" pari al 55% rispetto al 2021, sicuramente superiore al 40% (rispetto al 2005) richiesto dall'obiettivo 4⁸⁰, assumendo che i nuovi mezzi ad emissione zero introdotti vengano alimentati da fonti rinnovabili (batteria e idrogeno) oppure con biometano. Lo Scenario 1 permette quindi il raggiungimento dell'obiettivo 4. Questa conclusione è rafforzata dal fatto che la flotta è stata

⁸⁰ Fonte: <https://www.consilium.europa.eu/it/press/press-releases/2022/11/08/fit-for-55-eu-strengthens-emission-reduction-targets-for-member-states/>

completamente sostituita nell'arco temporale di cui al precedente affidamento (2001 – 2020) e ne viene previsto, nell'ambito dell'affidamento attuale, il continuo rinnovo negli anni, con mezzi diesel di ultima tecnologia dal punto di vista della classe ambientale della motorizzazione, e quindi con minori emissioni. In tal senso la composizione della flotta al 2005 (riferimento per la normativa) può essere considerata con certezza più inquinante della flotta al 2021 presa come riferimento nei calcoli (si veda a questo riguardo anche quanto riportato a conclusione del paragrafo 7.1).

In Figura 37 e Figura 38 vengono riportate le emissioni “tank- to-wheel” e “well- to-wheel”, mentre in Figura 39 e Figura 40 le emissioni di inquinanti (PM e NOx, rispettivamente), per ogni anno dal 2021 al 2030, nell'ipotesi di un completo approvvigionamento da fonti energetiche primarie rinnovabili per quanto riguarda i mezzi ad alimentazione alternativa.

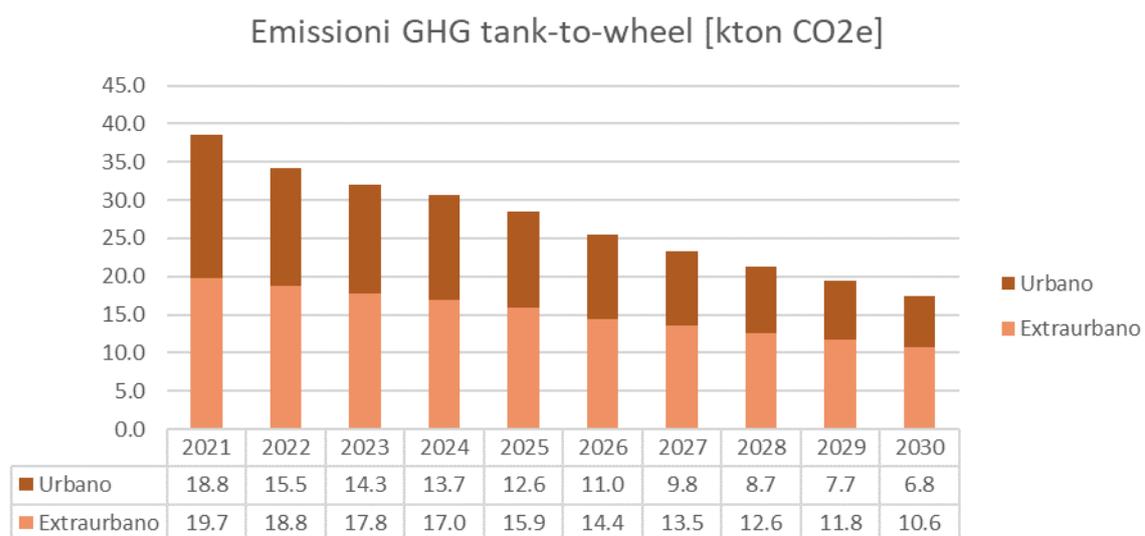


Figura 37. Emissioni GHG (in tonnellate di CO₂ equivalente) “tank- to-wheel” determinate per la flotta evolutiva prevista nello Scenario 1 per l'intero FVG dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

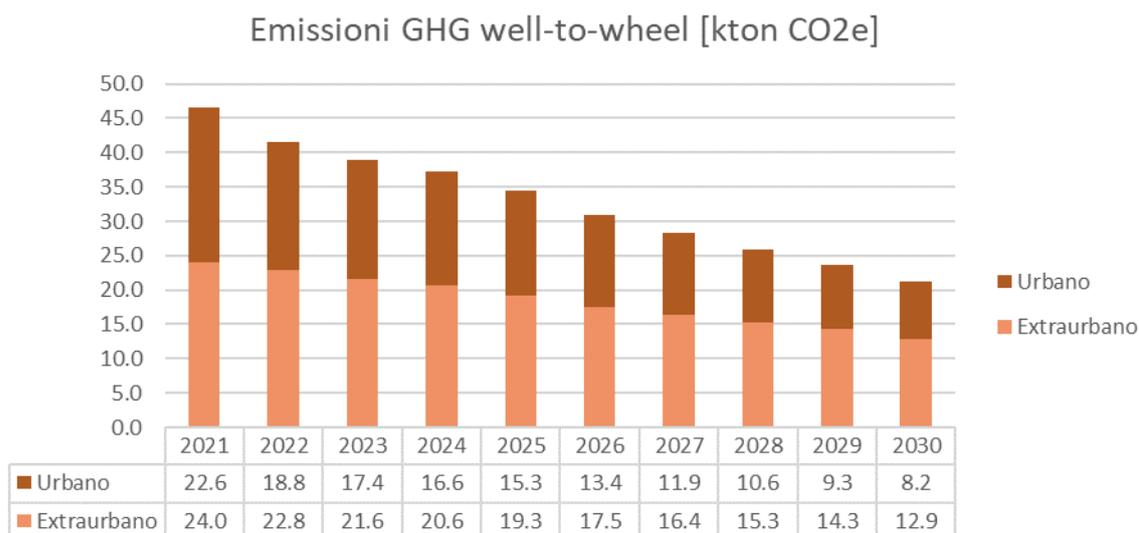


Figura 38. Emissioni GHG (in tonnellate di CO₂ equivalente) “well- to-wheel” determinate per la flotta evolutiva prevista nello Scenario 1 per l'intero FVG dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

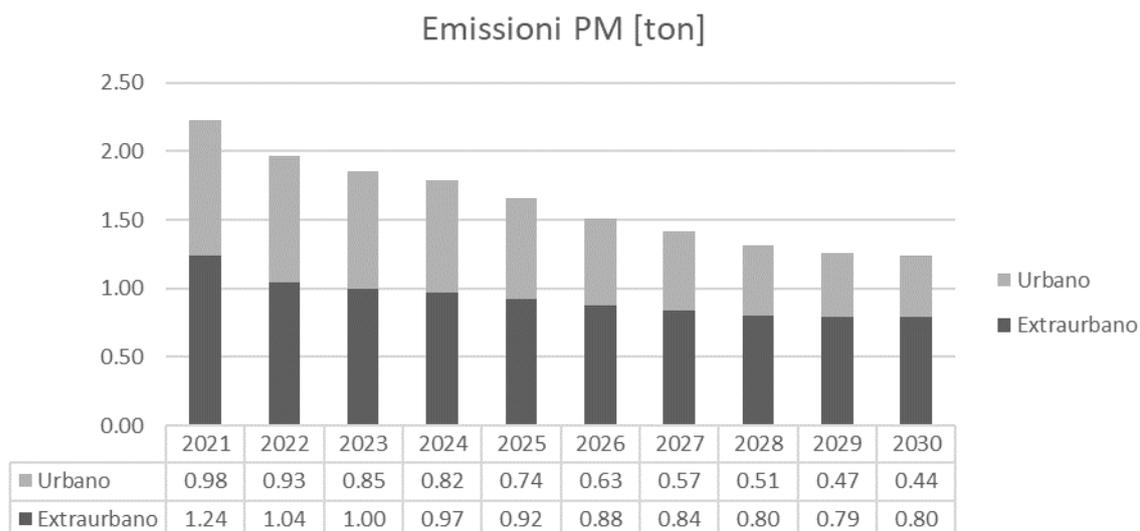


Figura 39. Emissioni di particolato determinate per la flotta evolutiva prevista nel PREPM nello Scenario 1 per l'intero FVG 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

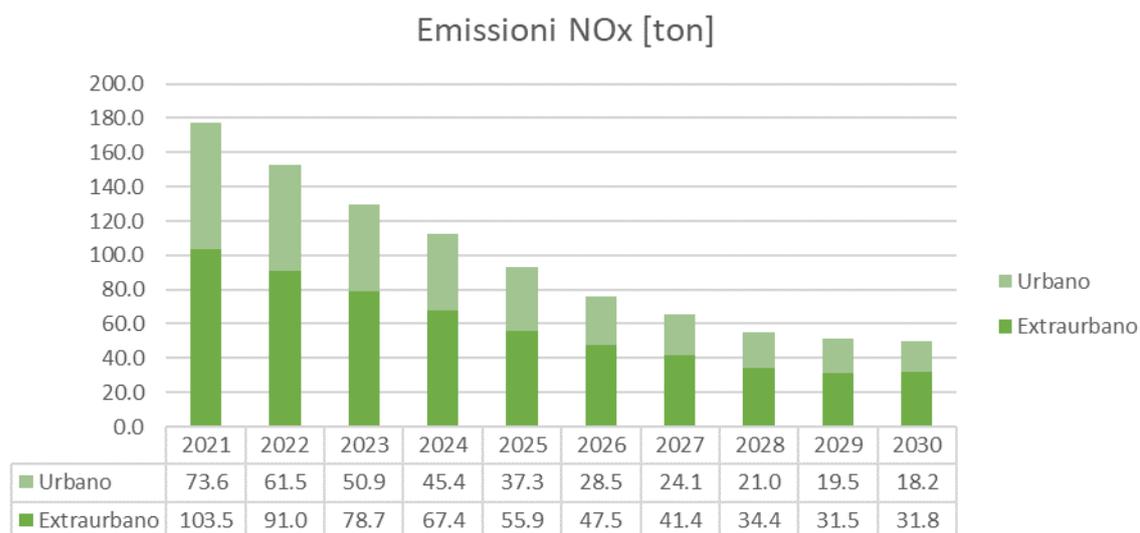


Figura 40. Emissioni di NOx determinate per la flotta evolutiva prevista nel PREPM nello Scenario 1 per l'intero FVG 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

Le analisi sulle emissioni GHG della flotta evolutiva PREPM fin qui riportate, considerano i combustibili alternativi (metano, idrogeno ed energia elettrica) come ricavati da fonti di energia completamente rinnovabili. Tuttavia, tale obiettivo potrebbe non essere perseguibile in breve tempo. Al fine di dare adeguata sensibilità al tema, si è prevista una valutazione di sensitività sullo Scenario 1, modificando la quota di risorsa rinnovabile usata per la mobilità non diesel, in termini aggregati. In Figura 41 (riduzioni al 2030, rispetto al 2021, conseguibili dall'attuazione del PREPM con diverse quote di energia da fonti rinnovabili) e Figura 42 (divario positivo tra emissioni GHG prodotte al 2030 e valore obiettivo di riduzione del 40% rispetto i valori del 2005, con diverse quote di energia da fonti rinnovabili) si rileva come a quote di rinnovabili usate minori del 50% non corrisponda il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

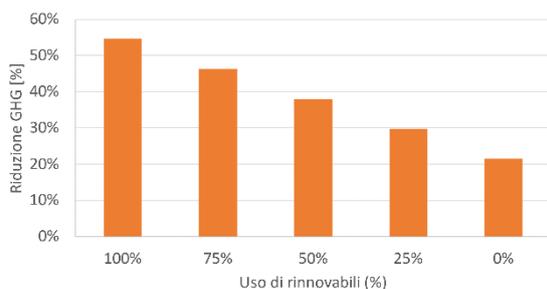


Figura 41. Riduzione delle emissioni al 2030 secondo la flotta evolutiva prevista dallo Scenario 1.

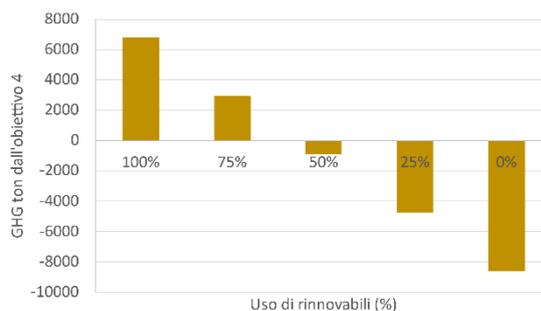


Figura 42. Divario nelle emissioni di climalteranti rispetto all'obiettivo del 40% al 2030 rispetto al 2021. I valori positivi indicano che lo scenario raggiunge e supera l'obiettivo 4.

Le opzioni, al fine di massimizzare il contributo del rinnovo del comparto autobus TPL rispetto all'obiettivo di decarbonizzazione, nell'ipotesi di una ripartizione lineare delle riduzioni da garantire da parte di ciascun settore generante GHG, con lo Scenario 1 sono:

- garantire al 2030, l'uso di risorse rinnovabili per la produzione dei combustibili alternativi usati nella flotta (H₂, biometano, elettricità) per più del 50%;
- nel caso in cui non sia possibile garantire una quota rinnovabile superiore al 50%, il PREPM nei suoi successivi aggiornamenti dovrà prevedere un'azione più incisiva rispetto alla riduzione dei mezzi diesel, modificando finemente l'inserimento delle motorizzazioni alternative.

A titolo esemplificativo, nel caso di un uso di energia non derivante da fonti rinnovabili, è richiesta la sostituzione addizionale di più di 150 bus diesel al 2030 (assumendo un'emissione media annuale di 50 t di GHG per bus, caratteristica della flotta FVG-TPL Scarl), da raffinare ulteriormente dato che anche l'introduzione di addizionali mezzi H₂, batteria e metano, va attentamente pesata sulla base delle emissioni well-to-wheel.

Di seguito viene rappresentata la panoramica della flotta anche per le singole consorziate, come riportato nei prossimi capitoli.

7.2.1 Contesto territoriale dell'ex provincia di Udine

La consorziata Arriva Udine, su una flotta di 398 autobus (403 al 2030, per le necessità di servizio), vede nel periodo 2021 – 2030 l'introduzione di un totale di 260 mezzi, a forte prevalenza di motorizzazioni a CNG, con un parco composto anche da mezzi elettrici (a batteria). In Tabella 18 si riporta il profilo evolutivo motorizzazioni per la consorziata Arriva Udine nello Scenario 1.

Tabella 18. Profilo evolutivo motorizzazioni per la consorziata Arriva Udine nello Scenario 1.

ARRIVA UD - Totale flotta	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<i>Gasolio</i>	334	318	302	287	268	252	224	211	202	183
<i>CNG</i>	64	80	96	111	130	146	169	177	186	205
<i>LNG</i>										
<i>BEV</i>		3	5	5	5	5	10	15	15	15
<i>H2</i>										
Totale	398	401	403							

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<i>Gasolio</i>	11		7	5	8	6	4	9	13	9
<i>CNG</i>	11	17	16	15	19	21	23	13	14	24
<i>LNG</i>										
<i>BEV</i>		3	2				5	5		
<i>H2</i>										
Totale	22	20	25	20	27	27	32	27	27	33

La composizione della flotta TPL nel contesto territoriale della ex provincia di Udine per tipologia di alimentazione al 2021 e al 2030, nonché la diversificazione per tipologia di alimentazione dei nuovi mezzi introdotti con lo Scenario 1 di PREPM sono riportati in Figura 43, Figura 44 e Figura 45, mentre la distribuzione complessiva delle varie motorizzazioni della flotta negli anni è riportata in Figura 46.

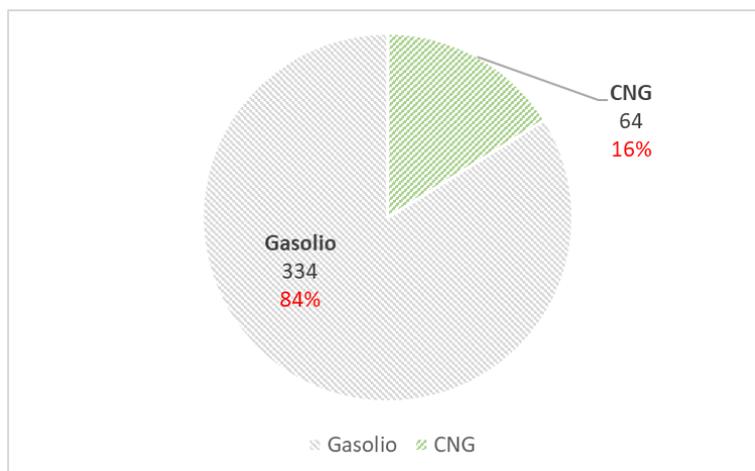


Figura 43. Consorzio Arriva Udine - Composizione flotta autobus per tipologia di alimentazione - anno 2021.

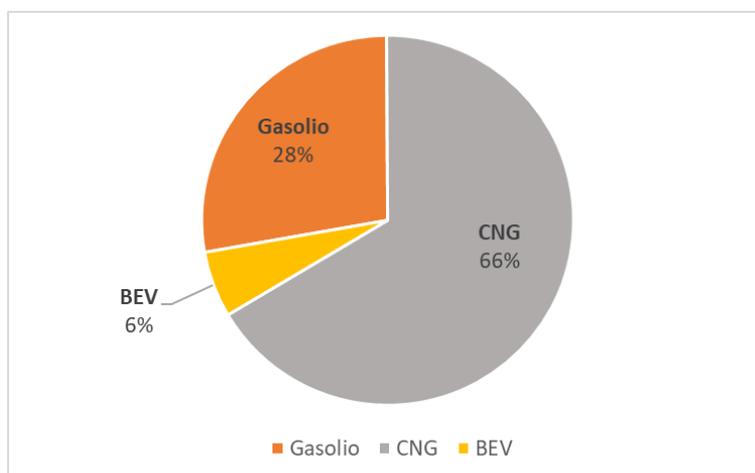


Figura 44. Consorzio Arriva Udine - Introduzione nuovi autobus 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

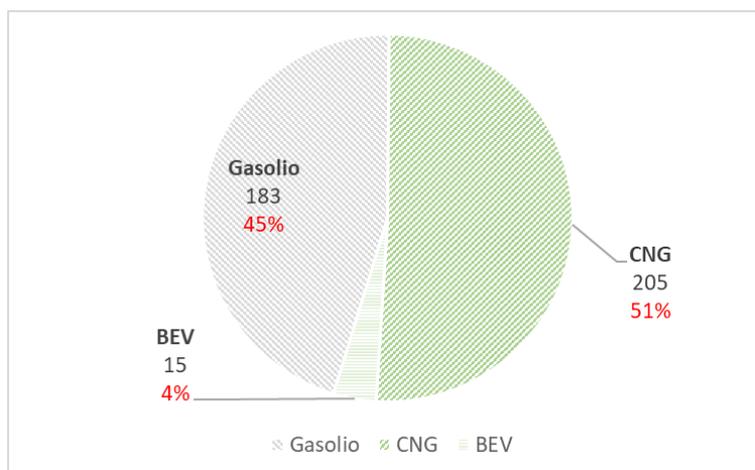


Figura 45. Consorzio Arriva Udine - Composizione flotta autobus per tipologia di alimentazione- anno 2030.

Arriva Udine - Totale

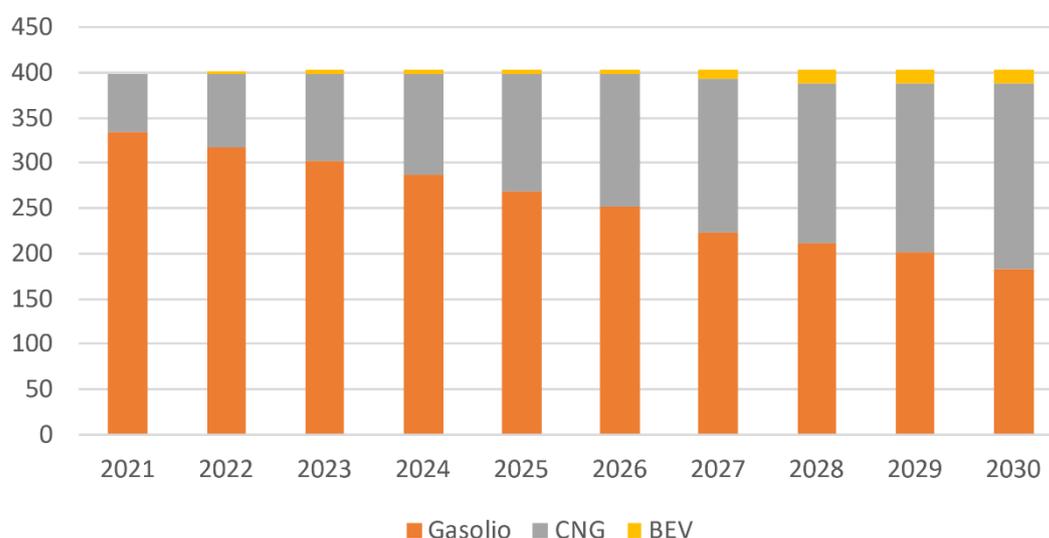


Figura 46. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto del territorio di Udine aggregato sull'intero servizio (urbano ed extraurbano) nello Scenario 1.

Le tabelle e figure sopra riportate per il complesso della flotta degli autobus che svolgono servizi di TPL sul contesto territoriale dell'ex provincia di Udine, vengono di seguito articolate con riferimento ai contesti extraurbano e urbano di esercizio.

In particolare la Tabella 19 riporta il numero di mezzi circolanti e introdotti dal 2021 al 2030, evidenziando l'evoluzione del parco autobus nei diversi anni, mentre le Figura 47, Figura 48, Figura 49, Figura 50 riportano la composizione percentuale delle diverse tipologie di bus introdotti nel periodo 2021-2030 e la composizione della flotta extraurbana nel 2021 e, con l'attuazione dello Scenario 1, al 2030, nonché il dettaglio dell'evoluzione anno per anno.

Tabella 19. Profilo evolutivo motorizzazioni per la consorziata Arriva Udine in ambito extraurbano nello Scenario 1.

ARRIVA UD flotta EXTRAURBANA	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	308	292	284	273	254	238	215	203	194	175
CNG	9	25	33	44	63	79	102	114	123	142
LNG										
BEV										
H2										
Totale	317									

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	9		7	5	8	6	4	9	13	9
CNG	4	16	8	11	19	16	23	12	9	19
LNG										
BEV										
H2										
Totale 207	13	16	15	16	27	22	27	21	22	28

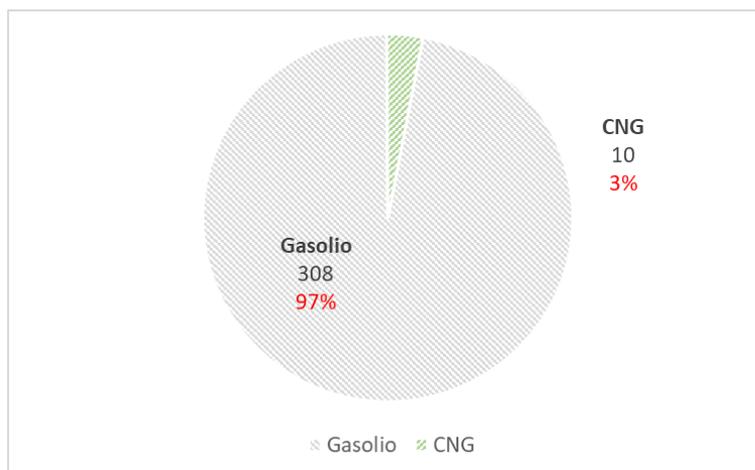


Figura 47. Consorziata Arriva Udine - Composizione flotta autobus EXTRAURBANI per tipologia di alimentazione - anno 2021.

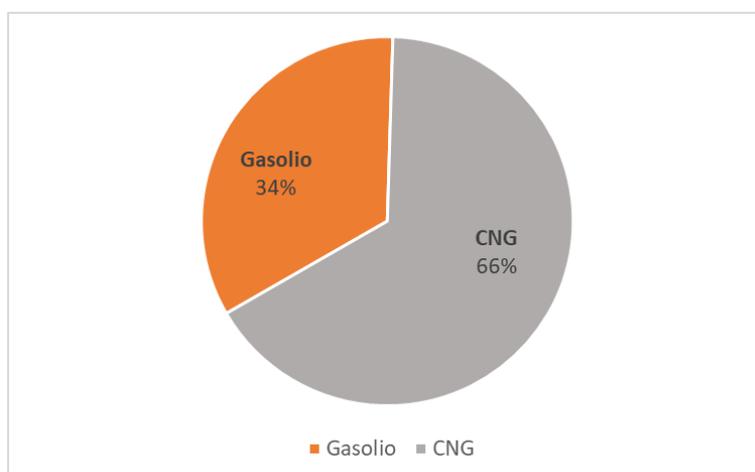


Figura 48. Consorziata Arriva Udine - Introduzione nuovi autobus EXTRAURBANI 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

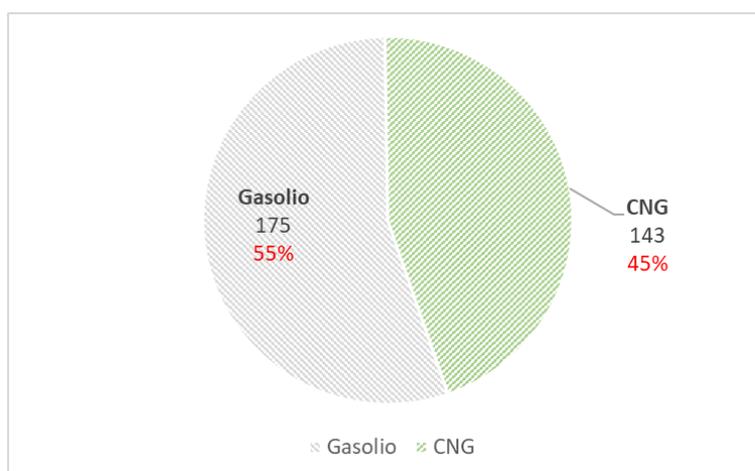


Figura 49. Consorziata Arriva Udine - Composizione flotta autobus EXTRAURBANI per tipologia di alimentazione- anno 2030.

Arriva Udine - Extraurbano

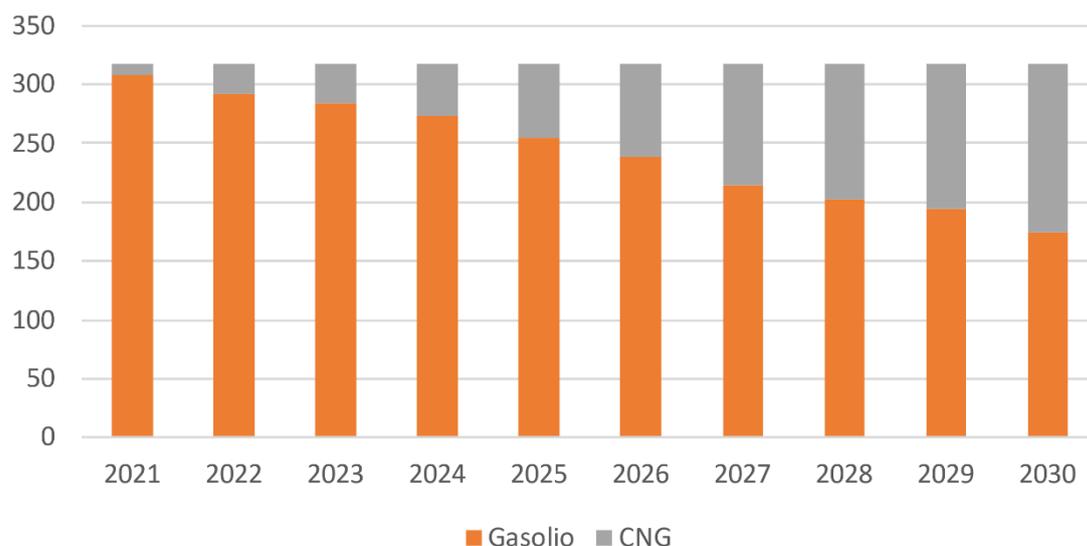


Figura 50. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto del territorio di Udine disaggregato sul servizio extraurbano nello Scenario 1.

Si riportano di seguito le analoghe rappresentazioni riferite all'ambito dei servizi urbani nel contesto territoriale dell'ex provincia di Udine (Tabella 20 e Figura 51, Figura 52, Figura 53, Figura 54)

Tabella 20. Profilo evolutivo motorizzazioni per la consorziata Arriva Udine nello Scenario 1 nel contesto urbano.

ARRIVA UD Flotta URBANA	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	26	26	18	14	14	14	9	8	8	8
CNG	55	55	63	67	67	67	67	63	63	63
LNG										
BEV		3	5	5	5	5	10	15	15	15
H2										
Totale	81	84	86							

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	2									
CNG	7	1	8	4		5		1	5	5
LNG										
BEV		3	2				5	5		
H2										
Totale	53	9	4	10	4	5	5	6	5	5

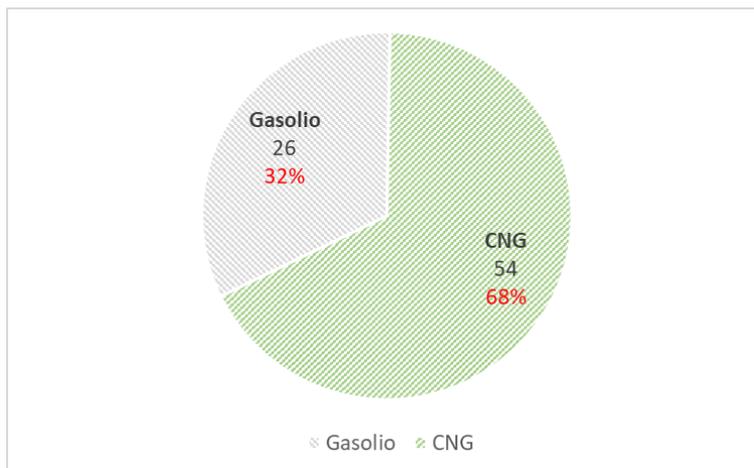


Figura 51. Consorziata Arriva Udine - Composizione flotta autobus URBANI per tipologia di alimentazione - anno 2021.

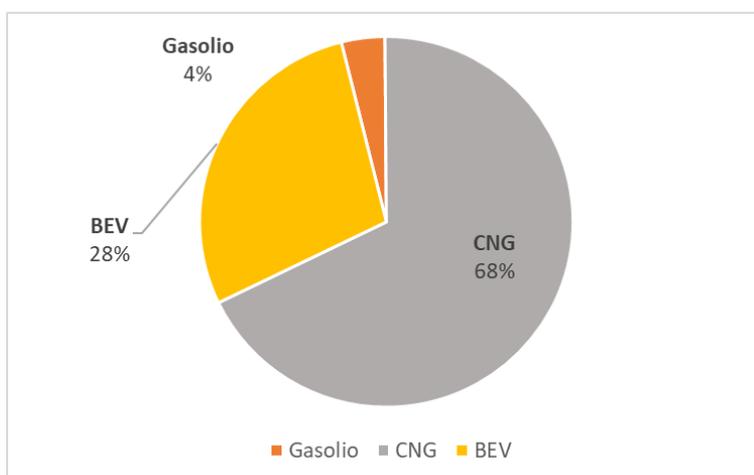


Figura 52. Consorziata Arriva Udine - Introduzione nuovi autobus URBANI 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

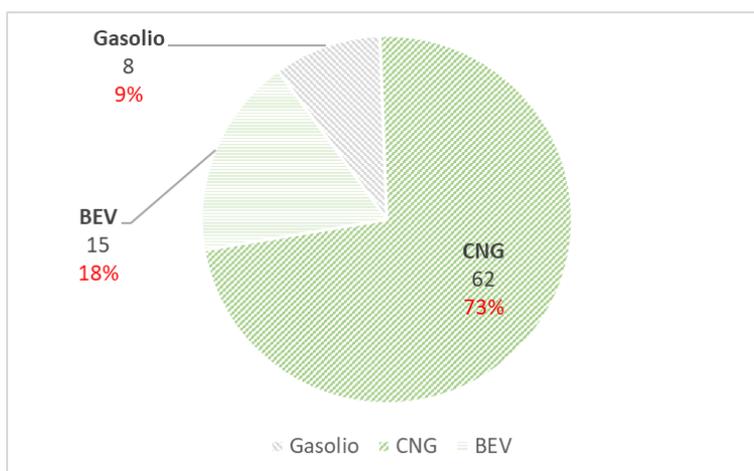


Figura 53. Consorziata Arriva Udine - Composizione flotta autobus URBANI per tipologia di alimentazione- anno 2030.

Arriva Udine - Urbano

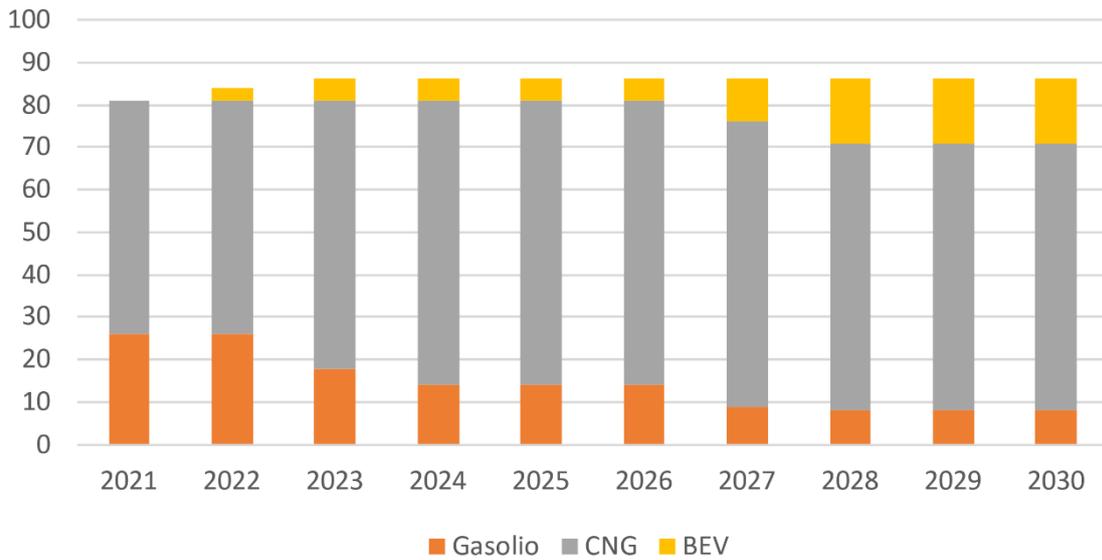


Figura 54. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto del territorio di Udine disaggregato sul servizio urbano nello Scenario 1.

Di seguito vengono riportati i profili di emissioni annuali per la flotta mezzi TPL di Arriva Udine. La Figura 55 mostra come la riduzione di emissioni climalteranti è praticamente azzerata nel contesto urbano mentre rimane un notevole residuo di emissioni in ambito extraurbano ove vi è uso di motorizzazioni diesel.

Emissioni GHG tank-to-wheel [kton CO₂e]

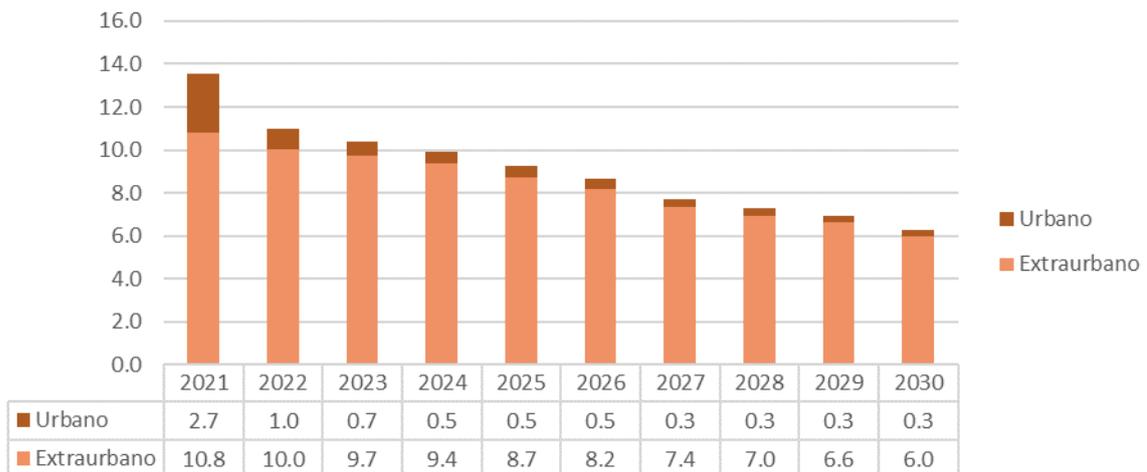


Figura 55. Emissioni GHG (in tonnellate di CO₂ equivalente) "tank-to-wheel" determinate per la flotta evolutiva prevista nello Scenario 1 per Arriva Udine dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

Anche le emissioni di particolato (Figura 56) e NOx (Figura 57) seguendo un andamento simile, scontando l'introduzione di mezzi a metano che non riducono efficacemente le emissioni inquinanti come i mezzi a batteria o idrogeno.

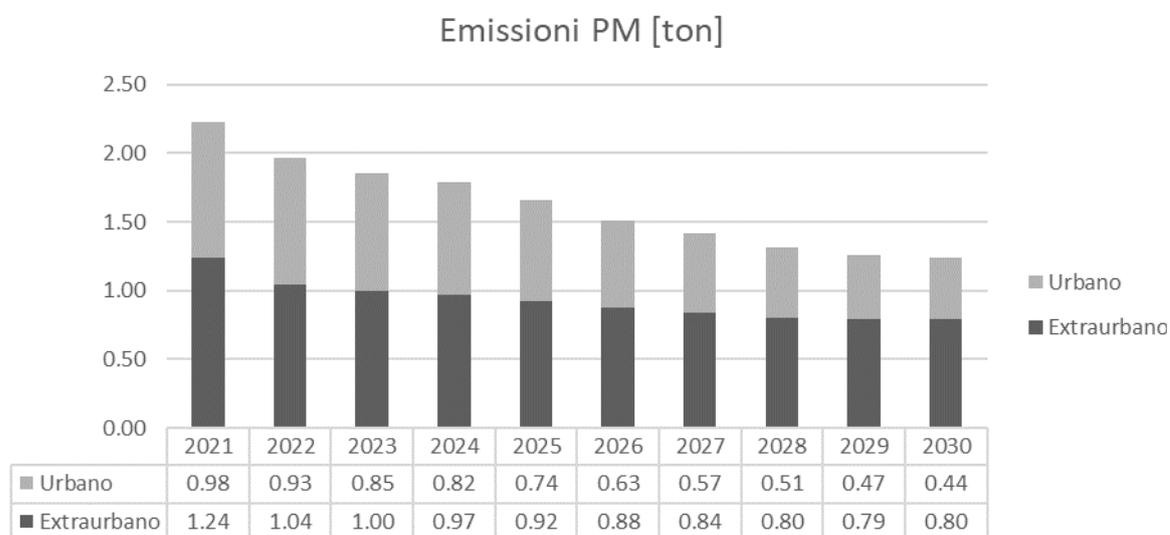


Figura 56. Emissioni di particolato determinate per la flotta evolutiva prevista nel PREPM nello Scenario 1 per Arriva Udine dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

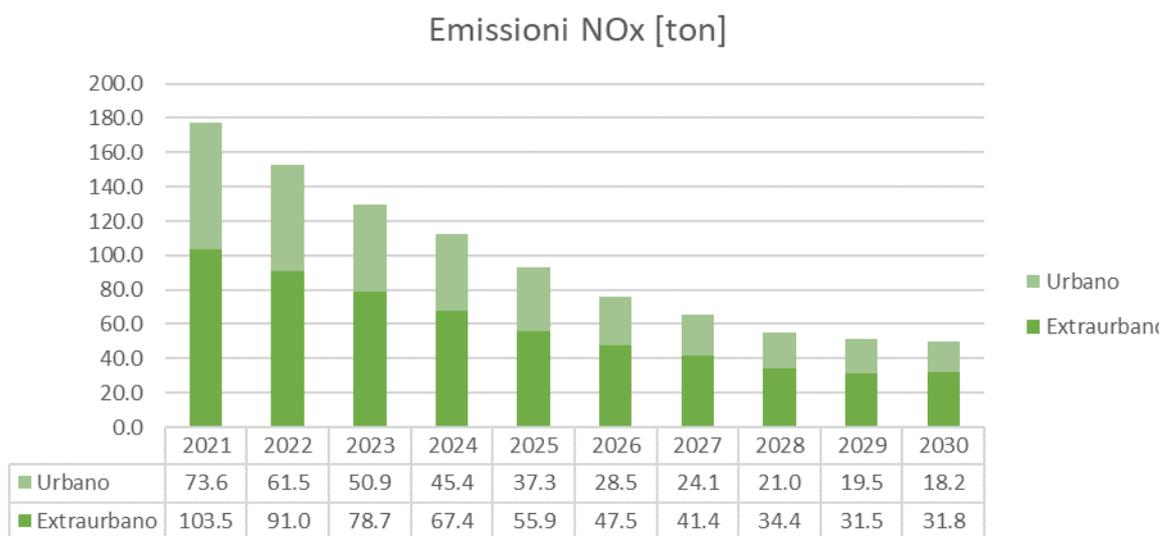


Figura 57. Emissioni di NOx determinate per la flotta evolutiva prevista nel PREPM nello Scenario 1 per Arriva Udine dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

7.2.2 Contesto territoriale dell'ex provincia di Gorizia

La consorziata APT su di una flotta di 122 autobus (129 al 2030 per esigenze di mantenimento servizio con motorizzazioni innovative), vede nel periodo 2021 – 2030 l'introduzione di 89 mezzi, a forte prevalenza di motorizzazioni LNG, a batteria e idrogeno (Tabella 21). Si osserva, inoltre, una variazione del numero totale di mezzi, dovuto principalmente all'introduzione di 6 mezzi elettrici aggiuntivi nel 2024 in occasione dell'evento GO!2025.

Tabella 21. Profilo evolutivo motorizzazioni per APT Gorizia nello Scenario 1.

APT GO - Totale flotta	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<i>Gasolio</i>	120	120	104	99	95	76	72	68	62	55
<i>CNG</i>										
<i>LNG</i>			15	17	20	31	31	31	35	42
<i>BEV</i>	2	2	3	9	12	14	17	17	17	17
<i>H2</i>				5	8	8	9	13	15	15
Totale	122	122	122	130	135	129	129	129	129	129

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<i>Gasolio</i>	6	8	1							
<i>CNG</i>										
<i>LNG</i>			15	2	3	11			4	7
<i>BEV</i>			3	6	3	2	3			
<i>H2</i>				5	3		1	4	2	
Totale	89	6	8	19	13	9	13	4	4	6

La distribuzione delle varie motorizzazioni, nei singoli anni, può essere seguita nella Figura 61, mentre nella Figura 65 e Figura 69 per il trasporto extraurbano ed urbano, rispettivamente.

La composizione della flotta TPL nel contesto territoriale della ex provincia di Gorizia per tipologia di alimentazione al 2021 e al 2030, nonché la diversificazione per tipologia di alimentazione dei nuovi mezzi introdotti con lo Scenario 1 di PREPM sono riportati altresì:

- nelle Figura 58, Figura 59 e Figura 60 nel complesso del contesto territoriale
- nelle Figura 62, Figura 63 e Figura 64 per il parco mezzi dei servizi extraurbani
- nelle Figura 66, Figura 67 e Figura 68 per il parco mezzi dei servizi urbani.

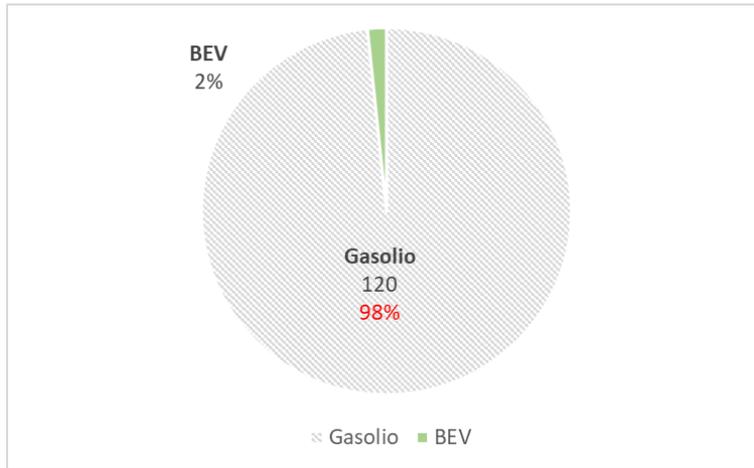


Figura 58. Consorziata APT Gorizia - Composizione flotta autobus per tipologia di alimentazione - anno 2021.

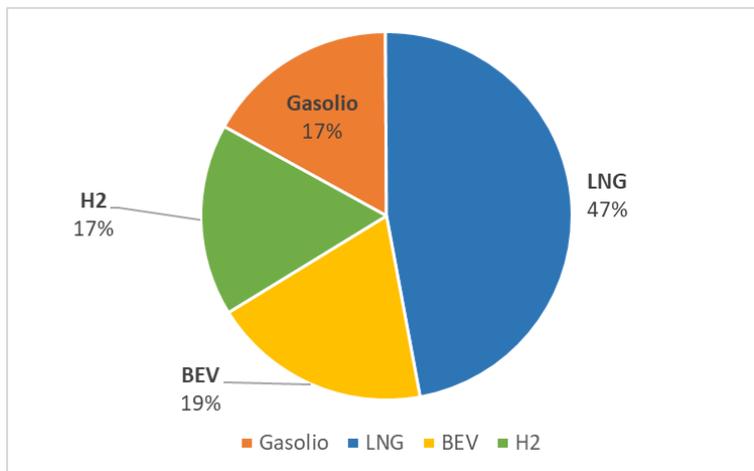


Figura 59. Consorziata APT Gorizia - Introduzione nuovi autobus 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

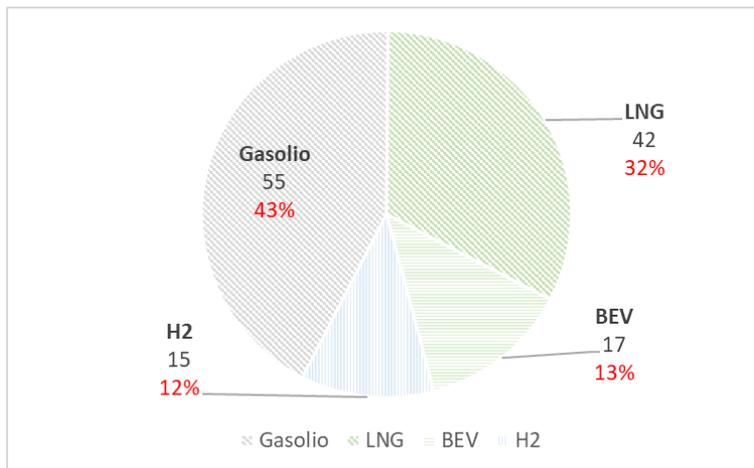


Figura 60. Consorziata APT Gorizia - Composizione flotta autobus per tipologia di alimentazione- anno 2030.

APT Gorizia - Totale

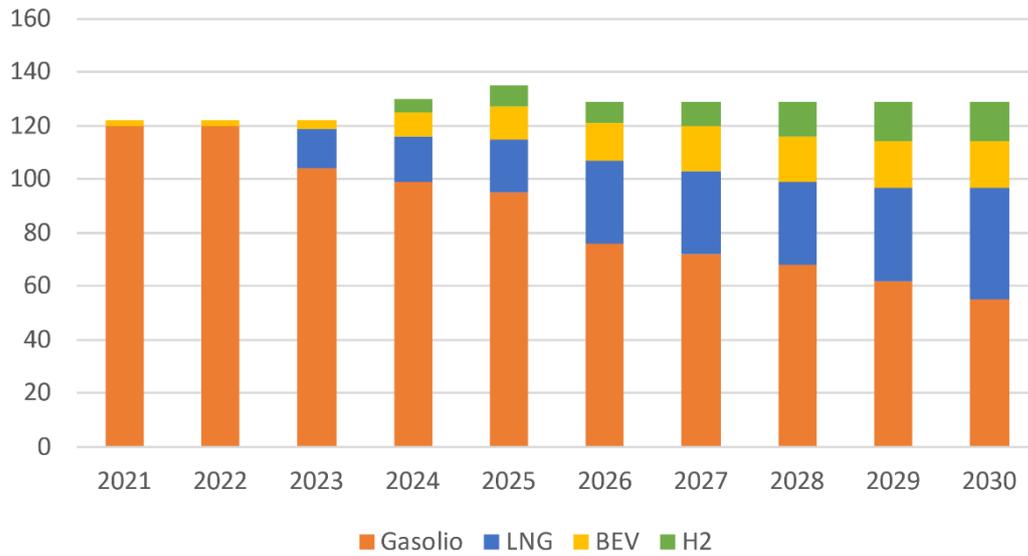


Figura 61. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto del territorio di Gorizia aggregato sull'intero servizio (urbano ed extraurbano) nello Scenario 1.

Tabella 22. Profilo evolutivo motorizzazioni per APT Gorizia nello Scenario 1 per il solo contesto extraurbano.

APT GO - EXTRAURBANO	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	86	86	71	69	66	55	55	55	51	44
CNG										
LNG			15	17	20	31	31	31	35	42
BEV										
H2										
Totale	86									

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	2	3	1							
CNG										
LNG			15	2	3	11			4	7
BEV										
H2										
Totale	48	3	16	2	3	11			4	7

In Figura 65 si illustra l'evoluzione temporale della flotta complessiva nel contesto extraurbano composto da motorizzazioni diesel e LNG, come riportato nelle tabelle precedenti.

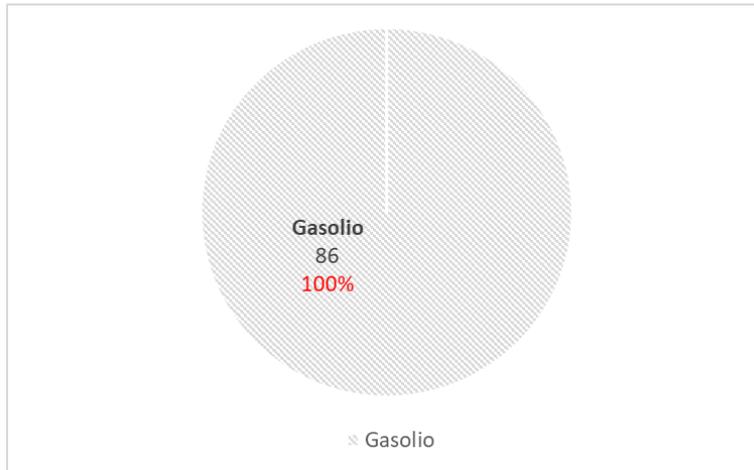


Figura 62. Consorziata APT Gorizia - Composizione flotta autobus EXTRAURBANI per tipologia di alimentazione - anno 2021.

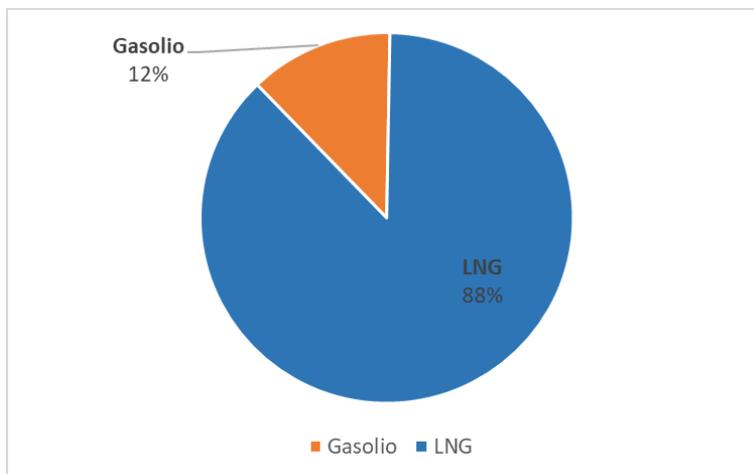


Figura 63. Consorziata APT Gorizia - Introduzione nuovi autobus EXTRAURBANI 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

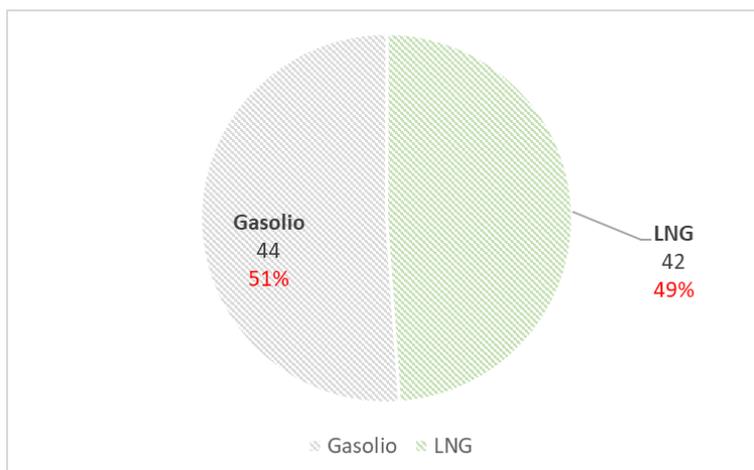


Figura 64. Consorziata APT Gorizia - Composizione flotta autobus EXTRAURBANI per tipologia di alimentazione- anno 2030.

APT Gorizia - Extraurbano

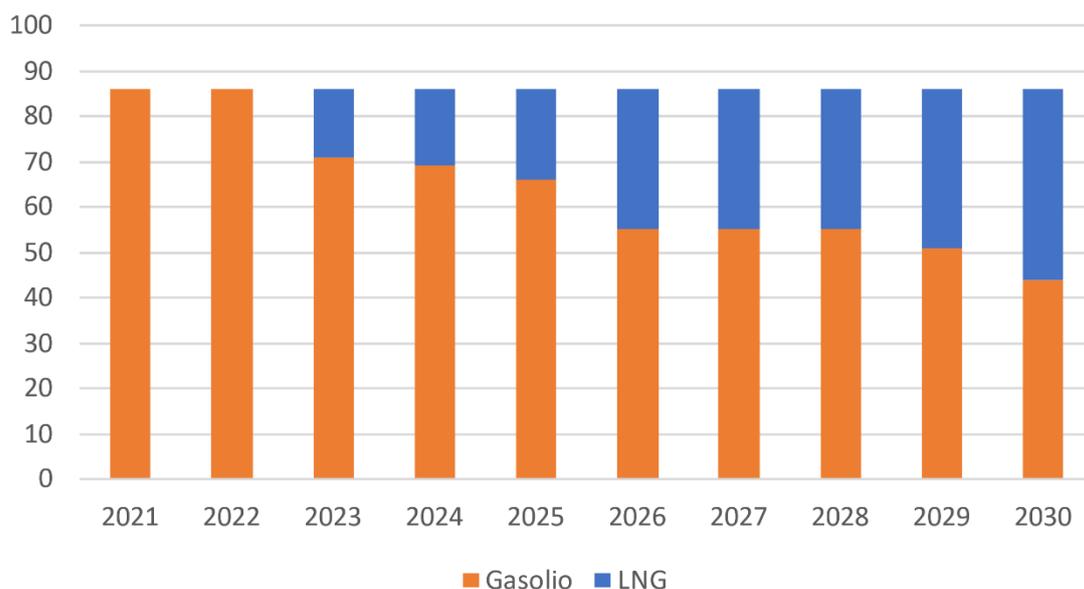


Figura 65. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto del territorio di Gorizia disaggregato sul servizio extraurbano nello Scenario 1.

Tabella 23. Profilo evolutivo urbano motorizzazioni per APT Gorizia nello Scenario 1 per il solo contesto urbano.

APT GO - URBANO	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	34	34	33	30	29	21	17	13	11	11
CNG										
LNG										
BEV	2	2	3	9	12	14	17	17	17	17
H2				5	8	8	9	13	15	15
Totale	36	36	36	49	49	43	43	43	43	43

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	4	5								
CNG										
LNG										
BEV			3	6	3	2	3			
H2				5	3		1	4	2	
Totale	41	4	5	3	11	6	2	4	4	2

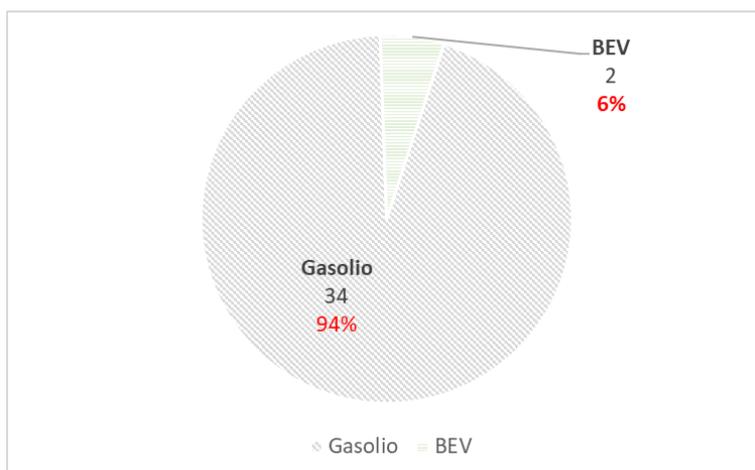


Figura 66. Consorziata APT Gorizia - Composizione flotta autobus URBANI per tipologia di alimentazione - anno 2021.

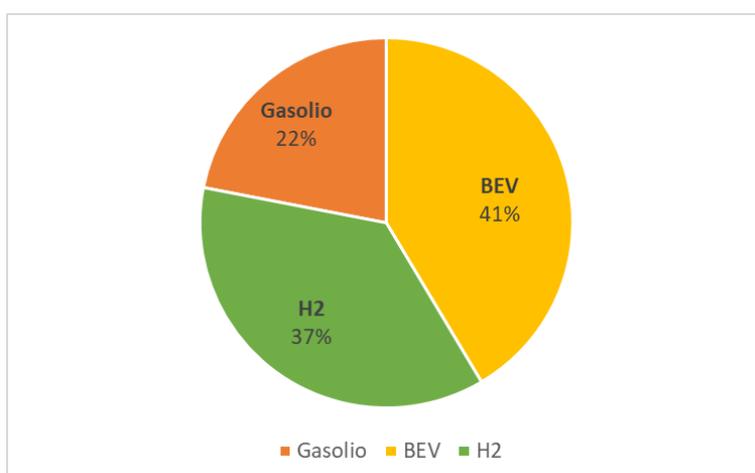


Figura 67. Consorziata APT Gorizia - Introduzione nuovi autobus URBANI 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

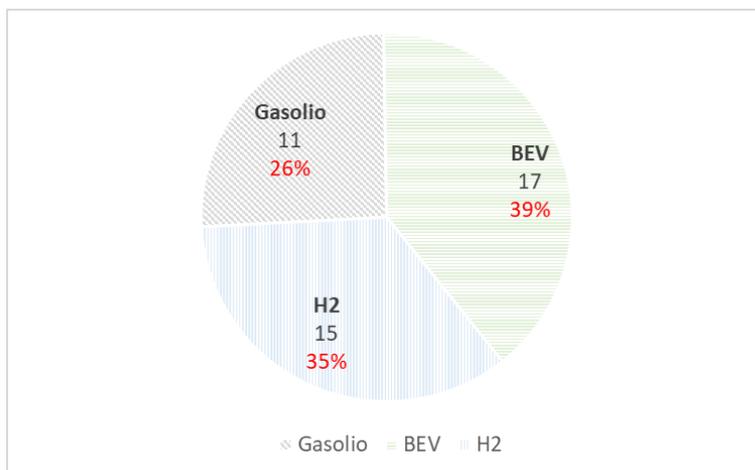


Figura 68. Consorziata APT Gorizia - Composizione flotta autobus URBANI per tipologia di alimentazione- anno 2030.

In Figura 69 si illustra l'evoluzione temporale della flotta complessiva nel contesto urbano composto da motorizzazioni diesel, batteria ed idrogeno, come riportato nelle tabelle precedenti. Nei singoli contesti urbani, lo Scenario 1 prevede una completa sostituzione della flotta a servizio della municipalità su Monfalcone con mezzi ad idrogeno, una completa sostituzione di quella della municipalità di Grado con mezzi a batteria ed infine, nella municipalità di Gorizia, una parziale

rimozione dei mezzi diesel (per non raggiungimento dell'età massima) con però l'introduzione di un rilevante numero di mezzi batteria e idrogeno.

APT Gorizia - Urbano

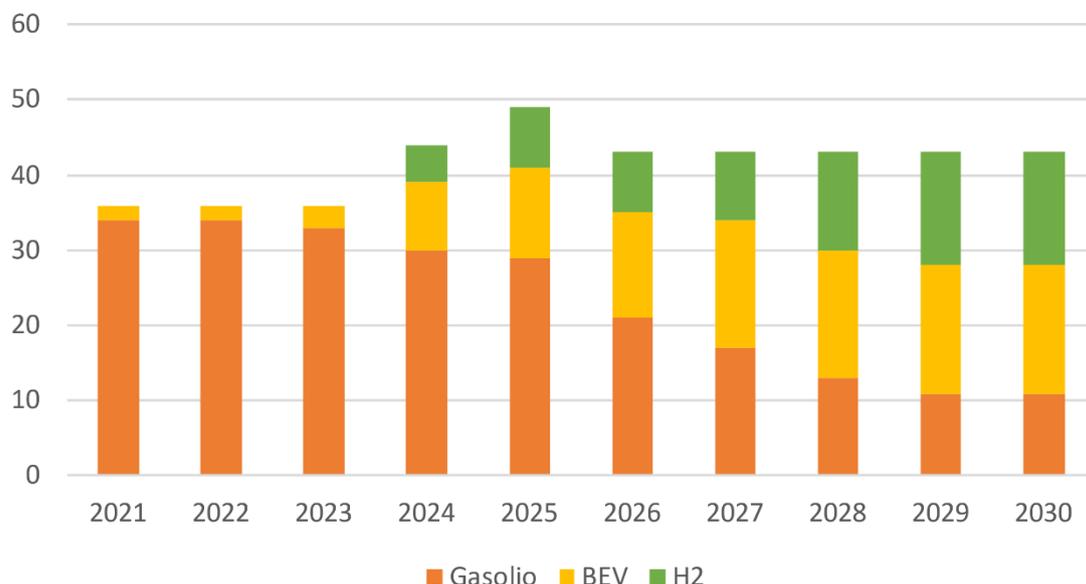


Figura 69. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto del territorio di Gorizia disaggregato sul servizio urbano nello Scenario 1.

Di seguito vengono riportati i profili di emissioni annuali per la flotta mezzi TPL di APT Gorizia, dove anche in questo caso, l'emissione urbana di GHG viene drasticamente ridotta al 2030, ove rimane un notevole contributo del contesto extraurbano.

Emissioni GHG tank-to-wheel [kton CO2e]

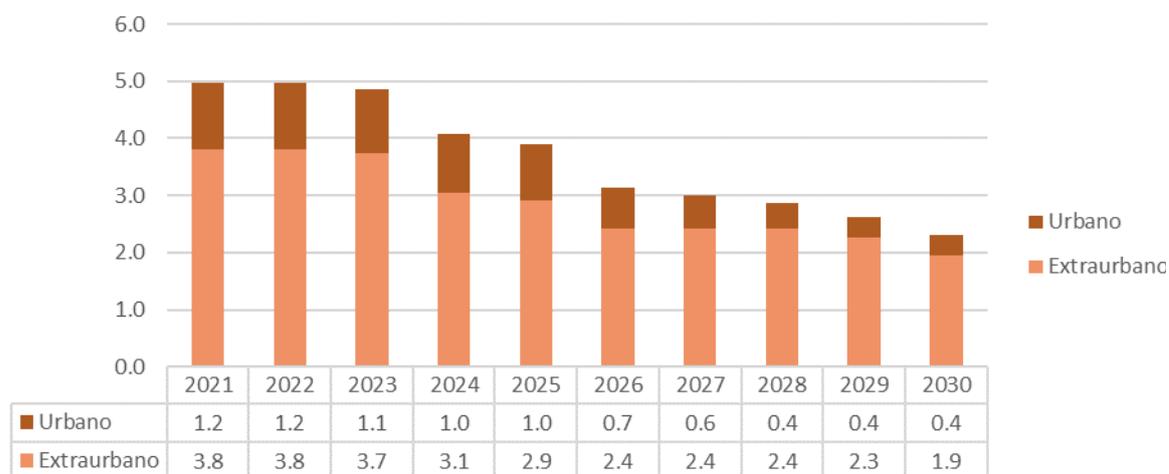


Figura 70. Emissioni GHG (in tonnellate di CO₂ equivalente) "tank-to-wheel" determinate per la flotta evolutiva prevista nello Scenario 1 per APT Gorizia dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

Stesso andamento è presente nel contesto delle emissioni inquinanti di particolato (Figura 71) e NOx (Figura 72), con una riduzione limitata in discesa alla quota di flotta diesel presente nel contesto extraurbano e in parte, alle ridotte emissioni dei mezzi a metano.

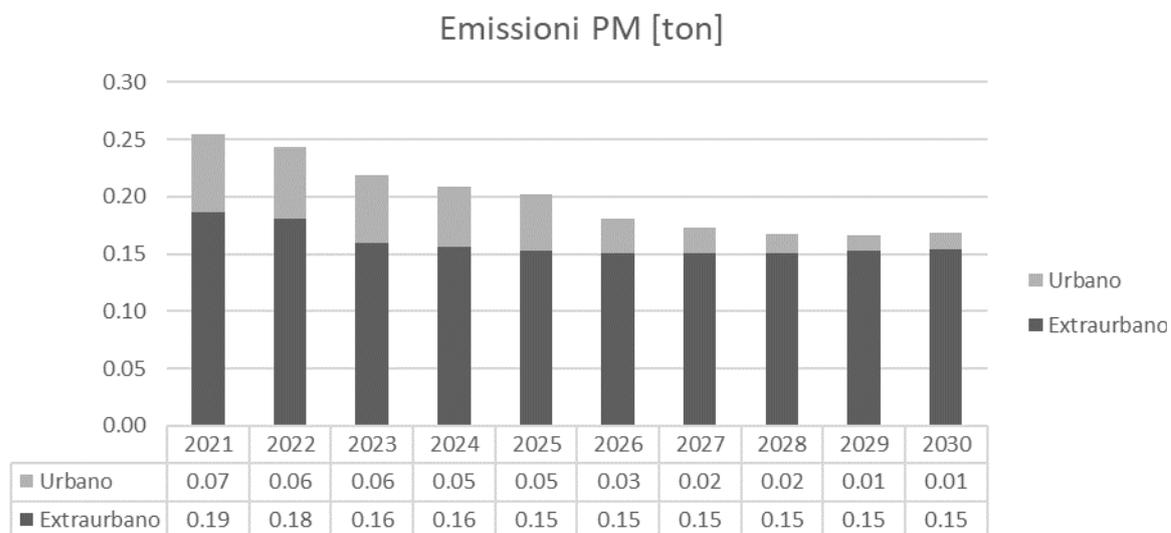


Figura 71. Emissioni di particolato determinate per la flotta evolutiva prevista nel PREPM nello Scenario 1 per APT Gorizia dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

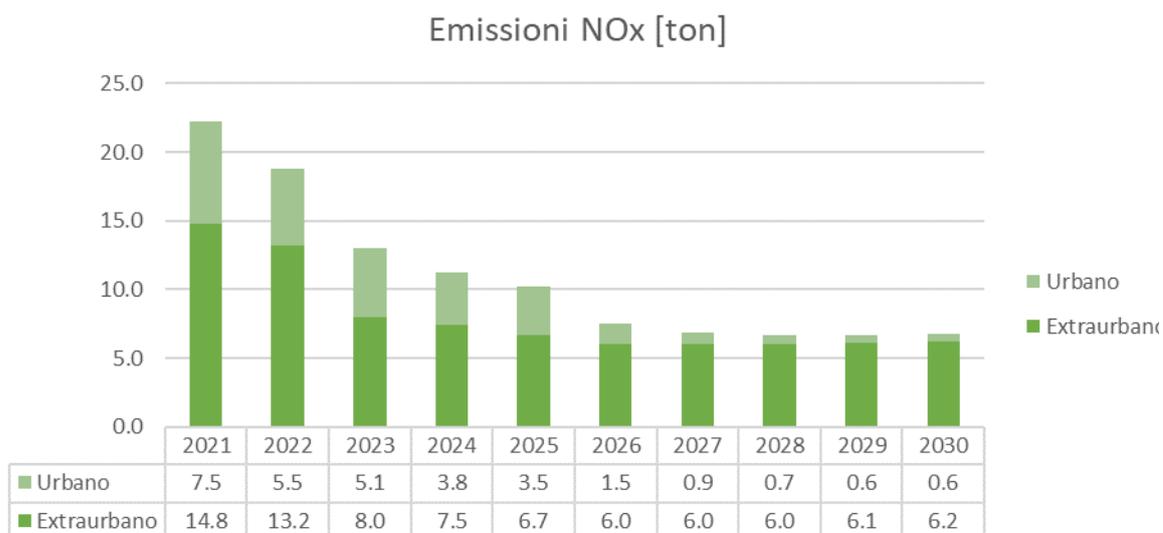


Figura 72. Emissioni di NOx determinate per la flotta evolutiva prevista nel PREPM nello Scenario 1 per APT Gorizia dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

7.2.3 Contesto territoriale dell'ex provincia di Pordenone

La consorziata ATAP, su di una flotta di 164 autobus (Tabella 24), vede nel periodo 2021 – 2030 l'introduzione di 102 mezzi, a forte prevalenza di motorizzazioni a LNG e a batteria.

Tabella 24. Profilo evolutivo motorizzazioni per ATAP Pordenone nello Scenario 1.

ATAP PN - Totale flotta	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<i>Gasolio</i>	164	146	142	130	122	106	104	92	82	77
<i>CNG</i>										
<i>LNG</i>		18	22	32	40	52	54	66	76	81
<i>BEV</i>				2	2	6	6	6	6	6
<i>H2</i>										
Totale	164									

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<i>Gasolio</i>	7	1				3				4
<i>CNG</i>										
<i>LNG</i>		18	4	10	8	12	2	12	10	5
<i>BEV</i>				2		4				
<i>H2</i>										
Totale	102	7	19	4	12	8	19	2	12	10

Di seguito (Figura 73 e Figura 75) viene sintetizzata la composizione della flotta afferente ai servizi TPL nel contesto territoriale dell'ex provincia di Pordenone, per tipologia di motorizzazione, al 2021 e al 2030, anno di riferimento per il completamento dell'attuazione dello Scenario 1 del PREPM, nonché (Figura 74) la composizione delle diverse tipologie di autobus introdotti nella flotta nel periodo 2021-2030. Infine, nella Figura 76, viene rappresentato graficamente il dettaglio, anno per anno, dell'evoluzione del parco autobus in relazione alle differenti tipologie di alimentazione.

Le medesime analisi e rappresentazioni vengono poi riproposte con riferimento all'ambito del servizio extraurbano (Tabella 25 e Figura 77, Figura 78, Figura 79, Figura 80) e urbano (Tabella 26 e Figura 81, Figura 82, Figura 83, Figura 84).

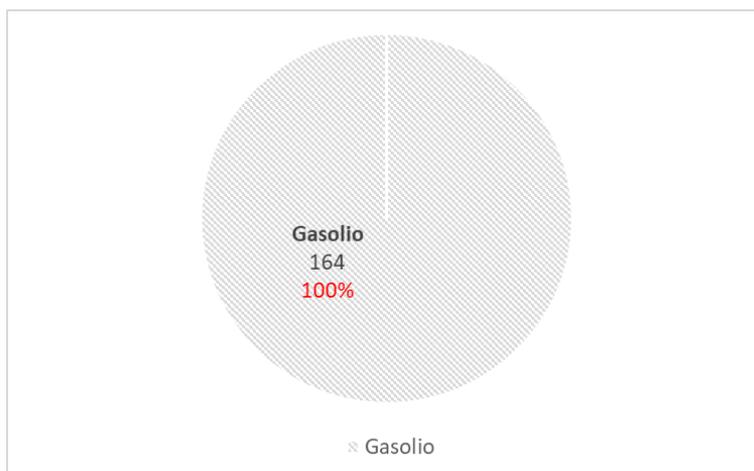


Figura 73. Consorziata ATAP Pordenone - Composizione flotta autobus per tipologia di alimentazione - anno 2021.

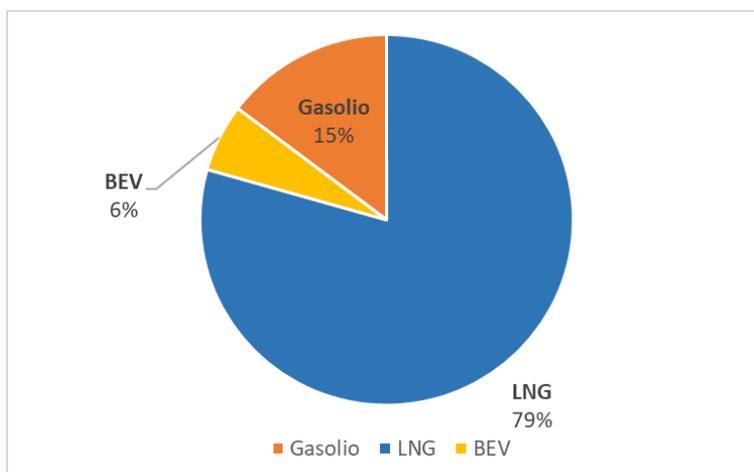


Figura 74. Consorziata ATAP Pordenone - Introduzione nuovi autobus 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

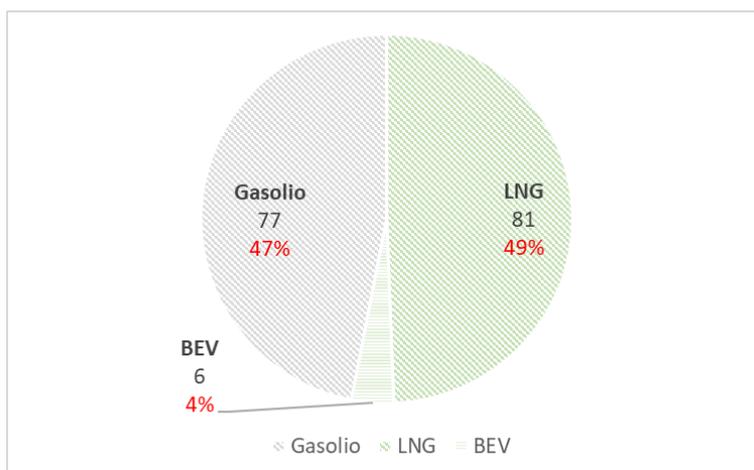


Figura 75. Consorziata ATAP Pordenone - Composizione flotta autobus per tipologia di alimentazione- anno 2030.

ATAP Pordenone - Totale

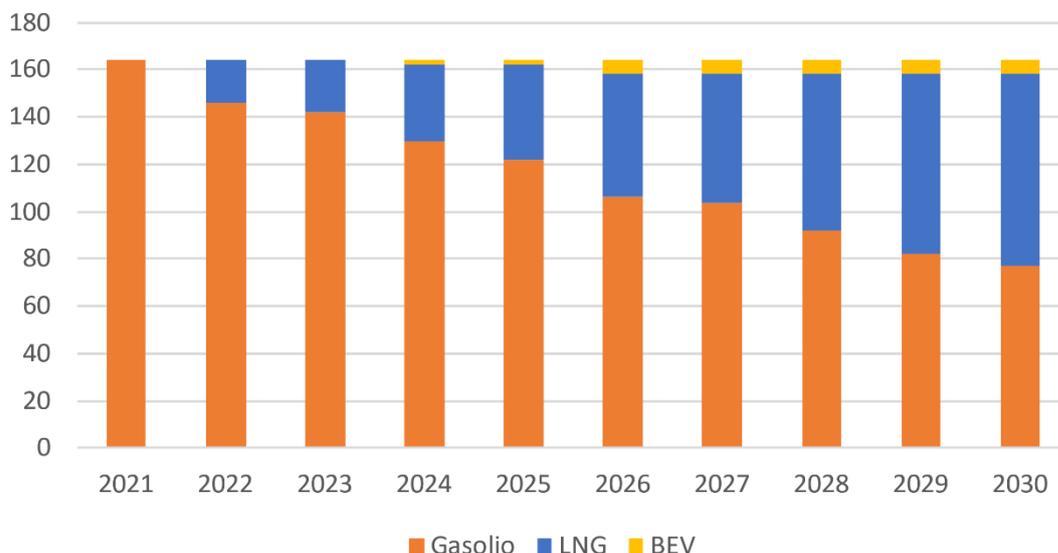


Figura 76. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto del territorio di Pordenone aggregato sull'intero servizio (urbano ed extraurbano) nello Scenario 1.

Con riferimento all'ambito extraurbano, la Tabella 25 riporta il numero di mezzi circolanti e introdotti dal 2021 al 2030, con la sostituzione complessiva di più del 57% della flotta con un significativo rinnovo in senso evolutivo con mezzi LNG (83% dei nuovi mezzi introdotti in ambito extraurbano).

Tabella 25. Profilo evolutivo motorizzazioni per ATAP Pordenone nello Scenario 1 nel contesto extraurbano.

ATAP PN – Flotta Extraurbana	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	136	134	130	120	112	100	98	86	76	71
CNG										
LNG		2	6	16	24	36	38	50	60	65
BEV										
H2										
Totale	136									

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	5	1				3				4
CNG										
LNG		2	4	10	8	12	2	12	10	5
BEV										
H2										
Totale	78	5	3	4	10	8	15	2	12	10

In Figura 80 si illustra l'evoluzione temporale della flotta complessiva nel contesto extraurbano composto da motorizzazioni diesel e LNG, come riportato nelle tabelle precedenti.

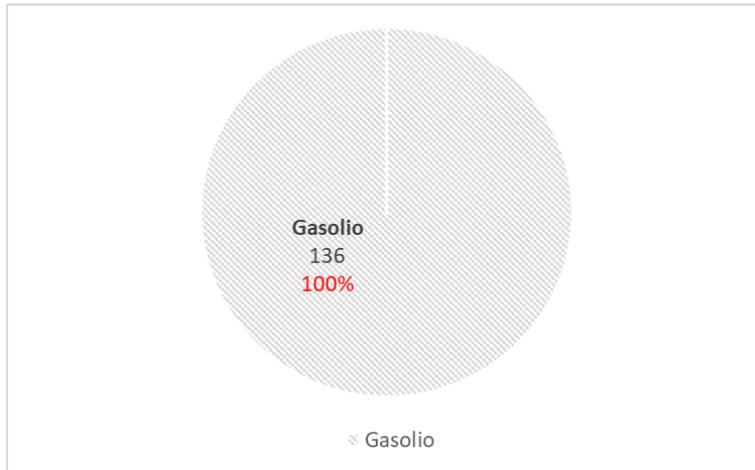


Figura 77. Consorziata ATAP Pordenone - Composizione flotta autobus EXTRAURBANI per tipologia di alimentazione - anno 2021.

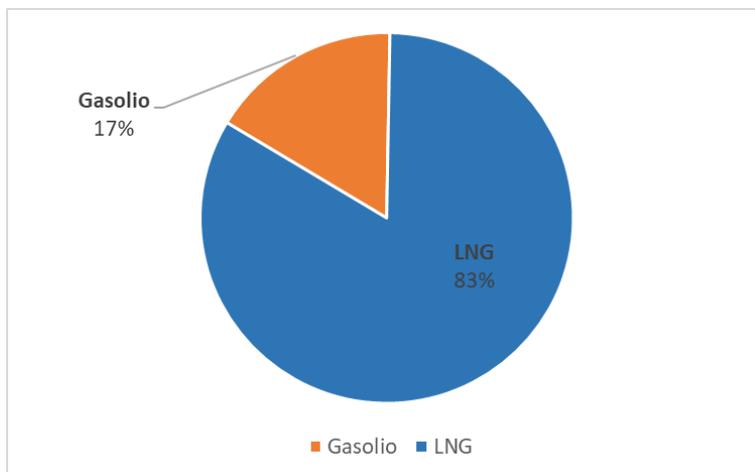


Figura 78. Consorziata ATAP Pordenone - Introduzione nuovi autobus EXTRAURBANI 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

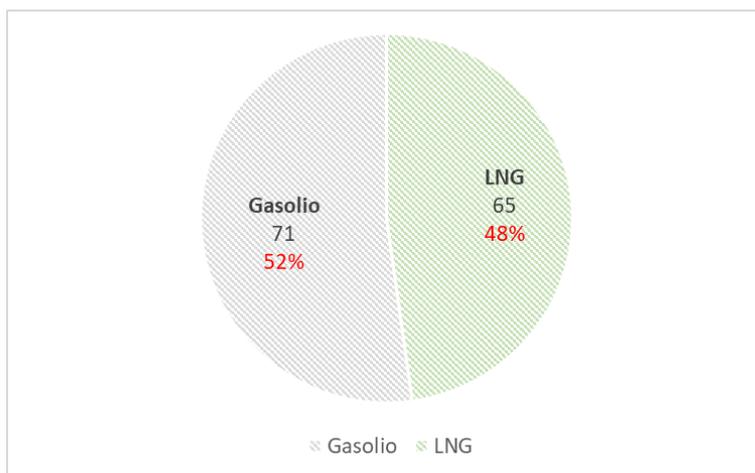


Figura 79. Consorziata ATAP Pordenone - Composizione flotta autobus EXTRAURBANI per tipologia di alimentazione- anno 2030.

ATAP Pordenone - Extraurbano

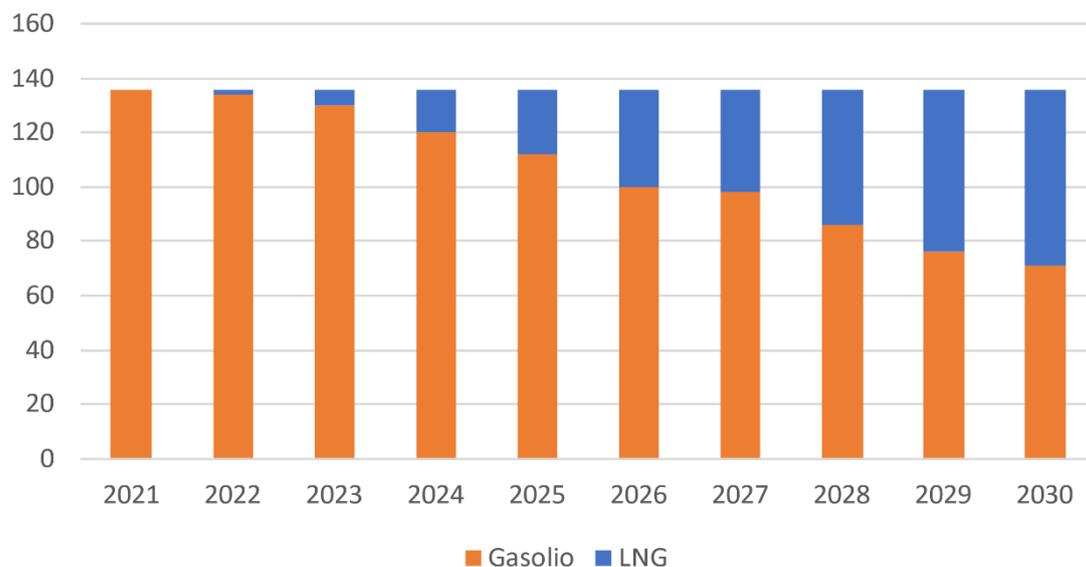


Figura 80. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto del territorio di Pordenone disaggregato sul servizio extraurbano nello Scenario 1.

Con riferimento all'ambito urbano, la Tabella 26 come detto riporta il numero di mezzi circolanti e introdotti dal 2021 al 2030, con la sostituzione di quasi il 100 % della flotta urbana.

Tabella 26. Profilo evolutivo motorizzazioni per ATAP Pordenone nello Scenario 1, nel contesto urbano.

ATAP PN – Flotta Urbana	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	28	12	12	10	10	6	6	6	6	6
CNG										
LNG		16	16	16	16	16	16	16	16	16
BEV				2	2	6	6	6	6	6
H2										
Totale	28									

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	2									
CNG										
LNG		16								
BEV				2		4				
H2										
Totale	24	2	16	2		4				

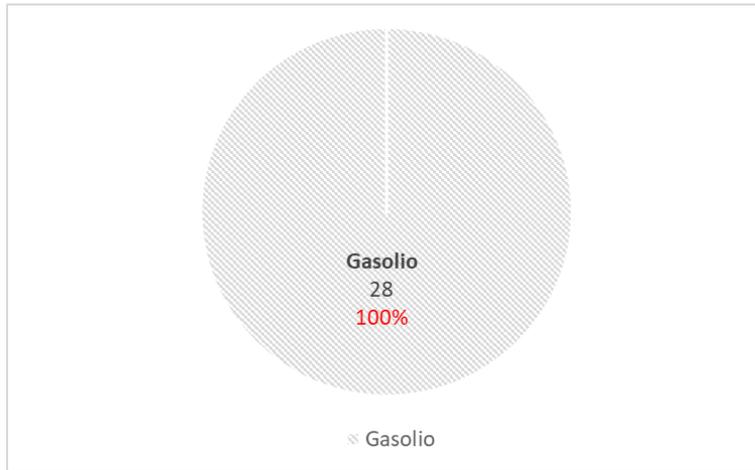


Figura 81. Consorziata ATAP Pordenone - Composizione flotta autobus URBANI per tipologia di alimentazione - anno 2021.

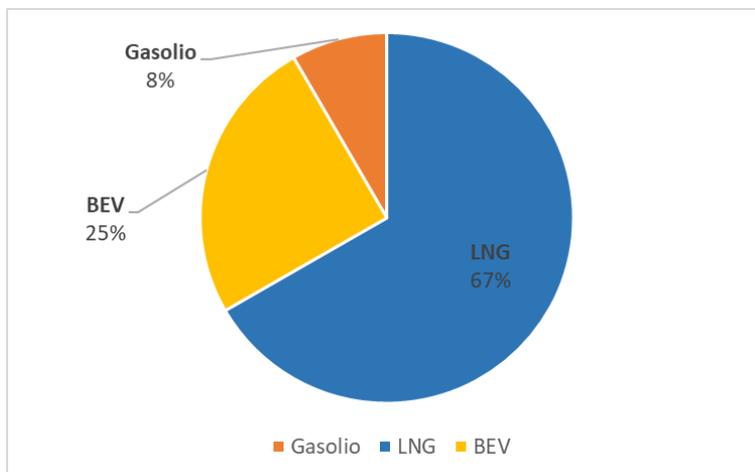


Figura 82. Consorziata ATAP Pordenone - Introduzione nuovi autobus URBANI 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

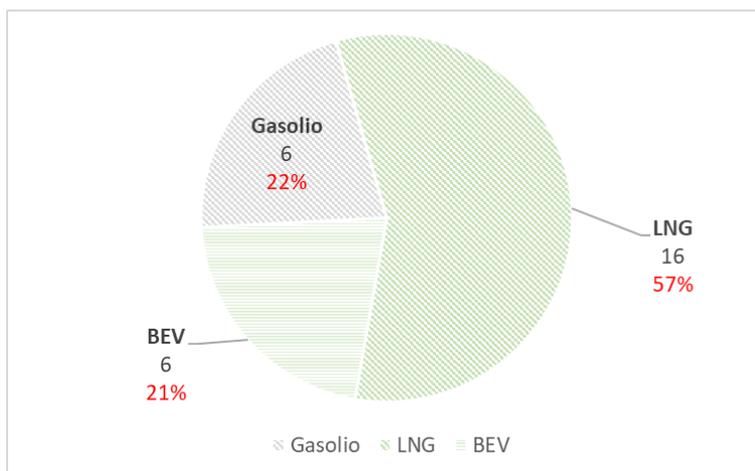


Figura 83. Consorziata ATAP Pordenone - Composizione flotta autobus URBANI per tipologia di alimentazione- anno 2030.

In Figura 84 si illustra l'evoluzione temporale della flotta complessiva nel contesto urbano composto da motorizzazioni diesel, batteria ed LNG, come riportato nelle tabelle precedenti.

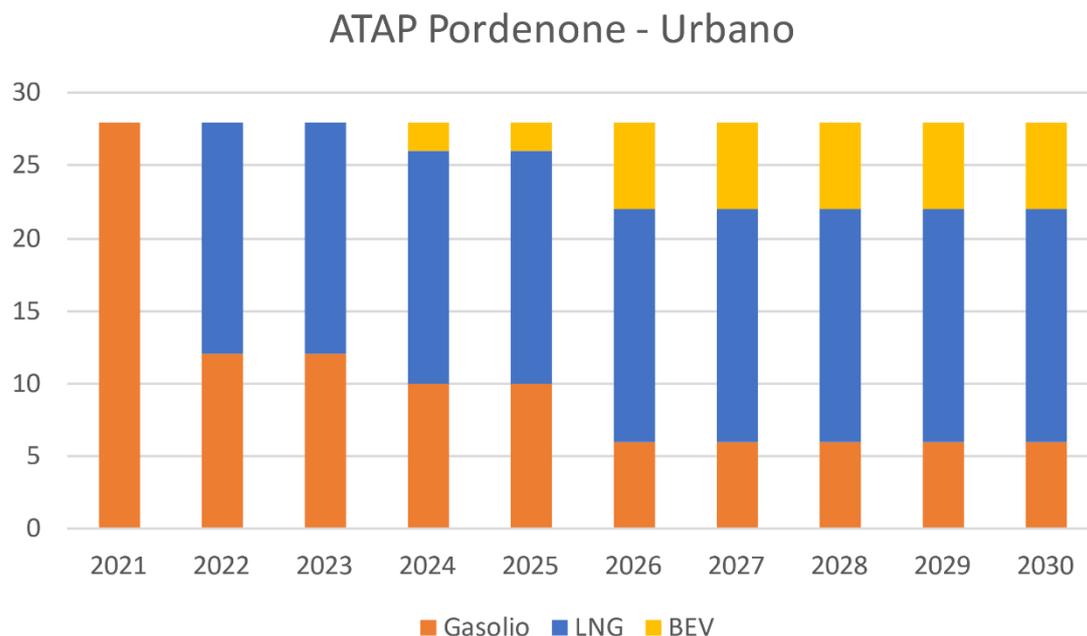


Figura 84. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto del territorio di Pordenone disaggregato sul servizio urbano nello Scenario 1.

Le motorizzazioni introdotte nella flotta ATAP permettono il raggiungimento dell'obiettivo 1, inoltre garantiscono anche per il contesto urbano di Pordenone, il raggiungimento dell'obiettivo specifico 3, includendo solo mezzi a basse o emissioni nulle (Figura 85).

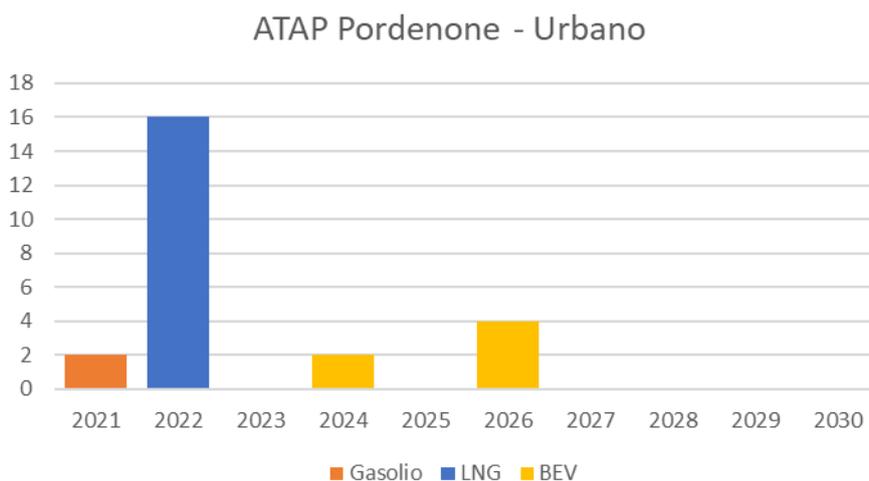


Figura 85. Numero mezzi a propulsione alternativa introdotti per il solo contesto urbano di Pordenone nel periodo 2021 – 2030. I mezzi acquistati nel 2021 sono autobus diesel/elettrici ibridi.

Di seguito vengono riportati i profili di emissioni annuali per la flotta mezzi TPL di ATAP Pordenone, dove anche in questo caso, l'emissione urbana di GHG viene drasticamente ridotta al 2030, ove rimane un notevole contributo del contesto extraurbano.

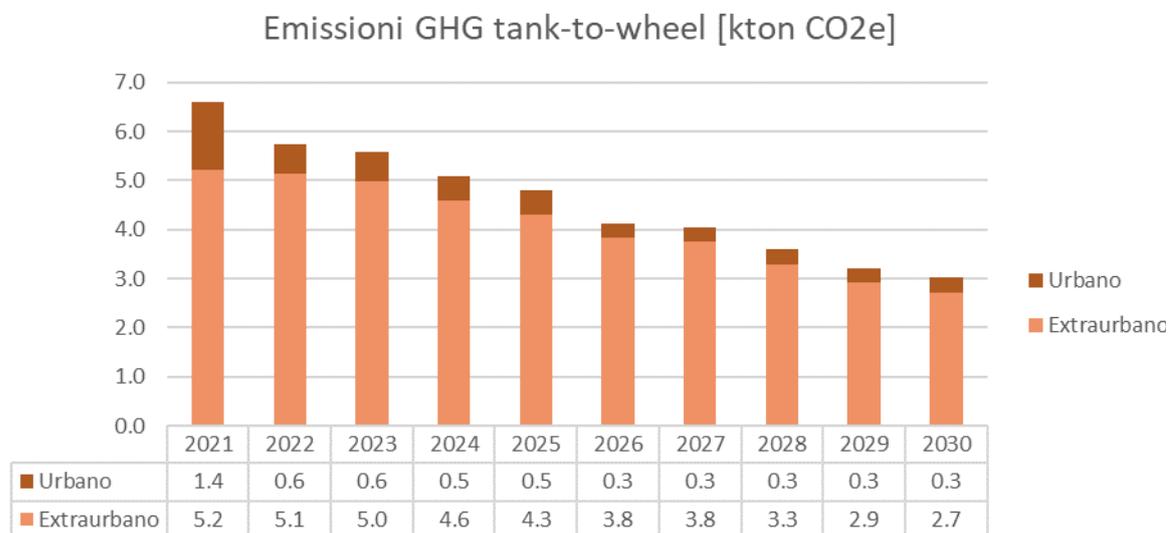


Figura 86. Emissioni GHG (in tonnellate di CO₂ equivalente) "tank- to-wheel" determinate per la flotta evolutiva prevista nello Scenario 1 per ATAP Pordenone dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

Stesso andamento è presente nel contesto delle emissioni inquinanti di particolato (Figura 87) e NO_x (Figura 88), con una riduzione limitata in discesa alla quota di flotta diesel presente nel contesto extraurbano e in parte, alle ridotte emissioni dei mezzi a metano.

Emissioni PM [ton]

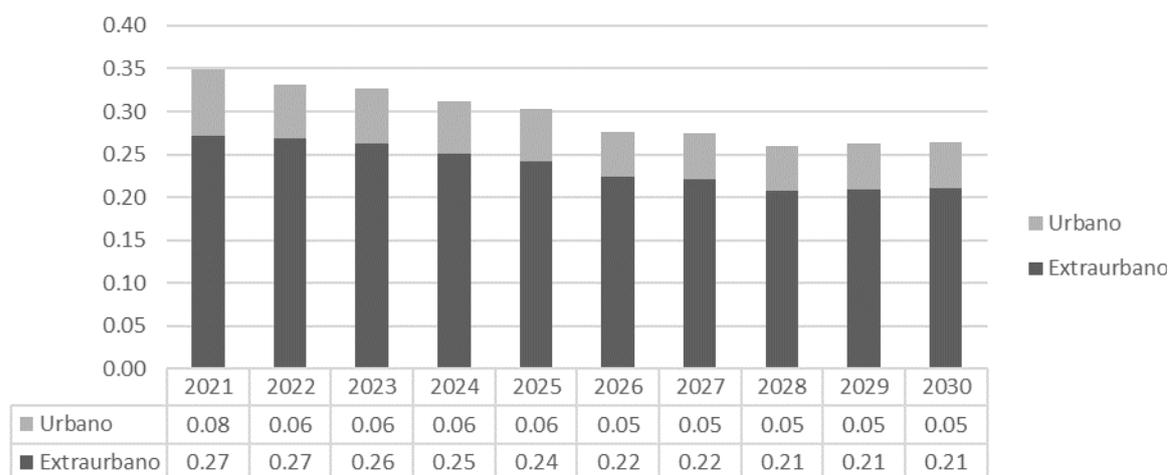


Figura 87. Emissioni di particolato determinate per la flotta evolutiva prevista nel PREPM nello Scenario 1 per ATAP Pordenone dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

Emissioni NOx [ton]

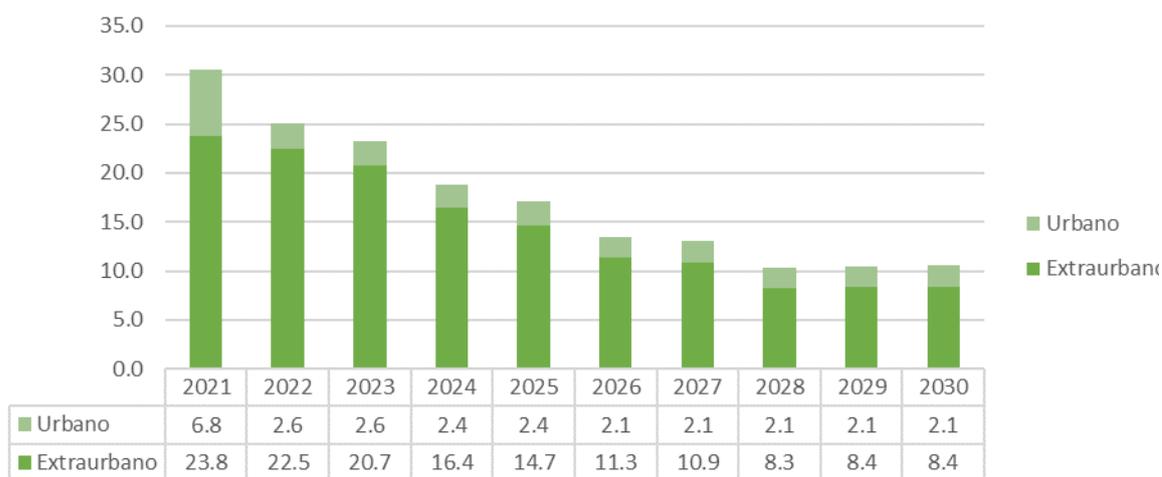


Figura 88. Emissioni di NOx determinate per la flotta evolutiva prevista nel PREPM nello Scenario 1 per ATAP Pordenone dal 2021 al 2030, disaggregate per servizio urbano ed extraurbano.

7.2.4 Contesto territoriale dell'ex provincia di Trieste

La consorziata Trieste Trasporti su di una flotta di 270 autobus (aumentata a 271 a partire dal 2023 per il ripristino di un mezzo), vede nel periodo 2021 – 2030 l'introduzione di 165 mezzi in totale, a forte prevalenza di motorizzazioni a batteria, con l'introduzione anche di mezzi a idrogeno (Tabella 27 e Figura 93).

Tabella 27. Profilo evolutivo motorizzazioni per Trieste Trasporti nello Scenario 1.

TT TS - Totale flotta	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	270	270	253	248	225	203	185	165	145	125
CNG										
LNG										
BEV			18	23	46	68	86	100	120	136
H2								6	6	10
Totale	270	270	271							

Mezzi introdotti	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio		18	1							
CNG										
LNG										
BEV			18	5	23	22	18	14	20	16
H2								6		4
Totale	165	18	19	5	23	22	18	20	20	20

La composizione della flotta TPL nel contesto territoriale della ex provincia di Trieste (che si articola su soli servizi classificati urbani) per tipologia di alimentazione al 2021 e al 2030, nonché la diversificazione per tipologia di alimentazione dei nuovi mezzi introdotti con lo Scenario 1 di PREPM sono riportati in Figura 89 e Figura 91 e Figura 43, mentre la distribuzione complessiva delle varie motorizzazioni della flotta negli anni è riportata in Figura 90.

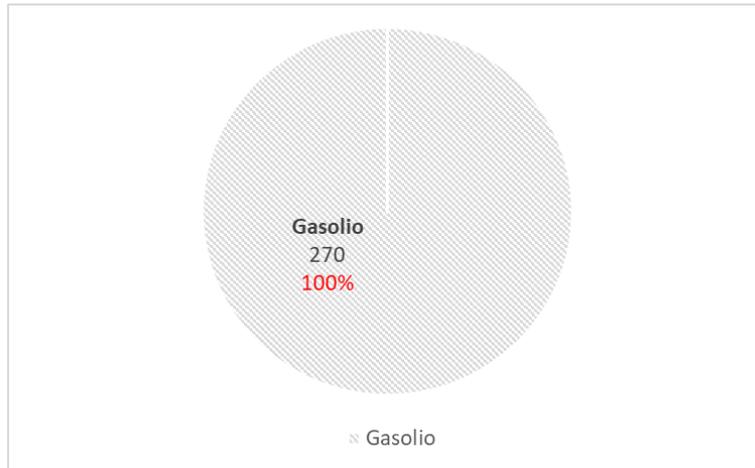


Figura 89. Consorzio Trieste Trasporti - Composizione flotta autobus URBANI per tipologia di alimentazione - anno 2021.

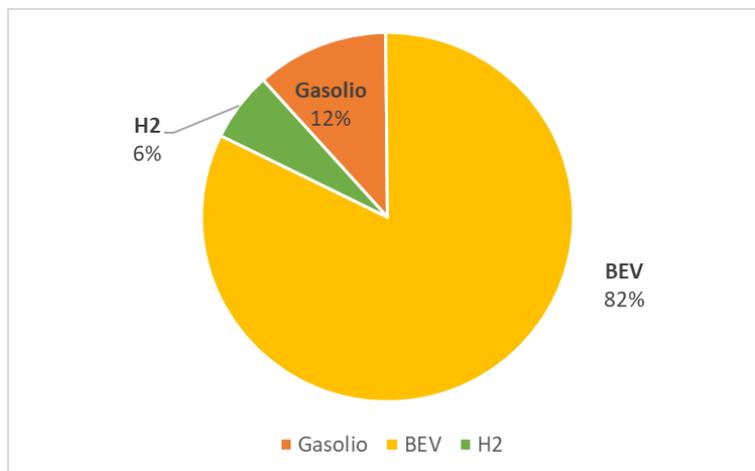


Figura 90. Consorzio Trieste Trasporti - Introduzione nuovi autobus URBANI 2021-2030 per tipologia di alimentazione.

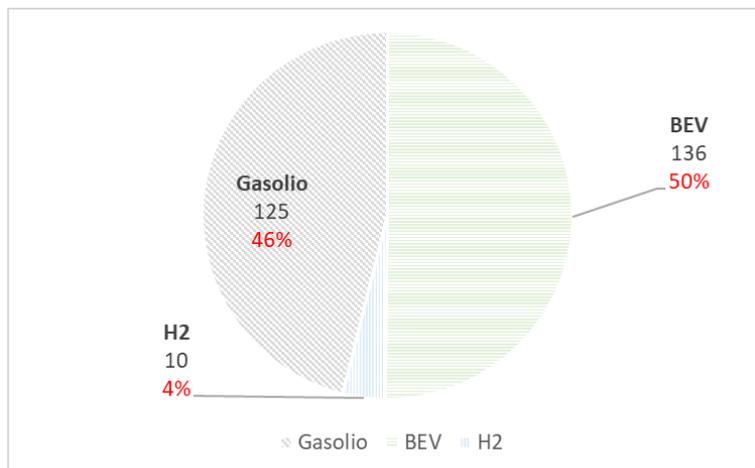


Figura 91. Consorzio Trieste Trasporti - Composizione flotta autobus URBANI per tipologia di alimentazione- anno 2030.

La distribuzione delle varie motorizzazioni, anno per anno, può essere osservata in Figura 92 e rappresenta la distribuzione del solo contesto urbano di Trieste non essendoci un servizio extraurbano.

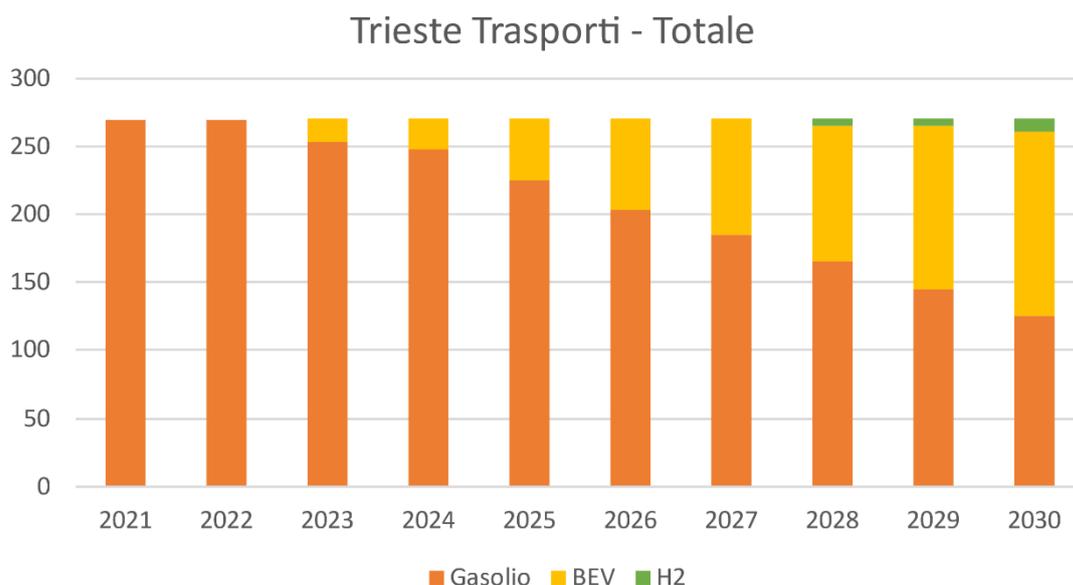


Figura 92. Distribuzione delle motorizzazioni autobus per il contesto del territorio di Trieste aggregato sull'intero servizio (coincidente con servizio urbano) nello Scenario 1.

Le motorizzazioni introdotte nella flotta TT consentono il raggiungimento dell'obiettivo 1.



Figura 93. Numero mezzi diesel e a propulsione alternativa introdotti per il solo contesto urbano di Trieste nel periodo 2021 - 2030.

Rientrando nel contesto di area metropolitana ad alto inquinamento, il contesto urbano di Trieste vede la necessità di garantire l'obiettivo del PNIEC per la sostituzione dei mezzi (criterio per la disposizione di fondi nazionali). Come riportato in Figura 93, ad eccezione del 2022 (annualità rispetto alla quale, si deve precisare, il PREPM assume la sovrapposizione degli effetti del rinnovo della flotta delineata da acquisti precedentemente pianificati dalla consorziata nel rispetto dei requisiti contrattuali di anzianità massima e media della flotta) il piano evolutivo della flotta TT è in linea con l'obiettivo 3.

Di seguito si riporta la riduzione delle emissioni climalteranti (Figura 94) e inquinanti (Figura 95, Figura 96) per l'evoluzione flotta del contesto territoriale di Trieste previsto nel PREPM-Scenario 1.

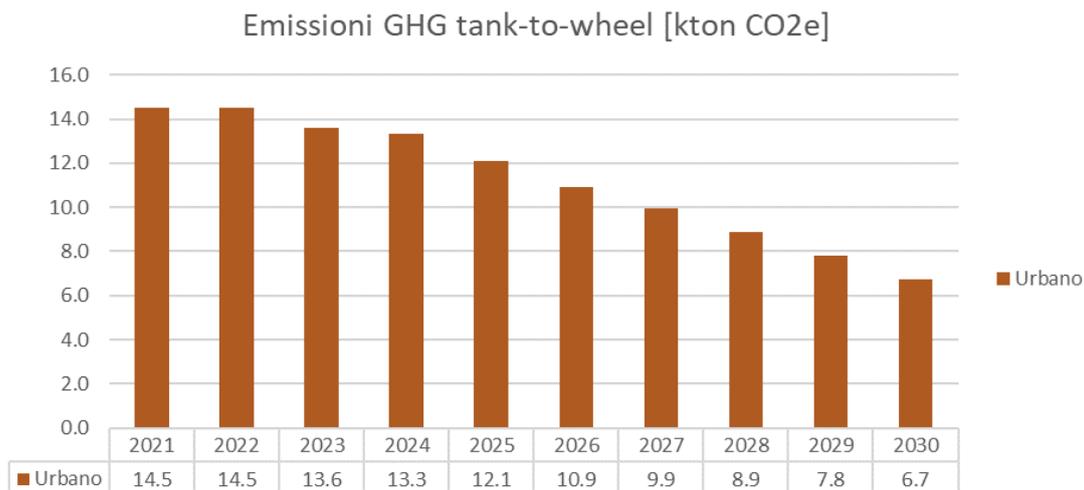


Figura 94. Emissioni GHG (in tonnellate di CO₂ equivalente) “tank- to-wheel” determinate per la flotta evolutiva prevista nello Scenario 1 per Trieste Trasporti dal 2021 al 2030.

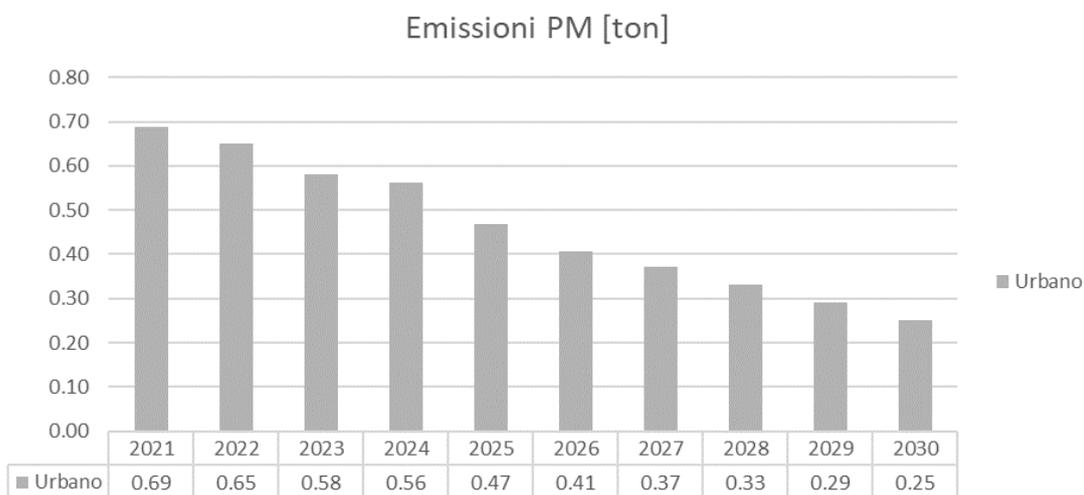


Figura 95. Emissioni di particolato determinate per la flotta evolutiva prevista nel PREPM nello Scenario 1 per Trieste Trasporti dal 2021 al 2030.

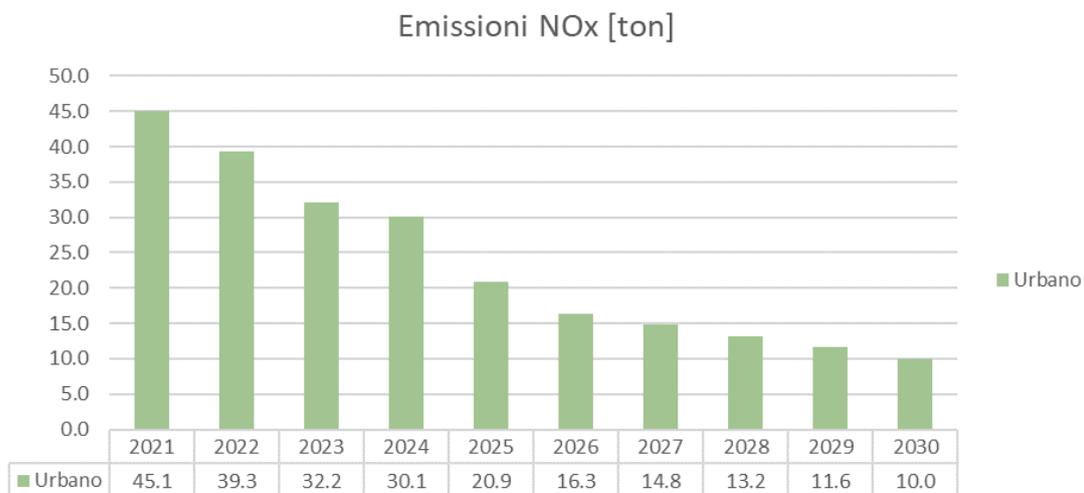


Figura 96. Emissioni di NOx determinate per la flotta evolutiva prevista nel PREPM nello Scenario 1 per Trieste Trasporti dal 2021 al 2030.

7.2.5 Stima risorse e investimenti

Nello Scenario 1, la necessità di sostituire entro il 2030 almeno 444 autobus alimentati a diesel con mezzi a basse emissioni o emissioni nulle (invece che con mezzi diesel di ultima generazione), finanziati con fondi nazionali ed europei (vedi Tabella 1), permette di destinare le risorse già rese disponibili dalla Regione alla società TPL FVG nell'ambito del corrispettivo di servizio per il rinnovo ulteriore della flotta diesel con mezzi di ultima generazione (Tabella 2), con l'acquisto di alcuni degli autobus a basse emissioni il cui acquisto non è coperto dagli attuali finanziamenti statali e comunitari.

Nella seguente tabella sono riportate le stime dei costi da sostenere per l'acquisto di autobus, suddivisi per tipologia, e dei costi da sostenere per le infrastrutture. In aggiunta si riassume il valore di finanziamenti statali/comunitari ottenuti ad oggi (dicembre 2022), suddivisi tra mezzi e infrastrutture secondo le stime preliminari della TPL FVG Scarl, e dalla stima delle risorse regionali disponibili secondo quanto previsto all'articolo 5, comma 15 ter, della legge 23/2021. La tabella mostra infine la differenza tra la stima degli investimenti necessari e le risorse ad oggi disponibili; un valore negativo indicherebbe la necessità di reperire ulteriori risorse, che potranno derivare, ad esempio, da nuove linee di finanziamento nazionali o europee.

Per le stime di costo per l'acquisto dei mezzi sono stati presi a riferimento i valori resi disponibili dal gestore dei servizi TPL FVG Scarl, specifici per mezzi con diversa taglia e motorizzazione, verificati mediante comparazione con la letteratura disponibile al momento della stesura del presente documento (vedi paragrafo 7.1, Tabella 12).

Rispetto ai costi delle infrastrutture a supporto dell'approvvigionamento energetico si è proceduto all'acquisizione dei dati resi disponibili dal gestore TPL, sulla base di propri studi di fattibilità o progettualità in corso di definizione, e a un confronto dei medesimi con dati e stime di letteratura. Più nello specifico il PREPM assume, per i costi di impianto giunti già ad un definito grado di maturazione progettuale, le relative stime prospettate (si veda per esempio il contesto dell'impianto LNG nel contesto pordenonese e goriziano o quello previsto per l'impianto di autoproduzione di H₂ a Monfalcone), mentre per nuovi impianti e/o estensioni di impianto, la cui previsione è conseguente agli scenari definiti, in particolare lo Scenario 1, viene valutato un costo proporzionale al numero incrementale di mezzi, tenuto conto di quelle che sono le voci di spesa effettivamente scalabili in rapporto al numero di autobus e di quelle, invece, che costituiscono costi specifici da valutare e stimare nei singoli casi analizzati. Il dettaglio dei costi infrastrutturali previsti si trova nella sezione 9.3. Ciò consente pertanto di disporre di un contesto di programmazione da cui derivare fabbisogni e prospettive di allocazione di risorse future che potranno via via essere rese disponibili (Tabella 28).

Tabella 28. Sintesi costi per autobus e infrastrutture nello Scenario 1, finanziamenti attualmente disponibili per il rinnovo del parco mezzi FVG, e risorse disponibili al netto degli investimenti previsti nello Scenario 1.

PREPM-TPL Scenario 1 Voce Spesa/Finanziamento		Scenario 1	N° mezzi
Costo mezzi diesel	A	29.766.000 €	121
Costo mezzi CNG	B	48.440.000 €	173
Costo mezzi LNG	C	36.900.000 €	123
Costo mezzi BEV	D	87.000.000 €	174
Costo mezzi H2	E	17.500.000 €	25
Costo Totale Mezzi Alternativi Scenario 1	F = somma (B, C, D, E)	189.840.000 €	
Costo Totale Mezzi Scenari 1	G = somma (A, B, C, D, E)	219.606.000 €	

Costo infrastrutture necessarie	INFR	25.657.000 €
Risorse statali totali identificate	$H = I + L$	146.893.868 €
di cui per i soli mezzi	I	127.504.190 €
di cui per la sola infrastruttura	L	19.389.678 €
Risorse regionali (fino al 2030)	M	114.006.400 €
Risorse residue da finanziamenti bus gasolio	$N = M - A$	84.240.400 €
[Risorse – Costi] PREPM-TPL	$H + M - G -$ INFR	15.637.268 €

Lo Scenario 1 prevede la necessità di 219.606.000 € per la sostituzione programmata di mezzi (di cui 29,766,000 € per i soli mezzi diesel). I costi per le infrastrutture necessarie per il rifornimento della flotta CNG/LNG, a batteria e a idrogeno sono stimati in circa 25.657.000 € (secondo le valutazioni e stime riportate in Appendice al paragrafo 9.3). Integrando le risorse statali programmate e le risorse regionali rese disponibili secondo quanto previsto all'articolo 5, comma 15 ter, della legge 23/2021, che in alternativa al recupero, mediante compensazione, del corrispettivo del servizio pagato dalla Regione a sostegno delle spese per il rinnovo degli autobus derivanti dagli obblighi contrattuali, consente che tali importi possono essere utilizzati direttamente dai gestori del servizio di TPL, a copertura delle spese eccedenti gli oneri, a carico dei predetti gestori, per il rinnovo del parco autobus previsto dal contratto di servizio, al fine dell'attuazione del programma operativo di rinnovo evolutivo del parco mezzi TPL (PREPM-TPL), definito in coerenza delle disposizioni comunitarie, nazionali e regionali in materia di riduzione delle emissioni, **risulta soddisfatto, senza necessità di ulteriori risorse, il fabbisogno necessario ad attuare il programma previsto dallo Scenario 1 nel periodo 2021-2030.**

7.2.6 Stima dei fabbisogni energetici correlati allo Scenario 1

Al fine della stima dei fabbisogni energetici correlati allo Scenario 1, si riportano di seguito i profili di consumo energetico dell'intera flotta FVG, cumulativi per le diverse motorizzazioni adottate.

Vengono riportati in Figura 97, Figura 98, Figura 99, Figura 100 e Figura 101 i consumi annui relativi alla flotta di TPL nel FVG, complessivi e disaggregati per tipologia di alimentazione, rispettivamente per contesto extraurbano e urbano, espressi in GWh e in tonnellate di carburante.

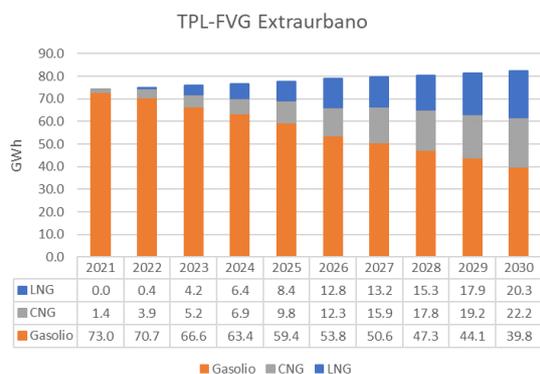


Figura 97. Evoluzione della composizione dei consumi complessivi di carburante (in GWh) per il contesto extraurbano stando al rinnovo del parco mezzi previsto dallo Scenario 1.

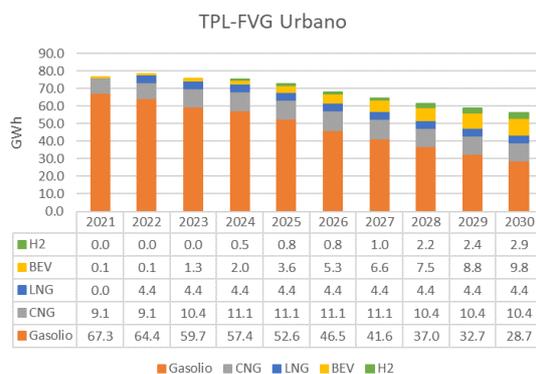


Figura 98. Evoluzione della composizione dei consumi complessivi di carburante (in GWh) per il contesto urbano stando al rinnovo del parco mezzi previsto dallo Scenario 1.

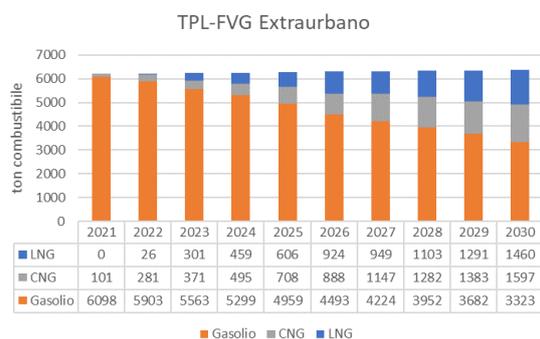


Figura 99. Evoluzione della composizione dei consumi complessivi di carburante (in tonnellate di gasolio e metano) per il contesto extraurbano stando al rinnovo del parco mezzi previsto dallo Scenario 1.

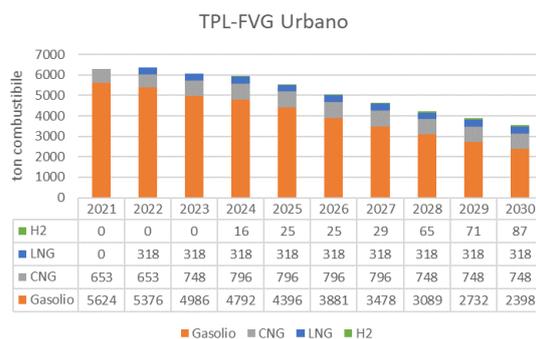


Figura 100. Evoluzione della composizione dei consumi complessivi di carburante (in tonnellate di gasolio, metano e idrogeno) per il contesto extraurbano stando al rinnovo del parco mezzi previsto dallo Scenario 1.

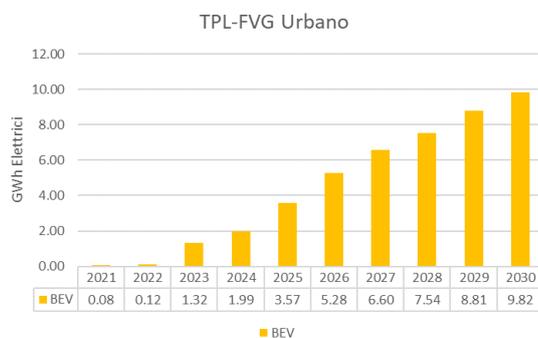


Figura 101. Evoluzione dei consumi complessivi di energia elettrica (in GWh) dei mezzi elettrici a batteria per il contesto extraurbano stando al rinnovo del parco mezzi previsto dallo Scenario 1.

Le Figura 97 e Figura 99, riferite all'ambito extraurbano, mostrano il consumo energetico previsto dallo Scenario 1. Si noti come a causa della leggera minor efficienza delle motorizzazioni LNG/CNG, il consumo cresca negli anni. Nel contesto urbano, invece, Figura 98 e Figura 100 e Figura 101, il consumo energetico cala a causa dell'introduzione di mezzi a batteria e a idrogeno con efficienza molto più alta di quella diesel.

Lo Scenario 1 vede la necessità al 2030, di garantire la fornitura annuale di circa 2.837 t di CNG, circa 1.588 t di LNG, oltre 94 t di idrogeno e circa 9,3 GWh di energia elettrica. Andando a disaggregare ulteriormente i dati è possibile dividere le richieste energetiche tra le due tipologie di servizio:

- extraurbano con la fornitura annuale di circa 1.736 t di CNG, circa 1.308 t di LNG, oltre che 3.315 t di diesel a copertura dei mezzi ancora circolanti al 2030.
- urbano con la fornitura annuale di circa 1.101 t di CNG, circa 280 t di LNG, 94 t di idrogeno, circa 9,3 GWh di energia elettrica, oltre che 2.114 t di diesel a copertura dei mezzi ancora circolanti al 2030.

7.2.7 Stima dei costi operativi per carburante correlati allo Scenario 1

Con riferimento ai costi operativi correlati all'attuazione dello Scenario 1 delineato dal PREPM-TPL si pone particolare attenzione sui possibili riflessi determinati dalla variabilità dei costi delle diverse tipologie di carburante e fonte energetica. Ciò, in particolar modo, tenuto conto dell'ampio orizzonte temporale del Programma, che traguarda l'anno 2030, e della progressiva introduzione, nel tempo sempre più incisiva, di mezzi ad alimentazione mediante carburanti alternativi come l'elettrico e il metano/biometano, o ancora, l'idrogeno, considerato che lo scenario che dal punto di vista energetico risulta in costante mutazione, non ultimo anche dal punto di vista delle politiche di supporto e incentivazione e agevolazione per la velocizzazione della transizione energetica verso determinate tecnologie di alimentazione.

È necessario aggiungere tuttavia che l'azienda TPL-FVG gode di un sistema di detrazione per quanto riguarda il prezzo del gasolio. Stando ai dati storici forniti dall'azienda, il gasolio è stato acquistato ad un prezzo pari a circa il 75% del prezzo intero (si vedano i valori riportati in Tabella 29).

Tabella 29. Confronto fra i prezzi del gasolio (€/litro) comprendenti di accisa e IVA con quelli sottoposti a detrazione per l'azienda TPL-FVG.

anno	Costi carburante [€/lt]		%
	Per TPL FVG (A)	Con IVA e accise comprese (B)	
2018	1,11	1,488290	75%
2019	1,08	1,479520	73%
2020	0,92	1,316710	70%
2021	1,11	1,487030	75%

Pertanto, per il calcolo dei costi operativi relativi al consumo di gasolio si sono posti a decremento del 75% i prezzi riportati in Tabella 30 in Appendice 9.1.

In tale quadro, dal punto di vista dei costi di gestione complessivi connessi dalla realizzazione dei servizi TPL nell'ambito degli obblighi contrattuali del Gestore unico, andrà parimenti considerato il meccanismo di aggiornamento annuale del corrispettivo contrattuale di servizio che la Regione assicura al Gestore TPL, in rapporto all'andamento del tasso medio annuo di inflazione del settore

veda il paragrafo 9.1), e derivanti da previsioni effettuate dai principali enti di monitoraggio energia al mondo (IEA). La riduzione è principalmente attribuibile all'uso in contesto urbano di mezzi a più alta efficienza (elettrico a batteria e poi idrogeno) con conseguente riduzione della quantità di energia usata, oltre che del suo costo, mentre nel contesto extraurbano si sconta una caduta dei costi leggermente meno accelerata della precedente dovuta al maggiore consumo specifico dei mezzi a metano rispetto quelli diesel e quindi alla sola dipendenza dalla riduzione del costo combustibile.

In sintesi, dall'analisi svolta, si derivano due considerazioni di rilievo:

- sia che si consideri un'evoluzione ottimistica che pessimistica, in termini di costi del carburante, della congiuntura economica e del mercato energetico, si può ragionevolmente stimare che l'attuazione dello Scenario 1 del PREPM comporti nel complesso una progressiva riduzione dei costi operativi relativi all'acquisto del carburante;
- data la maggiore efficienza degli autobus elettrici e a idrogeno, in termini di costo-energia necessaria alle produzioni chilometriche di tali sistemi rispetto quelli ad alimentazione tradizionale a gasolio, si può ritenere che il rafforzamento e gli ulteriori sviluppi della transizione energetica della flotta autobus (si veda lo Scenario 2 di cui al seguente paragrafo 0) nella direzione delle motorizzazioni a emissione zero comporterà una ulteriore contrazione dei costi operativi dovuti all'acquisto di carburante/energia.

7.3 Scenario 2

Lo Scenario 2 costituisce riferimento per l'utilizzo di ulteriori risorse che potranno essere rese disponibili dalla programmazione comunitaria, statale e regionale, anche in considerazione dell'opportunità di porre il TPL quale contesto distintivo per l'attuazione di altre azioni, integrative a quelle previste nello Scenario 1, a supporto delle politiche di abbattimento delle emissioni climalteranti da realizzare con l'incremento del rinnovo della flotta di TPL alimentata con tecnologia a bassa o emissione zero.

Le azioni sulle quali indirizzare prioritariamente le risorse di cui sopra sono le seguenti:

1. completamento del rinnovo della flotta autobus urbani con mezzi ad emissione zero a partire dai residui autobus ad alimentazione diesel;
2. rinnovo della flotta TPL extraurbana, nei contesti ad alto valore turistico e/o ambientale, con mezzi ad emissione zero o, quale alternativa, con autobus alimentati con biometano;
3. ulteriore rinnovo della flotta TPL extraurbana, da utilizzarsi nei contesti diversi da quelli di cui al punto 2, con mezzi CNG/LNG preferibilmente alimentati con biometano;
4. ulteriore rinnovo del parco mezzi con conversione di autobus ad alimentazione fossile, a partire da quelli di più recente messa in servizio, mediante *repowering* con sistemi a emissione zero.

7.4 Azioni di accompagnamento e indicazioni per l'attuazione degli Scenari 1 e 2

- a) Al fine di accelerare la transizione energetica verso la decarbonizzazione del sistema di trasporto pubblico, la Regione favorisce l'utilizzo di carburante di origine biogenica, energia elettrica e vettori energetici da fonti rinnovabili, da utilizzarsi per l'alimentazione dei mezzi TPL, anche attraverso la realizzazione di specifici accordi tra i soggetti produttori e distributori di biometano, idrogeno verde ed energia elettrica da fonti rinnovabili, a partire da quelli presenti sul territorio regionale, e il Gestore dei servizi TPL automobilistici di competenza regionale.
- b) Al fine di favorire l'attuazione del PREPM-TPL è attuato un coordinamento con le strutture regionali interessate nell'ambito della formazione degli strumenti di pianificazione e programmazione afferenti il settore energetico.
- c) Al fine di favorire la realizzazione delle infrastrutture di ricarica per i mezzi ad alimentazione alternativa, la Regione promuove specifici accordi tra il Gestore dei servizi TPL automobilistici e i Comuni territorialmente interessati.
- d) Il completamento del rinnovo della flotta autobus urbani con mezzi ad emissione zero può essere correlato anche a specifici interventi finalizzati alla valorizzazione dei contesti regionali ad alto valore turistico ambientale e alla valorizzazione e promozione del contesto territoriale transfrontaliero e dei relativi servizi di trasporto.

8 Ricadute ulteriori

8.1 Impatto sulla salute

La trasformazione energetica in corso sta apportando un cambiamento sistemico nella società sotto tutti gli aspetti, creando una serie di benefici sociali ed economici, tra cui la riduzione dell'inquinamento e la crescita dell'occupazione. L'inquinamento può provocare diversi tipi di malattie (quali, tumori, ictus, etc.). Nonostante i progressi tangibili raggiunti negli ultimi anni, si stima che a livello europeo, un decesso su otto è causato dall'inquinamento.⁸² Vi è pertanto anche una motivazione economica che induce a intervenire contro l'inquinamento, dato che in caso di assenza d'intervento i costi sarebbero enormemente superiori ai costi degli interventi. Ad esempio, si stima che nell'UE l'inquinamento atmosferico costi tra i 330 e i 940 miliardi di euro all'anno in termini di salute e attività economiche⁸³, costi che potrebbero essere investiti per una più energica transizione ecologica in un premiante circolo virtuoso in termini di miglioramento delle condizioni di salute, benessere e qualità della vita. Il Rapporto "Occupazione nel settore energetico"⁸⁴ mostra i dati più recenti relativi all'impatto della transizione verso l'energia pulita sull'occupazione.

La sostituzione dei mezzi diesel con motorizzazioni puramente elettriche (batterie o idrogeno) determina anche ottimi risultati rispetto alla necessità di riduzione del rumore da traffico all'interno delle città, con particolare riferimento al mezzo del trasporto pubblico urbano. I livelli sonori di emissione di un mezzo diesel sono i più rilevanti tra le alternative tecnologiche di alimentazione considerate (gas naturale, batteria o idrogeno) con valori prossimi ai limiti imposti dalla normativa attuale che fissa il rumore massimo emesso dai mezzi a circa 80 dB. Un autobus a metano è generalmente più silenzioso dello stesso diesel, portando l'emissione sonora a circa 5 dB inferiori rispetto quello diesel (essendo le valutazioni in decibel, riferibili alla scala logaritmica, ciò corrisponde ad una riduzione di più della metà dell'intensità sonora del rumore udito). Nel caso di un mezzo elettrico, si ritiene possibile un ulteriore abbattimento della rumorosità, pari al 25% del rumore prodotto da un bus diesel⁸⁵. Un autobus a idrogeno potenzialmente comporta un'emissione di rumore leggermente superiore a quella di un mezzo a batteria a causa dei sistemi ancillari delle celle a combustibile montate a bordo (ventilatori e compressore aria).

8.2 Creazione posti di lavoro

L'attuazione dell'accordo di Parigi potrebbe creare 18 milioni di posti di lavoro aggiuntivi netti entro il 2030⁸⁶ in tutta Europa e offre una nuova prospettiva, poiché l'accelerazione della transizione verde potrebbe aiutare la ripresa economica e sociale. Dal punto di vista dell'UE, la transizione verde avrebbe dovuto creare 1,2 milioni di posti di lavoro aggiuntivi entro il 2030 prima del concretizzarsi del contesto pandemico legato al COVID-19, con l'industria europea dell'idrogeno che potrebbe

⁸² Relazione n. 21/2019 dell'AEA, "Healthy environment, healthy lives"

⁸³ SWD (2013) 531 final.

⁸⁴ V. Czako, Employment in the energy sector – Status Report 2020, JRC Science for policy report.

⁸⁵ Fonte: ENEA. https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2015-2017/mobilita-elettrica/rds_par2015-213.pdf

⁸⁶ European Commission, Employment and Social Developments in Europe 2019 – Sustainable growth for all: choices for the future of Social Europe, Annual Review 2019, June 2019

generare 1 milione di posti di lavoro, per lavoratori altamente qualificati entro il 2030, raggiungendo i 5,4 milioni entro il 2050⁸⁷. Le opportunità di lavoro sarebbero infatti aperte dalla promozione di trasporti ecologici e benefici dal punto di vista dell'impatto sanitario.

Questo, di per sé, contribuirà sia direttamente che indirettamente alla trasformazione dell'occupazione. Tale contesto spingerà Università, Aziende e settori della pubblica istruzione nel contesto del FVG a ripensare ed evolvere i propri percorsi formativi nella direzione di tale svolta "green". Di conseguenza, nei prossimi anni l'Europa, l'Italia e i contesti territoriali regionali, tra cui il Friuli Venezia Giulia, godranno di una nuova generazione qualificata ed esperta, pronta a ricoprire eventualmente le posizioni lavorative offerte dal settore dell'idrogeno, delle batterie e delle tecnologie di transizione e ad utilizzare al meglio, anche nel settore del TPL le opportunità offerte dall'NAHV (North Adriatic Hydrogen Valley).

⁸⁷ European Commission, A Clean Planet for all – A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy, COM (2018) 773 final, Brussels, November 2018

9 Appendice

9.1 Assunzioni costo carburante

Si riportano le assunzioni del PREPM-TPL relative alla stima dei costi operativi legati all'uso dei diversi combustibili di trazione.

Tabella 30. Costi carburanti relativi allo scenario di costi ottimistico (alto) e pessimistico (basso).⁸⁸

		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	EUR/litro	1.32	1.49	1.82	1.84	1.81	1.79	1.76	1.73	1.71	1.68	1.66
	EUR/kWh_Gasolio	0.13	0.15	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17
CNG	EUR/kg	0.15	0.72	1.73	0.73	0.67	0.61	0.55	0.51	0.46	0.42	0.38
	EUR/kWh_Metano	0.01	0.05	0.12	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
LNG	EUR/kg	0.15	0.72	1.73	0.73	0.67	0.61	0.55	0.51	0.46	0.42	0.38
	EUR/kWh_Metano	0.01	0.05	0.12	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
Energia el	EUR/MWh	38.92	125.46	303.95	160.01	145.86	132.96	121.20	110.48	100.71	91.80	83.68
	EUR/kWh_En Elettrica	0.04	0.13	0.30	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08
Idrogeno	EUR/kg	9.49	13.55	22.31	14.61	13.54	12.53	11.58	10.69	9.84	9.03	8.27
	EUR/kWh_Idrogeno	0.28	0.41	0.67	0.44	0.41	0.38	0.35	0.32	0.30	0.27	0.25

		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Gasolio	EUR/litro	1.32	1.49	1.82	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84
	EUR/kWh_Gasolio	0.13	0.15	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
CNG	EUR/kg	0.15	0.72	1.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
	EUR/kWh_Metano	0.01	0.05	0.12	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
LNG	EUR/kg	0.15	0.72	1.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
	EUR/kWh_Metano	0.01	0.05	0.12	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Energia el	EUR/MWh	38.92	125.46	303.95	160.01	160.01	160.01	160.01	160.01	160.01	160.01	160.01
	EUR/kWh_En Elettrica	0.04	0.13	0.30	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Idrogeno	EUR/kg	9.49	13.55	22.31	14.61	14.61	14.61	14.61	14.61	14.61	14.61	14.61
	EUR/kWh_Idrogeno	0.28	0.41	0.67	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44

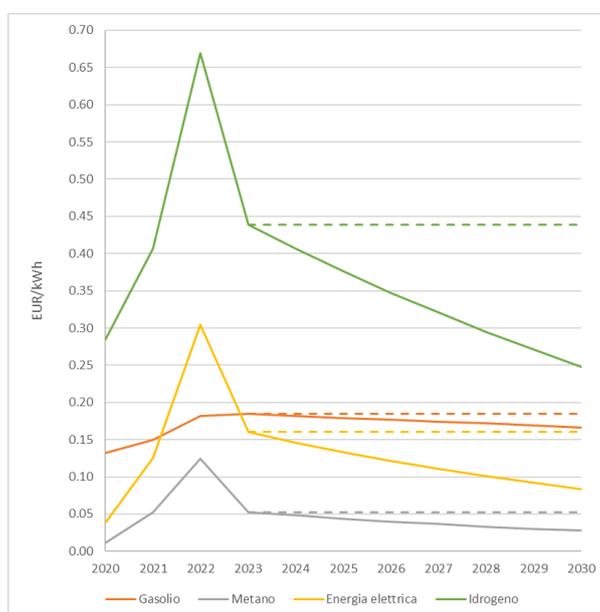


Figura 103. Andamento dei costi dei carburanti utilizzati per il calcolo dei costi operativi della flotta di TPL. Per gli anni compresi tra il 2020 ed il 2022 si riportano i valori storici. Per gli anni 2023-2030 si riportano i valori decrescenti⁸⁹ a definizione

⁸⁸ Assunzione: si considera il mercato elettrico e gas ancora collegati al 2030, in assenza di tempistiche chiare.

⁸⁹ IEA (2022) *World Energy Outlook 2022*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022/executive-summary>. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.

dello scenario di costo ottimistico (linee continue) e valori costanti nel tempo e pari a quelli del 2023 per lo scenario pessimistico (linee tratteggiate).

La previsione del costo carburanti qui proposta, si riferisce alle previsioni pubblicate dalla IEA al 2022. Tali previsioni sono realizzate con due principali assunzioni: non si prevedono modifiche nell'offerta di combustibile nei prossimi anni (raffinerie e produzione non vedranno variazioni di profilo di produzione) mentre la domanda calerà per l'introduzione di veicoli a zero emissione, favorendo nel principio del mercato libero un abbassamento dei costi. Tale assunzione non considera eventuali modifiche alla capacità produttiva. Al fine di una analisi, si basata su referenza di alto spessore, ma conservative si è abbinato allo scenario prospettato dalla IEA anche uno scenario pessimistico con rezzi costanti dei carburanti fino al 2030⁹⁰.

I valori unitari di costo di gasolio di e gas naturale riportati per gli anni 2020-2022 sono stati determinati a partire dai dati storici resi disponibili dal Ministero dello Sviluppo Economico (MISE)⁹¹ e dal Gestore dei Mercati Energetici (GME)⁹². Il prezzo del gasolio comprende anche l'apporto delle accise ed è calcolato tramite la seguente formula:

$$\text{Prezzo} = (\text{Netto} + \text{Accisa}) \times (1 + \text{IVA})$$

9.2 Procedura calcolo emissioni

Incrociando i dati relativi ai consumi specifici medi pesati delle singole consorziate e alle percorrenze annue delle flotte urbane ed extraurbane (sempre delle singole consorziate) è possibile ottenere un quantitativo di litri di gasolio o chilogrammi di gas metano consumati annualmente. Con questi valori si procede poi al calcolo delle emissioni associate a tali consumi e dunque alla configurazione della flotta in servizio nelle diverse annualità di previsione dell'attuazione del PREPM.

La procedura di calcolo tiene conto delle diverse tipologie di emissione tramite dei fattori emissivi. Questi sono dei fattori specifici che esprimono il quantitativo di una tipologia di emissione per unità di combustibile utilizzata. In particolare, le emissioni valutate nell'ambito del PREPM sono i gas serra ("greenhouse gases", GHG), particolato e ossidi di azoto (NOx). I GHG vengono solitamente espressi in grammi di CO₂ equivalente, sulla base del potere di riscaldamento globale ("global warming potential", GWP) relativo alla CO₂ dei gas rientranti in questa categoria. Associando infatti il valore di GWP della CO₂ pari ad uno, è possibile esprimere il GWP di altri gas come multipli di questo. Ad esempio, il metano è stimato avere un GWP circa 28 volte quello dell'anidride carbonica, il che significa che sono necessari 28 g di CO₂ per avere un effetto di serra pari a 1 g di metano. I grammi di CO₂ equivalente esprimono dunque la massa di CO₂ necessaria ad avere un GWP uguale alla massa del GHG in questione. I principali gas definiti come GHG sono metano (CH₄), ossido di diazoto (N₂O), refrigeranti (HFC, CFC). L'importanza di monitorare ed abbattere le emissioni di PM sta nel fatto che queste ledono direttamente la salute umana in quanto i PM 10 (particelle con diametro inferiore a 10 µm) incidono negativamente sulle vie respiratorie, mentre i PM 2.5 (particelle con diametro inferiore a 2,5 µm) hanno dimensioni tali da riuscire ad entrare nel flusso sanguigno. Infine, i gas NO_x derivano

⁹⁰ SNAM and Terna (2022) *Documento di Descrizione degli Scenari*. Available at: https://download.terna.it/terna/Documento_Descrizione_Scenari_2022_8da74044f6ee28d.pdf.

⁹¹ <https://dgsaie.mise.gov.it/prezzi-annuali-carburanti?pid=2>

⁹² <https://www.mercatoelettrico.org/It/download/DatiStoriciGas.aspx>

principalmente dalle alte temperature di combustione e sono riconducibili al fenomeno dello smog e al contempo sono responsabili delle piogge acide.

Unendo i dati relativi ai consumi specifici, alle percorrenze e i fattori emissivi è possibile ricavare una valutazione dello stato attuale delle emissioni, non solo relative della flotta autobus TPL nel suo complesso, ma anche specifiche per ciascuna consorziata e per ciascuna tipologia di servizio offerto.

Per quanto riguarda il calcolo delle emissioni evitate vengono incrociati i valori dei consumi specifici medi pesati per consorziata, percorrenze e fattori emissivi. Tuttavia, è necessario anche tenere conto dell'evoluzione nel tempo che questi parametri potrebbero presentare. Ad esempio, in base alla categoria dello standard sulle emissioni EURO per mezzi a gasolio, si avranno emissioni di particolato e di NOx inferiori da parte dei nuovi mezzi.

Relativamente alle emissioni GHG associate ai mezzi ad alimentazione alternative, si è ritenuto necessario suddividere la stima delle emissioni in due casi, secondo la normativa EN 16258-2012. Al fine di conferire completezza all'analisi, infatti, sono stati definiti due diversi tipi di condizioni al contorno per la stima dei fattori emissivi:

- Condizioni al contorno "tank-to-wheel" (TTW). Letteralmente "dal serbatoio alla ruota". Caso in cui il fattore emissivo considera solamente ciò che il mezzo emette durante il suo utilizzo. Le relative emissioni saranno nulle per mezzi a batteria e idrogeno (celle a combustibile), mentre saranno rilevanti per i motori a combustione interna (gasolio, metano, idrogeno), a meno che non si utilizzi biometano, nel qual caso le emissioni sono considerate di origine biogenica e sono perciò considerate nulle.
- Condizioni al contorno "well-to-wheel" (WTW). Letteralmente "dal pozzo alla ruota" (termine riferito alla natura dei combustibili derivati dall'estrazione del petrolio). Caso in cui vengono considerate tutte le emissioni relative all'impiego di una tipologia di carburante. I fattori emissivi terranno conto della produzione (ed eventuale raffinazione), trasporto, distribuzione e uso finale del combustibile (comprende al suo interno il TTW).

Grazie a questa distinzione si evita di non tenere conto delle emissioni associate all'utilizzo di energia elettrica e idrogeno come combustibili alternativi. Ipotizzando, infatti, di prelevare energia elettrica per la ricarica dei mezzi a batteria da rete elettrica nazionale, si emetteranno per ogni kWh di energia elettrica circa 230 gCO₂, secondo il mix energetico odierno. Questo valore è destinato a scendere a 126 gCO₂/kWh nel 2030 secondo le previsioni di una penetrazione maggiore, all'interno del mix energetico, approvvigionamento di energia elettrica da fonti rinnovabili.

In maniera analoga, la produzione di idrogeno elettrolitico verde prevede (benché minime) emissioni, dovendosi utilizzare energia elettrica.

Ai fini dell'analisi sottesa al PREPM si è considerato che la fonte elettrica per il rifornimento dei mezzi a batteria o per la produzione e gestione dell'idrogeno sia completamente verde (senza emissioni), e che il CNG e LNG siano di natura biogenica (da biomassa) e quindi con emissioni nulle nel ciclo produzione-consumo (emissioni negative vanno valutate sulla base del tipo di biomassa di partenza).

9.3 Assunzioni costo infrastruttura

Rispetto ai costi delle infrastrutture a supporto dell’approvvigionamento energetico si è proceduto all’acquisizione dei dati resi disponibili dal Gestore TPL, sulla base di propri studi di fattibilità o progettualità in corso di sviluppo, e a un confronto dei medesimi con dati e stime di letteratura. Più nello specifico il PREPM, sulla base di tale confronto e valutazione, assume per i costi di impianto giunti già a un definito grado di maturazione progettuale le relative stime prospettate (si veda per esempio il contesto dell’impianto LNG nel contesto pordenonese e goriziano o quello previsto per l’impianto di autoproduzione di H₂ a Monfalcone), mentre per nuovi impianti e/o estensioni di impianto, la cui previsione è conseguente agli scenari definiti, viene stimato un costo proporzionale al numero incrementale di mezzi previsti dal PREPM, distinguendo i costi per gli impianti di rifornimento da quelli invece per la produzione del combustibile a seconda dei specifici impianti analizzati.

Tabella 31. Stima dei costi di realizzazione delle infrastrutture a supporto degli autobus ad alimentazione alternativa previsti nello Scenario 1 del PREPM-TPL, articolati per contesto territoriale di riferimento e consorziata.

contesto territoriale - Consorziata	ex provincia PN ATAP		ex provincia GO APT		ex provincia UD ARRIVA UDINE		ex provincia TS TT	
	nr. bus	stima costo impianto	nr. bus	stima costo impianto	nr. bus	stima costo impianto	nr. bus	stima costo impianto
BEV	6	2.000.000 €	17	463.636 €	15	655.742 €	136	11.287.659 €
LNG	81	1.950.000 €	42	1.960.000 €	0	0	0	0
CNG	0	0	0	0	173	2.500.000 €	0	0
H2	0	0	15	4.500.000 € ⁹³	0	0	10	340.000 € ⁹⁴

Le stime dei costi infrastrutturali per gli impianti necessari all’alimentazione della flotta prevista dallo Scenario 1 del PREPM vengono riportate in Tabella 31. Tabella 31. Stima dei costi di realizzazione delle infrastrutture a supporto degli autobus ad alimentazione alternativa previsti nello Scenario 1 del PREPM-TPL, articolati per contesto territoriale di riferimento e consorziata. Il quadro è articolato per tipologia di impianto di alimentazione e per ambito territoriale di riferimento e della relativa consorziata. I dati resi disponibili dal Gestore TPL, e confermati da dati e stime di letteratura, nonché come sopra evidenziato rielaborati nel quadro di riferimento assunto dal PREPM-TPL, portano alla

⁹³ Costo sistema produzione H2 più stazione di rifornimento.

⁹⁴ Stima riferita ai costi della sola stazione di rifornimento per i 10 mezzi H2 previsti dalla consorziata TT, sulla base dei costi per stazione di rifornimento definiti per l’impianto di produzione e rifornimento H2 di Monfalcone e di una stima forfettaria di costi per la sicurezza e per altre spese. Come evidenziato al paragrafo 3.7 (Autobus a idrogeno. Il contesto FVG-PREPM) la sperimentazione H2 nel contesto territoriale di Trieste, inclusa nel progetto di NAHV approvato sul bando “Horizon”, prevede l’utilizzo di idrogeno verde prodotto dall’impianto di ACEGAS e, ad oggi, il dettaglio della strategia di rifornimento e i dati necessari per la definizione puntuale del progetto di stazione, e dei conseguenti costi, devono essere ancora delineati. La stima pertanto sarà oggetto di aggiornamento sulla base degli elementi che scaturiranno dallo sviluppo delle prossime fasi progettuali.

determinazione di un importo totale da assicurare per la realizzazione delle infrastrutture a supporto della transizione energetica della flotta TPL, prevista dallo Scenario 1, di 25.657.000 €.

Bibliografia

Ajanovic, A., Glatt, A. and Haas, R. (2021) 'Prospects and impediments for hydrogen fuel cell buses', *Energy*, 235, p. 121340. ("Sci-Hub | Prospects and impediments for hydrogen fuel cell buses ...") doi: 10.1016/j.energy.2021.121340.

Coleman, D. *et al.* (2020) 'The value chain of green hydrogen for fuel cell buses – A case study for the Rhine-Main area in Germany', *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(8), pp. 5122–5133. doi: 10.1016/j.ijhydene.2019.06.163.

Element Energy (2021) *Analysis of cost-effective routes for cities moving towards sustainable transport*. Available at: https://h2nodes.eu/images/M21_FINAL_REPORT_ISSUED.pdf.

European Commission (2019) *Expert Group on Clean Bus Deployment D. 2 Procurement and Operation*. Available at: https://transport.ec.europa.eu/document/download/8c3fc434-5359-45e2-bc91-9d5726af0798_en?filename=clean_bus_d25_procurement_and_operation.pdf.

FCHJU (2017a) Agreed definition of availability and reliability for bus depot fueling stations and recommendations for appropriate availability enforcement mechanisms. Available at: http://newbusfuel.eu/wp-content/uploads/2019/03/NewBusFuel_D3.6_Agreed-definition-of-availability-for-bus-depot-fuelling-stations-and-recommendations.pdf.

FCHJU (2017b) *Business cases to support fuel cell bus commercialisation*. Available at: http://newbusfuel.eu/wp-content/uploads/2019/03/NewBusFuel_D3.8_Business-cases-to-support-FC-bus-commercialisation.pdf.

FCHJU (2017c) 'New Bus Refuelling for European Hydrogen Bus Depots: Guidance document on Large Scale Hydrogen Bus Refuelling', *Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking*, (1), pp. 1–38. Available at: http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/NewBusFuel_Press_Release_14102016_Final_version.pdf#.

FCHJU (2017d) 'New Bus Refuelling for European Hydrogen Bus Depots: High-level Techno-Economic Project Summary Report', 56(Ii), pp. 16–19.

FCHJU (2017e) Review of strategies to ensure adequate availability/redundancy of hydrogen refueling stations, Fuel Cell, and Hydrogen Joint Undertaking. Available at: http://newbusfuel.eu/wp-content/uploads/2019/03/NewBusFuel_D3.7_Strategies-to-ensure-adequate-redundancy.pdf.

H2IT (2019) *Piano Nazionale di Sviluppo: Mobilità Idrogeno Italia*. Available at: https://www.h2it.it/wp-content/uploads/2020/03/Piano-Nazionale_Mobilita-Idrogeno_integrale2019.pdf.

Viesi, D., Crema, L. and Testi, M. (2017) 'The Italian hydrogen mobility scenario implementing the European directive on alternative fuels infrastructure (DAFI 2014/94/EU)', *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(44), pp. 27354–27373. doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.08.203.

Zhang, G., Zhang, J. and Xie, T. (2020) 'A solution to renewable hydrogen economy for fuel cell buses – A case study for Zhangjiakou in North China', *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(29), pp. 14603–14613. doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.03.206.

IL PRESIDENTE

IL SEGRETARIO GENERALE