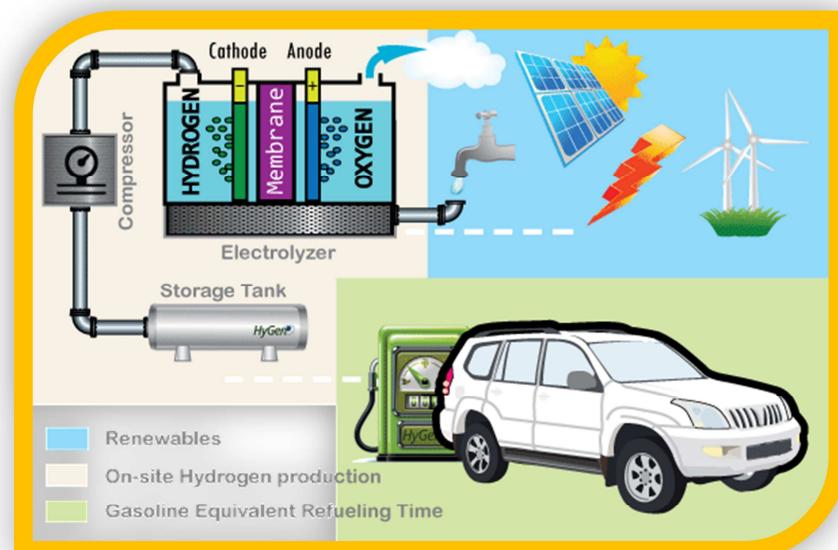
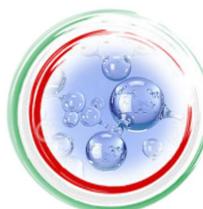


Piano Nazionale di Sviluppo

Mobilità Idrogeno Italia

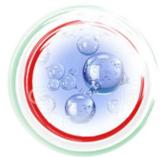


mobilitah2.it



Giugno 2016 – versione sintetica

In ottemperanza alla DIRETTIVA 2014/94/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO
del 22 ottobre 2014
sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi



Coordinatore: Cinque International srl

Guido Mattei <gm@cinque.international>



Direzione Scientifica: Fondazione Bruno Kessl

Luigi Crema <crema@fbk.eu>

Diego Viesi <viesi@fbk.eu>



Co-Autori: Air Liquide, ANCI, ANEV, FAST, Federchimica/Assogastecnici, Hyundai, H2IT, IIT Bolzano, ITM Power, Linde, McPhy Energy, Politecnico di Milano, Gruppo SAPIO, SOL, Tenaris Dalmine



POLITECNICO
DI MILANO

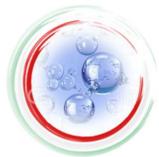


Respirare il futuro



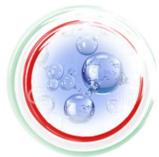
SOL
Technical and Medical Gases





Indice

| | |
|---|-----------|
| Executive summary | 3 |
| 1 Le politiche dell’Unione Europea per il settore dei trasporti..... | 6 |
| 2 Stato tecnologico, motivazioni e ruolo dell’idrogeno nella transizione energetica | 8 |
| 3 Scenari europei per la transizione energetica nel settore dei trasporti | 14 |
| 4 Scenario di introduzione dell’idrogeno nel settore dei trasporti italiano | 18 |
| 4.1 Dimensionamento del parco veicoli FCEV | 19 |
| 4.2 Produzione dell’idrogeno per il settore dei trasporti | 21 |
| 4.3 Integrazione delle rinnovabili elettriche | 23 |
| 4.4 Dimensionamento delle stazioni di rifornimento | 24 |
| 4.5 La prospettiva del consumatore | 27 |
| 4.6 Riduzione delle emissioni di CO ₂ e di altri inquinanti dannosi alla salute umana..... | 28 |
| 4.7 Misure di sostegno al Piano Nazionale di Sviluppo..... | 31 |
| 5 Appendici..... | 34 |
| 5.1 Dimensionamento del parco veicoli FCEV | 34 |
| 5.2 Produzione dell’idrogeno per il settore dei trasporti | 35 |
| 5.3 Dimensionamento delle stazioni di rifornimento | 36 |
| 5.4 La prospettiva del consumatore | 37 |
| 5.5 Considerazioni tecniche ed ambientali riassuntive..... | 39 |
| 5.6 Misure di sostegno al Piano Nazionale di Sviluppo..... | 41 |
| 5.6.1 Misure giuridiche..... | 41 |
| 5.6.2 Misure finanziarie..... | 44 |
| Abbreviazioni, acronimi e unità di misura | 48 |
| Bibliografia | 49 |



Executive summary

Nel settore dei trasporti, sostenere l'**innovazione** e l'**efficienza**, frenare la dipendenza dalle importazioni di petrolio e guidare il passaggio a **fonti energetiche interne e rinnovabili** rappresenta la via da seguire per raggiungere gli obiettivi chiave europei: stimolare la **crescita economica**, aumentare l'**occupazione** e **mitigare i cambiamenti climatici**.

Nella comunicazione della Commissione Europea del 24 gennaio 2013, “Energia pulita per il trasporto, una strategia europea in materia di combustibili alternativi” [2], l'**elettricità**, l'**idrogeno**, i **biocarburanti**, il **gas naturale** e il **gas di petrolio liquefatto (GPL)** sono stati identificati, attualmente, come i **principali combustibili alternativi** con potenzialità di lungo termine in termini di alternativa al petrolio. La **Direttiva 2014/94/UE** [3] stabilisce un quadro comune di misure per la **realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi nell'Unione Europea**, da attuarsi mediante **quadri strategici nazionali** da notificare entro il 18 novembre 2016.

L'utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico si sta diffondendo a livello mondiale, si tratta di uno dei pochi vettori energetici **potenzialmente a zero emissioni**, insieme all'elettricità e ai biocarburanti avanzati. Inoltre, la produzione di idrogeno da energia elettrica e lo stoccaggio in forma gassosa o liquefatta rappresenta una **valida opzione per aumentare la flessibilità del sistema energetico**, consentendo l'integrazione di elevate quote di fonti rinnovabili non programmabili (fotovoltaico, eolico).

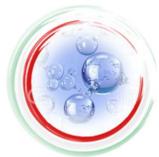
I **veicoli FCEV (Fuel Cell Electric Vehicles)** possono fornire un **servizio di trasporto paragonabile ai veicoli di oggi**, in termini di tempi di rifornimento e autonomia¹. Nonostante i costi ad oggi elevati, è previsto che questi, grazie ad economie di scala, convergano entro il 2030 con quello delle altre tecnologie di alimentazione. A conferma dell'interesse, le **maggiori case automobilistiche mondiali hanno già integrato la tecnologia delle fuel cell ad idrogeno nei loro piani strategici**. Anche nel trasporto pubblico di massa si prospettano interessanti applicazioni: un totale di 84 autobus FCEV sono operativi, o in procinto di esserlo, in 17 città e regioni in 8 paesi europei.

L'utilizzo dell'idrogeno per autotrazione è strategico per l'Italia perché è **il Paese dell'Unione europea che registra più morti premature a causa dell'inquinamento dell'aria**. In Italia nel 2012 59,500 decessi prematuri sono attribuibili al particolato fine (PM 2.5), 3,300 all'ozono (O₃) e 21,600 al biossido di azoto (NO₂) [1].

La definizione degli obiettivi nazionali per lo sviluppo della Mobilità Idrogeno in Italia, elaborati in questo “Piano Nazionale di Sviluppo”, è basata su criteri specifici e su una modellazione analitica di dettaglio estesa fino al 31/12/2050, prendendo in considerazione i seguenti aspetti:

- obiettivi ambientali per la riduzione dei gas serra e delle emissioni inquinanti;
- futura flotta di veicoli alternativi attesi per diversi orizzonti temporali e stima della domanda futura di idrogeno (secondo i principali scenari europei e internazionali di riferimento [4], [5], [6]);

¹ Attualmente, per le autovetture, l'efficienza su strada è di circa 1 kg di idrogeno ogni 100 km percorsi, con autonomie da circa 500 km a 750 km e tempi di ricarica inferiori ai 5 minuti. Per gli autobus le autonomie quotidiane arrivano fino a 450 km, con efficienze di consumo di circa 8-9 kg di H₂ / 100 km, i tempi di rifornimento sono inferiori a 10 minuti.



- produzione dell'idrogeno e aumento della rete di alimentazione (cioè l'implementazione di un'infrastruttura adeguata) per favorire lo sviluppo della mobilità alternativa.

In questo studio viene dimensionata nel dettaglio la sola mobilità ad idrogeno mediante autovetture e autobus. Per quanto riguarda il trasporto merci, ferroviario, marittimo e i carrelli elevatori, date le prospettive di interesse, vengono comunque quantificati in maniera proporzionale ulteriori necessari finanziamenti. Lo scenario di vendita in Italia delle autovetture FCEV pone come punto di partenza un'introduzione di **1,000 autovetture entro il 2020**, per poi raggiungere uno **stock di circa 27,000 al 2025**. Per gli autobus, il punto di partenza è posto nell'introduzione di **100 autobus entro il 2020**, per poi raggiungere uno **stock di circa 1,100 al 2025**.

L'idrogeno può essere prodotto in maniera economicamente attrattiva secondo quattro diverse modalità operative: mediante SMR (Steam Methane Reforming) in impianti centralizzati oppure mediante elettrolisi in impianti centralizzati (con elettricità da rinnovabili) e in impianti on-site (con elettricità da rinnovabili o da rete). La produzione centralizzata di idrogeno da SMR, a basso costo, permetterà di agevolare il periodo di transizione iniziale 2020-2030. Superata questa fase, è previsto di non incrementare ulteriormente la capacità installata di SMR, tutta la nuova produzione di idrogeno avverrà mediante elettrolisi. In tal senso, lo Scenario MobilitàH2IT permette una **rapida transizione** verso una produzione di **idrogeno “green” da elettrolisi**.

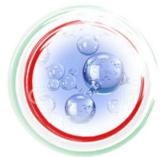
Per soddisfare la domanda è prevista la realizzazione di **20 stazioni di rifornimento per l'idrogeno al 2020** (10 per autovetture e 10 per autobus), portate a **197 al 2025** (141 per autovetture e 56 per autobus). Le stazioni più piccole saranno costruite nelle due fasi iniziali di captive fleet (2020-2022 e 2023-2025), a servizio di piccole flotte di veicoli. Nella prima fase **2020-2022** si prevedono **captive fleets fino a 99-109 autovetture e fino a 10-11 autobus**, con **stazioni** rispettivamente da **50 kg/giorno e 200 kg/giorno**. Nella seconda fase **2023-2025** si prevedono **captive fleets fino a 222-229 autovetture e fino a 29 autobus**, con **stazioni** rispettivamente da **100 kg/giorno e 500 kg/giorno**. La costruzione di piccole stazioni permette il rapido raggiungimento di una copertura minima delle principali arterie di trasporto (TEN-T) e dei principali centri abitati, garantendo il successivo passaggio alla mass transportation. Dopo questa fase iniziale è prevista solamente la costruzione di **stazioni di grande taglia, 500 kg/giorno per le autovetture** (in grado di rifornire **fino a 1169 autovetture/giorno al 2026**) e **1000 kg/giorno per gli autobus** (in grado di rifornire **fino a 60 autobus/giorno al 2026**), economicamente attrattive per gli operatori del settore.

Il costo finale dell'idrogeno alla pompa è stato valutato come somma dei costi di produzione, trasporto e distribuzione. **La competitività del vettore idrogeno si manifesterà in tempi rapidi**, già nella fase iniziale con captive fleets, ancor più nel momento in cui si raggiungerà la maturità commerciale e l'idrogeno sarà distribuito in stazioni di grandi dimensioni.

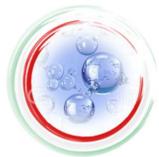
La riuscita dello Scenario MobilitàH2IT è vincolata alla disponibilità sia di **incentivi pubblici UE&IT** (europei e nazionali) che di **investimenti privati e PL** (pubblici locali: regionali, provinciali, comunali). In particolare, sono previsti come necessari **finanziamenti pubblici UE&IT** pari a circa **47 M€ fino al 2020** e circa **419 M€ nel successivo periodo 2021-2025**, di cui si stima il **60%** possa provenire da **fondi comunitari europei** e il **40%** dovrà essere stanziato in **fondi nazionali italiani**.

Numerose fonti di finanziamento europee sono già attive, tra queste le principali sono:

- Horizon 2020: “Trasporti intelligenti, ecosostenibili e integrati”;
- Fondi strutturali e di investimento europei (451 miliardi di euro fino al 2020);
- Strumento di finanziamento rete transeuropea di trasporto TEN-T (24.05 miliardi di euro al 2020);
- Banca Europea per gli Investimenti (BEI).



La partecipazione ai tavoli di lavoro di questa iniziativa e l'interesse manifestato da numerose **aziende italiane** mette le basi per un **forte stimolo all'economia e all'occupazione italiana** per i prossimi anni a venire. L'approvazione di questo Piano Nazionale di Sviluppo pone le basi per rendere il Paese Italia attrattivo e in grado di giocare un ruolo di primo piano a livello europeo, sulla strada della futura mobilità alternativa, nella tutela della salute dei suoi cittadini.



1 Le politiche dell’Unione Europea per il settore dei trasporti

Nel settore dei trasporti, sostenere l'**innovazione** e l'**efficienza**, frenare la dipendenza dalle importazioni di petrolio e guidare il passaggio a **fonti energetiche interne e rinnovabili** rappresenta la via da seguire per raggiungere gli obiettivi chiave europei: stimolare la **crescita economica**, aumentare l'**occupazione** e mitigare i **cambiamenti climatici**.

L’Italia presenta un livello di dipendenza energetica tra i più elevati a livello europeo, 76.9% al 2013. Nel 2012, l’import di petrolio grezzo è stato pari a 68.81 milioni di tonnellate, la **spesa per benzina e diesel** è stata pari a **24.63 miliardi di euro** [5] (Figura 1).

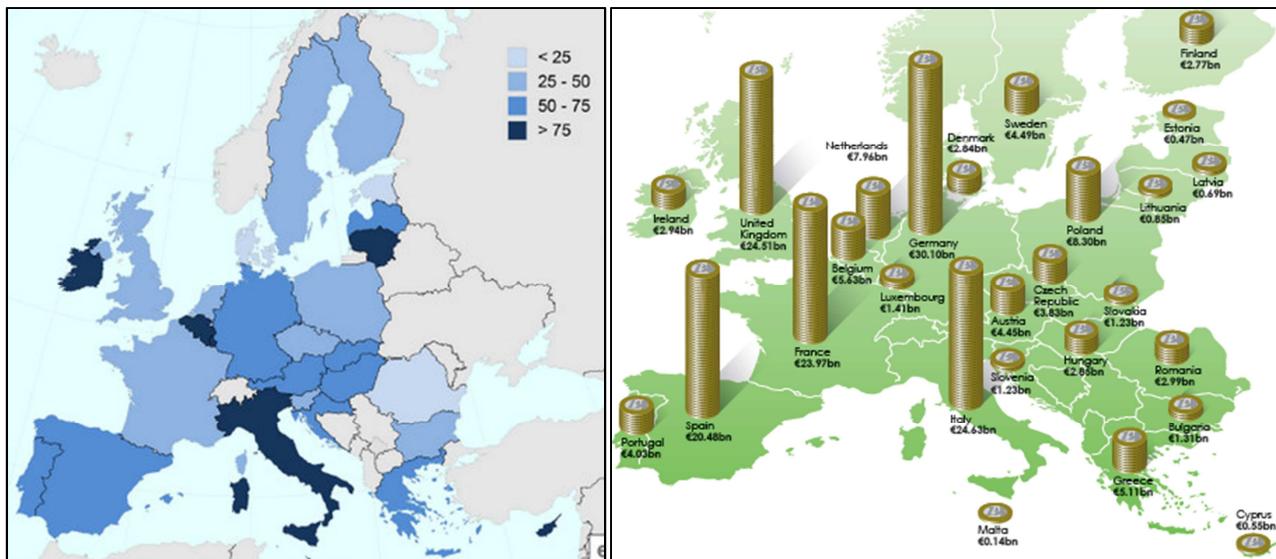


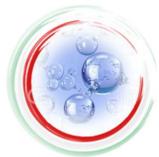
Figura 1: Dipendenza energetica nel 2013 e spesa dei paesi europei in benzina e diesel nel 2012. Fonte: EUROSTAT

Gli obiettivi europei di riduzione dei consumi energetici da combustibili fossili, riduzione delle emissioni di CO₂ e miglioramento della qualità dell’aria e riduzione del rumore possono essere raggiunti mediante **tre azioni chiave**²:

- 1) **evitando i trasporti**, ad esempio grazie ad una migliore pianificazione urbanistica e un aumento significativo del telelavoro;
- 2) **spostando la domanda di trasporto** verso modalità più efficienti, come il trasporto pubblico e le merci su rotaia;
- 3) **migliorando le tecnologie di trasporto**
 - a. aumentando l’efficienza delle tecnologie tradizionali
 - b. **promuovendo la rapida diffusione dei veicoli alternativi** tra cui BEV, FCEV, PHEV e biofuels.

Nelle tecnologie convenzionali, con motore a combustione interna, l’utilizzo di standard di regolamentazione per controllarne le emissioni di CO₂ si è rivelata una misura efficace in termini di costi/benefici. Storicamente, il Giappone e l’Unione Europea hanno guidato la riduzione delle emissioni nel settore dei trasporti, si prevede che questa leadership continui anche in futuro.

² Sulla base dell’IEA ETP Avoid-Shift-Improve concept



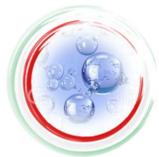
Il Libro bianco della Commissione Europea del 28 marzo 2011, “Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile” [7], ha esortato a ridurre la dipendenza dal petrolio nel settore dei trasporti. È necessario conseguire tale obiettivo attraverso una serie di iniziative strategiche, ivi incluso mediante **l'elaborazione di una strategia sostenibile per i combustibili alternativi e la relativa infrastruttura.**

Sulla base della consultazione delle parti interessate, degli esperti nazionali e delle competenze acquisite, confluite nella comunicazione della Commissione Europea del 24 gennaio 2013, “Energia pulita per il trasporto, una strategia europea in materia di combustibili alternativi” [2], **l'elettricità, l'idrogeno, i biocarburanti, il gas naturale e il gas di petrolio liquefatto (GPL)** sono stati identificati, attualmente, come i principali combustibili alternativi con potenzialità di lungo termine in termini di alternativa al petrolio.

La relazione del gruppo di alto livello CARS 21 del 6 giugno 2012 [8] ha indicato che **la mancanza di un'infrastruttura per i combustibili alternativi** armonizzata a livello dell'Unione Europea **ostacola l'introduzione sul mercato di veicoli** alimentati con combustibili **alternativi** e ne ritarda i benefici per l'ambiente.

La **Direttiva 2014/94/UE** [3] stabilisce un quadro comune di misure per la **realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi nell'Unione Europea**, da attuarsi mediante **quadri strategici nazionali** da notificare **entro il 18 novembre 2016**. I quadri strategici nazionali devono comprendere quantomeno i seguenti elementi:

- una valutazione dello **stato attuale** e degli **sviluppi futuri** del mercato per quanto riguarda i **combustibili alternativi nel settore dei trasporti** e dello **sviluppo dell'infrastruttura per i combustibili alternativi**, considerando, se del caso, la continuità transfrontaliera;
- gli **obiettivi nazionali** per la realizzazione dell'infrastruttura per i combustibili alternativi;
- le **misure necessarie** per assicurare che siano raggiunti gli obiettivi nazionali contenuti nel rispettivo quadro strategico nazionale;
- le **misure** che possono promuovere la realizzazione dell'infrastruttura per i combustibili alternativi nei servizi di **trasporto pubblico**;
- la **designazione degli agglomerati urbani/suburbani**, delle altre zone densamente popolate e delle reti, che, a seconda delle esigenze del mercato, saranno **dotati di punti di ricarica/rifornimento** accessibili al pubblico.



2 Stato tecnologico, motivazioni e ruolo dell'idrogeno nella transizione energetica

Oltre allo storico utilizzo industriale (raffinazione petrolifera, chimica), l'utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico sta cominciando ad emergere. Si tratta di uno dei pochi vettori energetici **potenzialmente a zero emissioni**, insieme all'elettricità e ai biocarburanti avanzati.

La produzione di idrogeno da energia elettrica e lo stoccaggio in forma gassosa o liquefatta rappresenta una **valida opzione per aumentare la flessibilità del sistema energetico**, consentendo l'integrazione di elevate quote di fonti rinnovabili non programmabili (fotovoltaico, eolico). Le tecnologie basate sull'idrogeno sono adatte per **applicazioni di storage di energia elettrica su grande scala**, alla scala dei megawatt, che coprono tempi di stoccaggio da orari a stagionali:

- **Power to power:** l'elettricità viene trasformata in idrogeno tramite elettrolisi, stoccata e ri-elettrificata quando necessario tramite una fuel cell;
- **Power to gas:** l'energia elettrica si trasforma in idrogeno tramite elettrolisi, esso viene quindi miscelato nella rete del gas naturale o trasformato in metano sintetico;
- **Power to fuel:** l'elettricità viene trasformata in idrogeno utilizzato come combustibile per FCEV nel settore dei trasporti;
- **Power to feedstock:** l'energia elettrica si trasforma in idrogeno utilizzato direttamente come materia prima, ad esempio nell'industria della raffinazione o nell'industria chimica.

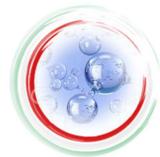
In un recente studio di ENEA [9], è stato analizzato uno scenario tipo di evoluzione delle fonti rinnovabili elettriche in Italia e delle conseguenze tecnico-economiche del futuro sistema di generazione elettrica sulla base degli obiettivi prefissati a livello europeo e nazionale. Lo Scenario ENEA è riassunto in Tabella 1.

Tabella 1: Scenario ENEA di evoluzione delle fonti rinnovabili elettriche in Italia

| | 2012 | 2020 | 2030 | 2050 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Consumi (TWh/anno) | 328 | 367 | 415 | 420 |
| Quota rinnovabile (%) | 28.4 | 35.4 | 52 | 85 |
| Energia da FER programmabili (TWh) | 60.7 | 79.1 | 91.5 | 117 |
| Energia da FER non programmabili (TWh) | 32.3 | 50.9 | 124.5 | 240 |
| Rapporto Produzione non programmabile/Consumo (%) | 9.85 | 13.86 | 30.0 | 57.14 |
| Potenza eolica (GW) | 8 | 12.1 | 20 | 25 |
| Potenza fotovoltaica (GW) | 16.6 | 23.7 | 70.2 | 152.3 |
| Rateo “massimo” FER non programmabili ^a | 0.77 | 0.92 | 2.12 | 3.93 |

^a definito come rapporto fra “Capacità FER non programmabili” e “Consumo a mezzogiorno nel giorno di minimo carico”

Dall'analisi del “rateo” fra capacità installata e consumo emerge che, a partire dal 2020 assumerà importanza l'incremento dell'**accumulo elettrico**, che **diverrà essenziale** a partire dal 2030 **per evitare**



situazioni generalizzate di sovraccapacità. Le nuove FER che verranno introdotte a partire già dal breve/medio termine ma soprattutto nel lungo termine dovranno possedere sempre maggiori caratteristiche di dispacciabilità, tramite propri sistemi di accumulo, in questo modo diverranno “più programmabili”.

Il trasporto su strada è un grande emettitore di anidride carbonica. Oltre ad evitare la domanda di trasporto su strada e incentivare il passaggio a modi di trasporto più efficienti, come il trasporto di passeggeri e merci su rotaia, una sostanziale decarbonizzazione del settore dei trasporti su strada può essere ottenuta:

- 1) aumentando la quota di uso diretto di energia elettrica a basse emissioni in veicoli elettrici a batteria (BEVs) e veicoli elettrici ibridi plug-in (PHEVs);
- 2) aumentando in modo significativo la quota di biocarburanti sostenibili, in combinazione con motori ad alta efficienza ibridi a combustione interna (ICEs) e PHEVs;
- 3) utilizzando FCEVs veicoli elettrici alimentati da idrogeno prodotto a basso tenore di carbonio.

Tutte e tre le opzioni possono contribuire in modo sostanziale alla riduzione delle emissioni (Figura 2), ma devono superare diverse barriere.

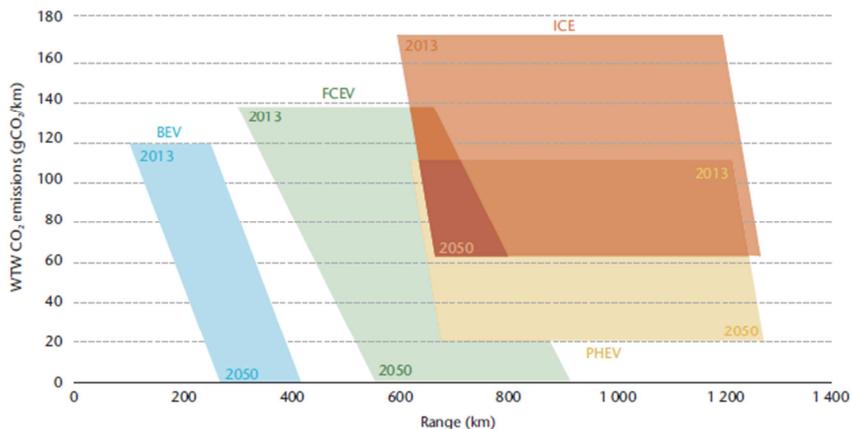
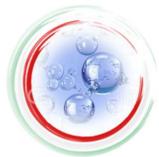


Figura 2: Emissioni dal pozzo alla ruota (well-to-wheel, WTW) vs autonomia per diverse opzioni tecnologiche di mobilità

I veicoli BEVs possono attingere da una produzione di energia elettrica e da un'infrastruttura di trasporto e distribuzione (T&D) già esistenti, nonché fare affidamento sul fatto che il loro impatto in termini di emissioni di CO₂ sarebbe ridotto dalla decarbonizzazione già in atto nel settore elettrico. Eppure, le batterie riscontrano un serio compromesso tra capacità e peso, nonché l'incertezza sull'autonomia e i lunghi tempi di ricarica sono grandi preoccupazioni per l'accettabilità dell'utente finale. Nel caso dei biocarburanti, la produzione solleva dubbi per quanto riguarda la sostenibilità e la sottrazione dal settore alimentare, in particolare tenendo conto che una considerevole quantità di biocarburanti saranno necessari per decarbonizzare il trasporto di merci su lungo raggio (su strada, aerei e marittimo).

I veicoli FCEV possono fornire un servizio di trasporto paragonabile ai veicoli di oggi e, allo stesso tempo, garantire ambiziosi obiettivi di indipendenza energetica e sicurezza climatica. Qui, la sfida è quella di costruire una nuova capacità di produzione di idrogeno, T&D e la rete di vendita al dettaglio.

Le performance di stoccaggio dell'idrogeno sono molto migliori rispetto a quelle delle batterie elettriche (Figura 3). È possibile immagazzinare 6 kg di idrogeno (circa 200 kWh) compresso a 700 bar in un serbatoio dal peso complessivo di 125 kg e dal volume di 260 litri, per immagazzinare metà di quest'energia (100



kWh) in batterie elettriche agli ioni di litio occorrono 830 kg di peso e 670 litri di volume. Un serbatoio di 260 litri può rientrare perfettamente nel volume, necessariamente ridotto, di un veicolo, offrendo un'autonomia di 600 km, comparabile con quella offerta dai veicoli a benzina e chiaramente superiore alle ridotte autonomie dei veicoli a batteria BEVs attualmente sul mercato. Da ultimo, e diversamente dalle batterie, le performance di stoccaggio di un serbatoio di idrogeno non si deteriorano con il numero di cariche e scariche o con l'esposizione a temperature estreme.

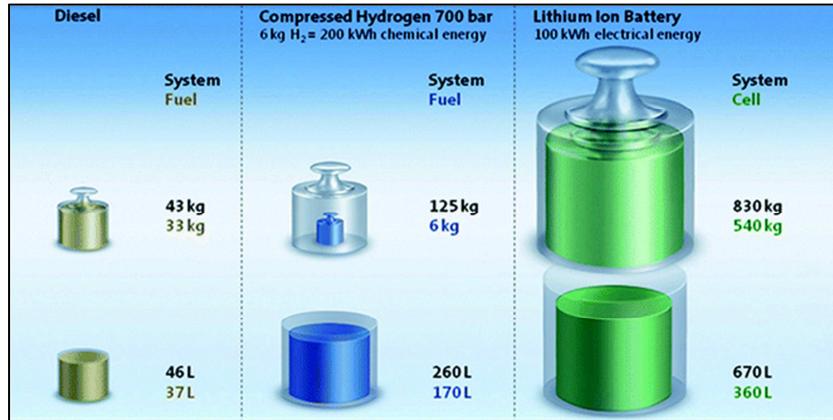


Figura 3: La sfida dello stoccaggio energetico per la mobilità

Attualmente circa 540 FCEVs (autovetture e autobus) sono in attività come vettura pilota in tutto il mondo, in particolare in Europa (192), Stati Uniti, Giappone, Corea del Sud [4]. I veicoli FCEVs sono essenzialmente veicoli elettrici che utilizzano idrogeno immagazzinato in un serbatoio pressurizzato e una cella a combustibile per la produzione di energia a bordo. I veicoli FCEVs sono anche auto ibride, l'energia di frenata viene recuperata e accumulata in una batteria. L'alimentazione elettrica della batteria viene usata per ridurre la domanda di picco della cella a combustibile in accelerazione e per ottimizzare l'efficienza operativa. I veicoli FCEVs sono usualmente riforniti con idrogeno gassoso a pressioni tra 35 MPa e 70 MPa. **Attualmente, per le autovetture, l'efficienza su strada (fuel economy) è di circa 1 kg di idrogeno ogni 100 km percorsi, con autonomie da circa 500 km a 750 km e tempi di ricarica inferiori ai 5 minuti.** Nonostante i costi delle autovetture FCEV sono ad oggi elevati³, **il costo è previsto convergere entro il 2030 con quello delle altre tecnologie di alimentazione**, grazie ad economie di scala (Figura 4, [10]).

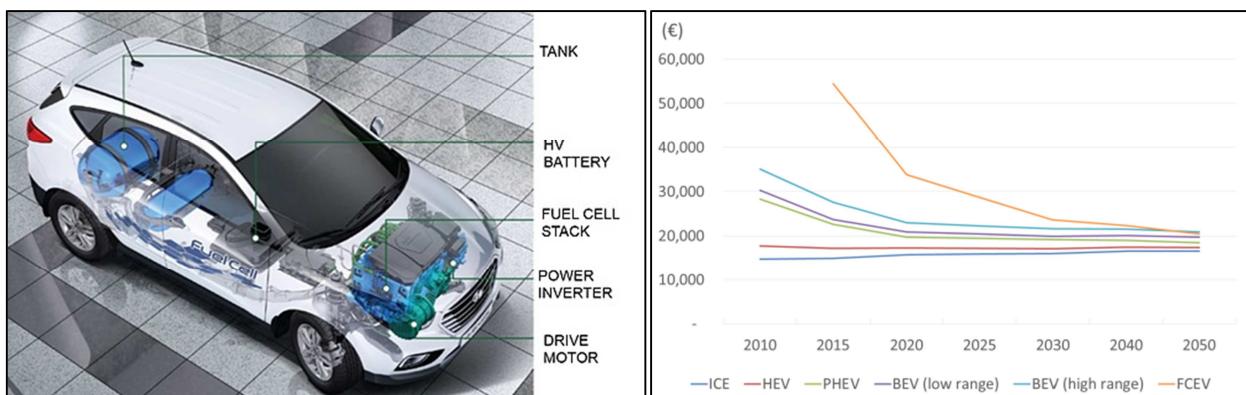


Figura 4: Componenti di un'auto FCEV e previsioni di costo delle autovetture per tecnologia di alimentazione in Europa

³ I prezzi annunciati fino ad oggi sono stati fissati, per le autovetture, a circa 60,000 euro.



A conferma dell'interesse nella tecnologia FCEV, **le maggiori case automobilistiche mondiali hanno già integrato la tecnologia delle fuel cell ad idrogeno nei loro piani strategici.** La maggior parte di questi costruttori hanno iniziato ad investire in ricerca e sviluppo negli ultimi vent'anni, dai primi prototipi si è passati rapidamente, negli ultimissimi anni, alla produzione su scala commerciale. In particolare meritano attenzione i costruttori asiatici, Honda, Hyundai, Toyota.

Varie sperimentazioni hanno coinvolto anche il **trasporto di massa**, sin dai primi anni '90. **Negli ultimi 15 anni, in Europa, sono stati operativi autobus FCEV su circa 8 milioni di km, dimostrando che la tecnologia funziona, è flessibile, operativa e sicura.** Un totale di 84 autobus FCEV sono operativi, o in procinto di esserlo, in 17 città e regioni in 8 paesi europei. Le **autonomie quotidiane** arrivano fino a **450 km**, con **efficienze di consumo di circa 8-9 kg di H₂ / 100 km**, i **tempi di rifornimento** sono **inferiori a 10 minuti**. Gli autobus FCEV sono in grado di raggiungere lo stesso chilometraggio quotidiano degli autobus diesel convenzionali, hanno piena flessibilità di rotta e non richiedono alcuna infrastruttura lungo il percorso. La piattaforma europea "Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking" sta attivamente promuovendo e finanziando diversi progetti, da 10 fino a più di 20 autobus FCEV per località. I futuri costi d'acquisto degli autobus FCEV dipenderanno dalla rapidità nel raggiungere effetti di scala e dal cammino tecnologico seguito. In un percorso in grado di cogliere sinergie di tecnologia con il mercato FCEV automobilistico (Automotive FC), **i costi d'acquisto e i TCO (Total Cost of Ownership) potrebbero essere pressoché alla pari con la tecnologia diesel ibrida entro il prossimo decennio [6]** (Figura 5).

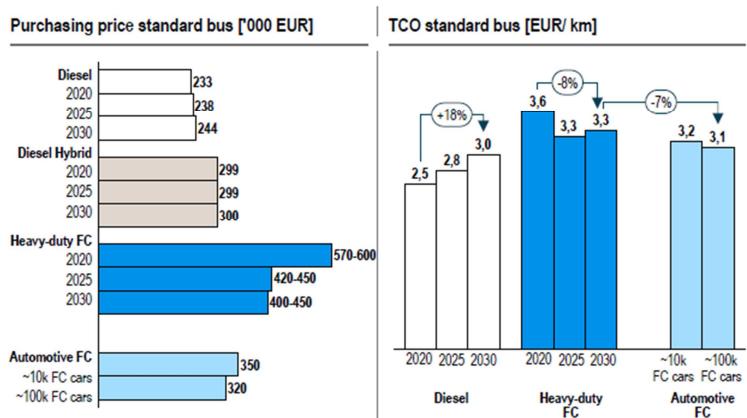
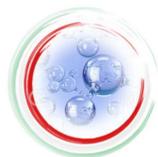


Figura 5: Costo d'acquisto e TCO degli autobus per tecnologia di alimentazione in Europa

Oltre alle autovetture e agli autobus, negli ultimi anni sperimentazioni di successo hanno coinvolto anche il **trasporto merci** (Renault Trucks e poste francesi), il **trasporto ferroviario** (Alstom), il **trasporto navale** (vaporetto "Hepic" a Venezia), i **carrelli elevatori** (già più di 10 000 unità al mondo).



Figura 6: Esempi di mobilità ad idrogeno: trasporto merci, trasporto navale, carrelli elevatori



Esistono varie tecnologie in grado di separare l'idrogeno dagli altri elementi chimici a cui è naturalmente associato. Il valore di queste tecnologie deve essere valutato tenendo conto di almeno 5 criteri: (1) maturità, (2) efficienza energetica, (3) competitività economica, (4) emissioni di gas serra, (5) disponibilità locale dell'energia primaria. L'idrogeno può essere prodotto da gas naturale mediante SMR (Steam Methane Reforming), dal carbone tramite gassificazione del carbone e reforming, dalle biomasse sempre mediante gassificazione e reforming e infine da energia elettrica (elettrolisi). Attualmente, più del 95% dell'idrogeno viene prodotto da fonti fossili.

Le stazioni di rifornimento di idrogeno possono essere alimentate in due diversi modi:

- 1) **Produzione di idrogeno on-site direttamente nella stazione di rifornimento;**
- 2) **Produzione di idrogeno in impianti centralizzati e trasporto alla stazione di rifornimento.**

Sia nella produzione on-site che nella produzione centralizzata è possibile l'utilizzo di elettrolizzatori o steam methane reformers (SMR). Ogni approccio ha i suoi vantaggi e compromessi. Mentre la produzione centralizzata di idrogeno offre economie di scala per minimizzare il costo di generazione dell'idrogeno, la necessità di distribuire l'idrogeno comporta costi di trasporto. Per la generazione di idrogeno decentralizzata è vero esattamente il contrario. Trovare la configurazione ottimale richiede un'analisi dettagliata che tenga conto della distribuzione geografica delle risorse locali per la produzione di idrogeno, generazione di idrogeno e infrastrutture per il trasporto esistenti, domanda di idrogeno prevista presso la stazione di rifornimento, distanza tra il luogo di produzione di idrogeno e la domanda di idrogeno.

In una prospettiva di incremento della produzione elettrica mediante fonti rinnovabili, appare strategico localizzare la produzione di idrogeno da elettrolisi in prossimità dei siti di produzione da RES (sia in modalità on-site che centralizzata), sfruttandone la produzione in surplus. Questi impianti, dotati di propri sistemi di accumulo, avranno maggiori caratteristiche di dispacciabilità, le fonti rinnovabili diventeranno “più programmabili”.

Garantire una densità minima di **stazioni di rifornimento di idrogeno** è un prerequisito fondamentale per raggiungere **l'interesse dei consumatori** e garantire un ampio **mercato per i veicoli FCEV**. Attualmente è stimato che circa 300 stazioni sono già state realizzate, principalmente dalle aziende Air Liquide, Linde, Air Products (partner italiano è il Gruppo SAPIO), H₂ Logic, particolarmente in Germania, Giappone, Stati Uniti (California) e in Nord Europa (Danimarca e Olanda) negli ultimi dieci anni [11]. Sia in Germania che in Giappone ci sono piani per costruire varie decine di nuove stazioni di rifornimento di idrogeno nei prossimi mesi, in modo da completare l'esistente rete.

Le caratteristiche progettuali di una stazione di rifornimento di idrogeno sono determinate dalla domanda giornaliera di idrogeno, dalla modalità di stoccaggio dell'idrogeno a bordo dei veicoli (ad esempio la pressione a 350 bar o 700 bar), e il modo in cui l'idrogeno viene consegnato o prodotto in stazione.

Progettare e realizzare una stazione implica non trascurabili rischi finanziari, principalmente legati al ritmo di diffusione del mercato FCEV e la conseguente domanda di idrogeno. Il **rischio di investimento** associato con lo sviluppo delle stazioni di rifornimento è dovuto principalmente all'elevato investimento di capitale e ai costi operativi, nonché il sottoutilizzo degli impianti durante la prima fase di sviluppo del mercato FCEV, che può portare a un flusso di cassa negativo nei primi 10-15 anni (Figura 7).

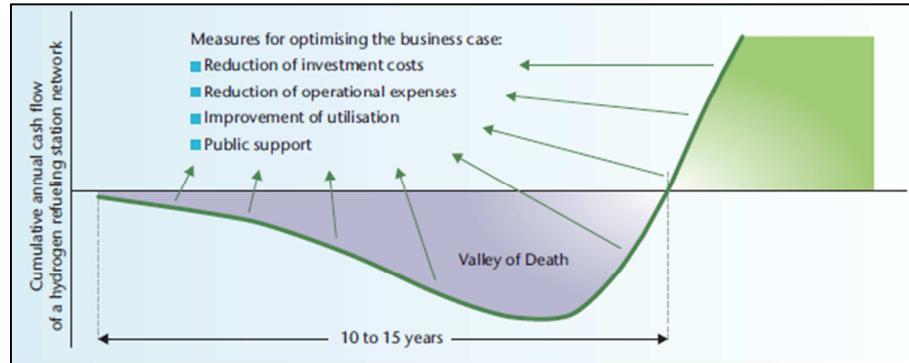
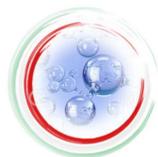


Figura 7: Flusso di cassa delle stazioni di rifornimento nelle prime fasi di sviluppo del mercato FCEV

Questa lunga "valle della morte" può essere minimizzata riducendo i costi di capitale e di esercizio e massimizzando l'utilizzo della risorsa. **Per coprire il periodo di flusso di cassa negativo, il sostegno pubblico è necessario durante la fase di introduzione sul mercato dei veicoli FCEV.**

Nella progettazione delle stazioni di rifornimento dell'idrogeno è auspicabile l'armonizzazione delle norme europee. Senza inficiare la sicurezza, i costi possono diminuire, anche considerevolmente, se si riducono le prescrizioni normative. Infine, sarà fondamentale garantire snellezza nelle pratiche autorizzative, evitando che tempi burocratici lunghi possano scoraggiare gli operatori del settore e rallentare la transizione verso una mobilità sostenibile.

Approfondimento: IL PROGETTO H2 ALTO ADIGE

In Italia spicca il progetto H2 Alto Adige. Produrre idrogeno, ovvero "carburante made in Alto Adige" generato tramite energie rinnovabili, stoccarlo, rifornire le silenziose vetture elettriche a emissioni zero per raggiungere una graduale indipendenza energetica, questa è l'idea alla base del progetto H2 di Bolzano. L'Alto Adige, nel 2006, ha deciso di perseguire questo importante obiettivo, attraverso una stretta collaborazione con l'Autostrada del Brennero SpA e grazie al sostegno del FESR, il Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale. L'impianto di produzione di Bolzano è considerato uno dei più grandi e innovativi a livello mondiale. I tre elettrolizzatori modulari sono in grado di produrre fino a 345 kg/giorno. L'idrogeno compresso e stoccato sotto forma gassosa attualmente può rifornire fino a 15 autobus urbani (con tratte giornaliere di 200-250 km) o fino a 700 vetture. Contemporaneamente alla messa in servizio del centro idrogeno sono stati avviati i progetti europei HYFIVE e CHIC.



Figura 8: La stazione idrogeno di Bolzano

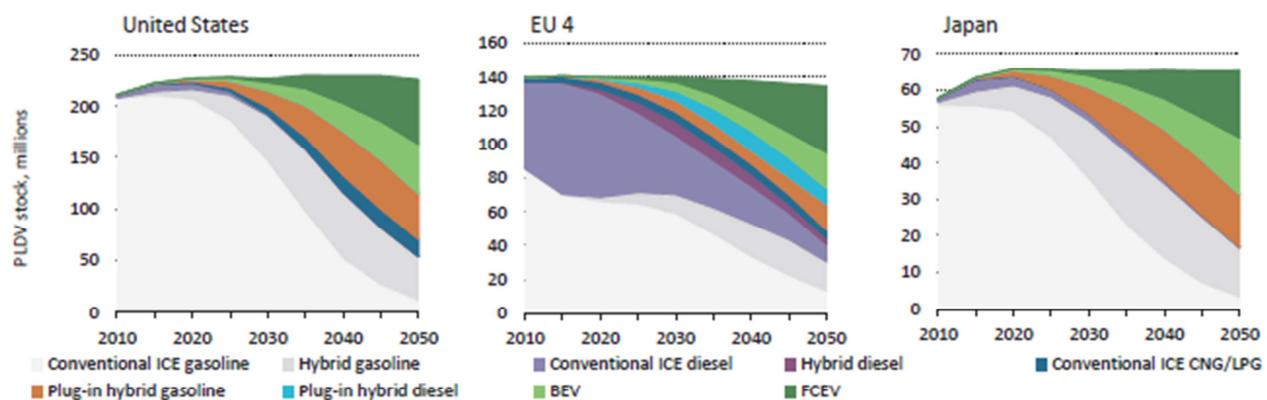


3 Scenari europei per la transizione energetica nel settore dei trasporti

Numerosi studi hanno recentemente analizzato possibili scenari di transizione energetica nel settore dei trasporti, con estensioni temporali fino al 2050. Questi scenari esplorano gli effetti sul consumo di energia, le emissioni di CO₂ e di altri inquinanti, i costi, i benefici economici e occupazionali legati all'introduzione dell'idrogeno nel settore dei trasporti. Con la diffusione su vasta scala delle tecnologie dell'idrogeno nel settore dei trasporti, le barriere economiche legate alla creazione di infrastrutture sono ridotte se combinate con la rapida adozione della tecnologia, una maggiore penetrazione del mercato e un'elevata domanda di idrogeno.

Partendo dal **settore autovetture**, nel “Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells” [4], pubblicato dall'IEA nel Giugno 2015, in una variante dell'ETP 2DS, l'ETP 2DS high H₂, viene presentato uno scenario di introduzione delle autovetture FCEV fino al 2050 (Figura 9). Per quanto riguarda le autovetture FCEV, l'IEA prevede per i tre principali mercati, Stati Uniti, EU4 (Francia, Germania, Regno Unito, Italia) e Giappone i seguenti target commerciali:

- 2020: saranno in circolazione circa 30,000 FCEVs;
- 2025: le vendite annue raggiungono i 400,000 FCEVs;
- 2030: le vendite cumulate raggiungono gli 8 milioni di FCEVs (2,3 milioni di vendite annue);
- 2050: la quota di FCEVs sul totale delle vendite di autovetture è di circa il 30% (25% lo share sullo stock complessivo dei veicoli in circolazione), la frazione di veicoli convenzionali ICE e ibridi senza la possibilità di inserimento nella rete elettrica dovrà scendere a circa il 30 % del parco veicoli.



Note: LPG = liquefied petroleum gas.

Figura 9: Stock delle autovetture per tecnologia negli Stati Uniti, EU4 e Giappone nello scenario IEA 2DS high H₂ fino al 2050

Per comprendere gli impatti macro-economici della transizione verso una mobilità alternativa, nell'arco di tempo 2010-2050, il Report “Fuelling Europe's future. How auto innovation leads to EU jobs” [5] ha sviluppato e dettagliatamente analizzato cinque scenari di evoluzione tecnologica. Tali Scenari sono riassunti in Tabella 2.



Tabella 2: Scenari di evoluzione tecnologica riportati nel report “Fuelling Europe's future. How auto innovation leads to EU jobs”

| Nome Scenario | Descrizione |
|----------------------------------|---|
| Reference Scenario (REF) | Le emissioni di CO ₂ delle nuove vendite di autoveicoli in Europa rimangano agli attuali livelli di 135 g/km, la corrente suddivisione tra veicoli diesel e benzina rimane invariata e nessun ulteriore tecnologia viene introdotta per migliorare l'efficienza. |
| Current Policy Initiatives (CPI) | Raggiungimento dell'obiettivo proposto alle autovetture di 95 g/km nel 2020 e ai furgoni di 147 g/km nel 2020. Nessun ulteriore obiettivo politico viene fissato dopo il 2020, ci saranno comunque alcuni ulteriori progressi nella riduzione del consumo di carburante, guidati dalla preoccupazione dei consumatori per le emissioni di CO ₂ , dall'incremento nel prezzo del carburante e dal proseguimento nell'esistente sviluppo tecnologico (tasso di miglioramento inferiore all'1% all'anno dopo il 2020). L'introduzione di veicoli HEV nel nuovo parco auto raggiunge il 5% nel 2020, il 12% nel 2030 e il 22% entro il 2050. |
| Scenario Tech1 | Lo scenario si propone di esplorare l'impatto di un'introduzione ambiziosa di veicoli HEV. Si presuppone una penetrazione di mercato per gli HEV del 10% sulle nuove vendite di veicoli nel 2020, del 50% nel 2030 e del 96% nel 2050. |
| Scenario Tech2 | Questo scenario presuppone una penetrazione di mercato dei veicoli HEV del 20% nelle vendite di nuovi veicoli nel 2020, 42% nel 2030, 10% nel 2050. I veicoli elettrici avanzati (PHEV, BEV, FCEV) vengono introdotti al 2.5% nel 2020, 37% nel 2030, 90% nel 2050. |
| Scenario Tech3 | Questo scenario presuppone un ritmo più rapido di introduzione dei veicoli elettrici avanzati (PHEV, BEV, FCEV), possibile con apposite misure di sostegno. Questo scenario presuppone una penetrazione di mercato dei veicoli elettrici avanzati del 9.5% nel 2020, 80% nel 2030 e 100% nel 2050. I veicoli HEV raggiungono, nelle vendite di nuovi veicoli, il 20% nel 2020, il 15% nel 2030, il 0% nel 2050. |

Le innovazioni indagate negli scenari **Tech1, Tech2 e Tech3** hanno portato alle seguenti conclusioni:

- Le **emissioni dirette di CO₂** delle auto e dei furgoni vengono **ridotte tra il 64 % e il 93 % entro il 2050**, contribuendo al raggiungimento dell'obiettivo UE di riduzione delle emissioni complessive dei trasporti del 60 %.
- Le **emissioni degli inquinanti dannosi alla salute sono drasticamente tagliate, l'NOx di oltre l'85 %, il particolato fine di oltre il 70 %.**
- I consumatori selezionano i loro veicoli sulla base di un'ampia gamma di fattori, di cui il costo del capitale è solo un elemento. Nel calcolo dell'impatto complessivo sugli automobilisti legato al miglioramento nell'efficienza dei veicoli, è anche utile guardare al "Costo Totale di Proprietà" (Total Cost of Ownership, TCO), che include i costi del carburante e la manutenzione. Utilizzando un tasso di sconto del 5% i TCO delle diverse tecnologie automobilistiche sono attesi convergere verso il 2020 (ad eccezione dei FCEV), con il TCO di tutti i propulsori inferiore a quello del 2010, nonostante la previsione di un significativo (circa +30%) aumento del prezzo dei combustibili (Figura 10). **I veicoli FCEV avvicinano i TCO delle altre tecnologie a partire dal 2030.**

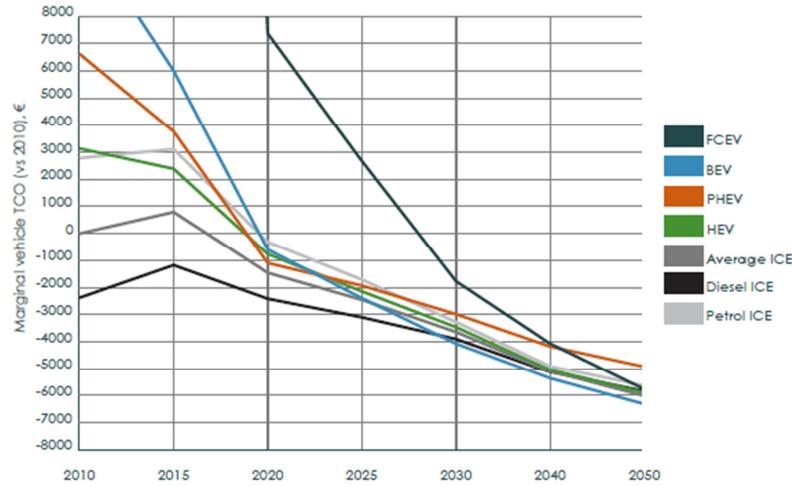
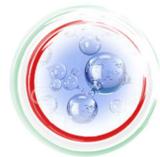
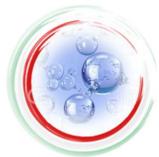


Figura 10: TCO delle diverse tecnologie automobilistiche (considerando un tasso di sconto del 5 %)

- Il **passaggio a combustibili alternativi quali l'elettricità e l'idrogeno**, può avere un impatto positivo sull'economia europea. In primo luogo, porta a una **maggior efficienza nei veicoli**. Ancora più importante, la **produzione di elettricità e idrogeno con sempre maggior prevalenza una filiera nazionale entro il 2050**.
- Riducendo la spesa alla pompa dei cittadini dell'UE e spostandola verso altre aree dell'economia con maggiore intensità di manodopera si determina la **creazione di occupazione**.
- Gli **investimenti nelle infrastrutture per il rifornimento** hanno un impatto positivo sul PIL, perché **stimolano l'industria nazionale e richiedono un alto input di lavoro nella catena di fornitura**.
- L'Europa eccelle nella tecnologia per il settore automobilistico, **un aumento della spesa per veicoli a basse emissioni di carbonio creerà lavoro**. Tra 660,000 e 1.1 milioni di nuovi posti di lavoro (al netto dell'intera forza lavoro) potranno essere generati entro il 2030. Nel 2050, questi valori salgono tra 1.9 e 2.3 milioni di nuovi posti di lavoro. La transizione verso veicoli a basse emissioni di carbonio genererà la domanda di nuove competenze nella forza lavoro. L'Europa dovrà sviluppare gli adeguati percorsi formativi per far crescere le necessarie competenze nella sua futura forza lavoro.
- L'analisi suggerisce anche che la tassazione della maggior attività economica risultante da un passaggio ai veicoli a basse emissioni in gran parte compensa le entrate fiscali perse dalla vendita dei combustibili convenzionali (benzina e diesel).

Passando al **settore autobus**, a livello europeo è prevista l'attuazione di progetti dimostrativi su larga scala, con un totale da circa 300 a 400 autobus FCEV in Europa entro il 2020 [19]. Attualmente 45 autorità dei trasporti pubblici e gli operatori di autobus di 35 città da 12 paesi europei partecipano all'iniziativa di commercializzazione denominata "*Coalizione europea degli autobus FCEV*". I livelli di implementazione necessari per la commercializzazione possono essere raggiunti in uno scenario di ramp-up europea. Questo scenario considera i piani di distribuzione degli operatori della Coalizione, nonché degli operatori che ancora devono essere mobilitati. Il quadro di questo scenario è un volume totale cumulativo assunto per 8,000-10,000 autobus FCEV necessari fino al 2025.



Alcune importanti iniziative europee hanno già iniziato a sostenere l'introduzione dell'idrogeno come carburante per il trasporto attraverso lo sviluppo e l'attuazione di una strategia nazionale. Queste sono:

- Regno Unito: "UK H2 Mobility" (www.ukh2mobility.co.uk);
- Francia: "Mobilité hydrogène France" (www.afhypac.org) (Figura 11);
- Scandinavia: "Scandinavian Hydrogen Highway Partnership" (www.scandinavianhydrogen.org);
- Germania: "H2 Mobility" (h2-mobility.de).

Iniziative simili sono in fase di lancio anche in altri paesi europei come Austria, Belgio, Finlandia, Paesi Bassi, Svizzera.

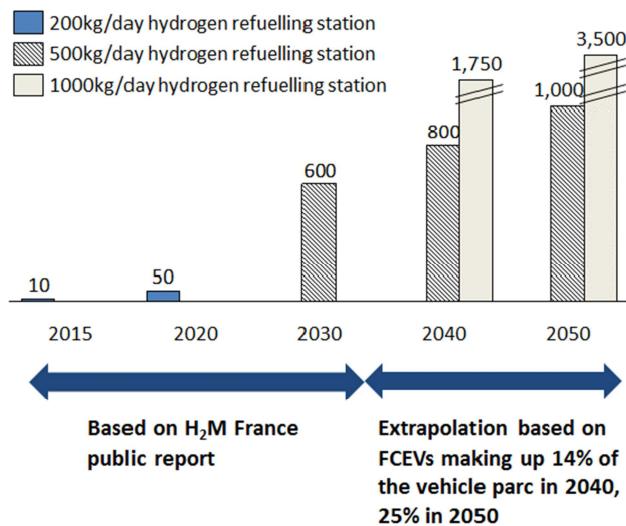
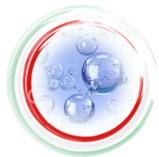


Figura 11: Proiezione del numero di stazioni di rifornimento ad idrogeno previsto in Francia

I progetti di cui sopra dimostrano che lo sviluppo di idrogeno come combustibile alternativo è possibile quando si trova:

- una strategia stabilita per diffondere le stazioni di rifornimento di idrogeno;
- un forte sostegno del governo nazionale (legislativo e finanziario);
- una presenza importante di attori industriali nel campo dell'idrogeno;
- un potenziale di produzione di idrogeno “green”.

Questi possono essere riconosciuti come elementi fondamentali per la definizione di una strategia per la mobilità ad idrogeno.



4 Scenario di introduzione dell'idrogeno nel settore dei trasporti italiano

Il seguente contesto caratterizza lo **stato attuale** del settore dei trasporti in Italia:

- Al **2013** il settore dei trasporti rappresenta il **32.6 % dei consumi finali totali di energia** (38,702 ktep su un totale di 118,696 ktep)⁴.
- Al **2013** le emissioni atmosferiche attribuibili al settore trasporti rappresentano il **24 % delle emissioni totali nazionali** (104.9 Mt CO_{2eq} su un totale di 438.0 Mt CO_{2eq}⁵).
- L'Italia è il Paese dell'Unione europea che registra più morti premature a causa dell'inquinamento dell'aria. In Italia nel 2012 59.500 decessi prematuri sono attribuibili al particolato fine (PM 2.5), 3.300 all'ozono (O₃) e 21.600 al biossido di azoto (NO₂) [12].
- Per quanto riguarda il trasporto su strada, al 2014 la consistenza del parco veicolare è risultata pari a circa **49.2 milioni di veicoli**, tra cui: **37.1 milioni di autovetture**, 6.5 milioni di motocicli, 3.9 milioni di autocarri per merci, **97,914 autobus**. Tra le autovetture la predominanza è netta per l'alimentazione a benzina (51 %) e gasolio (41 %), seguono le alimentazioni ibride benzina/GPL (6 %) e benzina/metano (2 %). **Allo stato attuale, la presenza di veicoli elettrici avanzati (PHEV, BEV, FCEV) è pressoché nulla.** [13]

La definizione degli obiettivi nazionali è basata su criteri specifici e su una modellazione analitica di dettaglio estesa fino al 31/12/2050, prendendo in considerazione i seguenti aspetti:

- obiettivi ambientali per la riduzione dei gas serra e delle emissioni inquinanti;
- futura flotta di veicoli alternativi attesi per diversi orizzonti temporali e stima della domanda futura di idrogeno⁶;
- produzione dell'idrogeno e aumento della rete di alimentazione (cioè l'implementazione di un'infrastruttura adeguata) per favorire lo sviluppo della mobilità alternativa e, di conseguenza, per soddisfare le future esigenze della domanda.

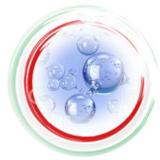
L'intera analisi è stata scomposta nelle seguenti aree:

1. Dimensionamento del parco veicoli FCEV;
2. Produzione dell'idrogeno per il settore dei trasporti;
3. Integrazione delle rinnovabili elettriche;
4. Dimensionamento delle stazioni di rifornimento;
5. La prospettiva del consumatore;
6. Riduzione delle emissioni di CO₂ e di altri inquinanti dannosi alla salute umana;

⁴ I dati del bilancio energetico nazionale sono di fonte Eurostat

⁵ I dati delle emissioni di gas ad effetto serra sono di fonte UNFCCC così come comunicati per l'Italia da ISPRA secondo il mandato stabilito dal Decreto legislativo 51/2008

⁶ Lo scenario di introduzione dell'idrogeno nella mobilità italiana (denominato Scenario MobilitàH2IT), proposto in questo Piano Nazionale di Sviluppo, è stato modellato tenendo conto degli studi di riferimento illustrati nel precedente Capitolo 3, adattandoli al contesto italiano



7. Misure di sostegno al Piano Nazionale di Sviluppo.

Un quadro tecnico complessivo dello Scenario MobilitàH2IT è ricomposto in Appendice 5.5, con analisi quinquennale fino al 2050 (Tabella 8), con analisi annuale fino al 2025 (Tabella 9).

L'applicazione dello Scenario MobilitàH2IT permetterà, **a partire da un approccio in captive fleet (2020-2025)**, la diffusione su vasta scala delle tecnologie dell'idrogeno per il **trasporto di massa (a partire dal 2026)**. Le barriere economiche legate al maggior costo dei veicoli ad idrogeno rispetto ai veicoli convenzionali e alla creazione dell'infrastruttura di produzione e distribuzione, necessitano di un adeguato finanziamento, dove **specifici fondi nazionali dovranno accompagnare i fondi europei**.

In questo studio viene dimensionata nel dettaglio la sola mobilità ad idrogeno mediante autovetture e autobus FCEV, identificando il necessario finanziamento per il suo sviluppo. Per quanto riguarda il trasporto merci, ferroviario, marittimo e i carrelli elevatori, date le prospettive di interesse, verranno comunque quantificati in maniera proporzionale ulteriori necessari finanziamenti.

Nello Scenario MobilitàH2IT, l'idrogeno darà il suo contributo al **rispetto degli obiettivi energetico/ambientali europei** e garantirà una **miglior qualità dell'aria nelle città italiane**. La partecipazione ai tavoli di lavoro di questa iniziativa e l'interesse manifestato da numerose **aziende italiane** mette le basi per un **forte stimolo all'economia e all'occupazione italiana** per i prossimi anni a venire.

4.1 Dimensionamento del parco veicoli FCEV

La vendita di autovetture FCEV proposta nello Scenario MobilitàH2IT è riportata in Figura 12 per il contesto italiano⁷. Lo scenario di vendita in Italia delle autovetture FCEV pone come punto di partenza un'introduzione di **1,000 autovetture entro il 2020**, per poi raggiungere uno **stock di circa 27,000 al 2025** (0.1 % del parco veicoli italiano), circa **290,000 al 2030** (0.7 % del parco veicoli italiano) e circa **8.5 M (20 % del parco veicoli italiano) al 2050**.

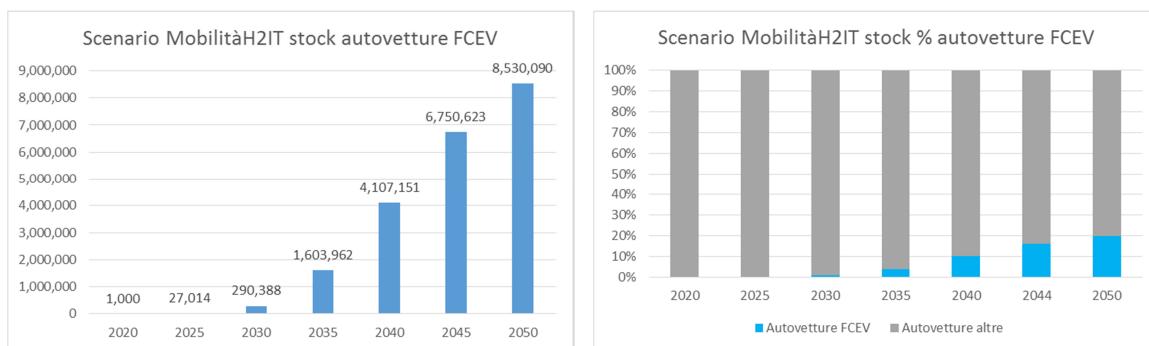
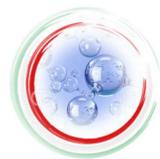


Figura 12: Scenario MobilitàH2IT, stock autovetture FCEV fino al 31/12/2050

Passando agli autobus, lo scenario di ramp-up italiano è indicato in Figura 13⁸. Lo scenario di vendita in Italia degli autobus FCEV prevede obiettivi più ambiziosi rispetto alle autovetture. Gli operatori del **trasporto pubblico**, attivi in ambito cittadino, dovranno infatti garantire un **ruolo guida nella transizione**

⁷ Nel calcolo dello stock autovetture FCEV è stato considerato un life-time di 12 anni

⁸ Nel calcolo dello stock autobus FCEV è stato considerato un life-time di 12 anni



verso una mobilità alternativa, specialmente nelle prime fasi di mercato. Il punto di partenza è posto nell'introduzione di **100 autobus entro il 2020**, per poi raggiungere uno **stock di circa 1,100 al 2025** (1.1 % dello stock totale), circa **3,700 al 2030** (3.8 % dello stock totale) e circa **23,000 al 2050 (25.0 % dello stock totale)**.

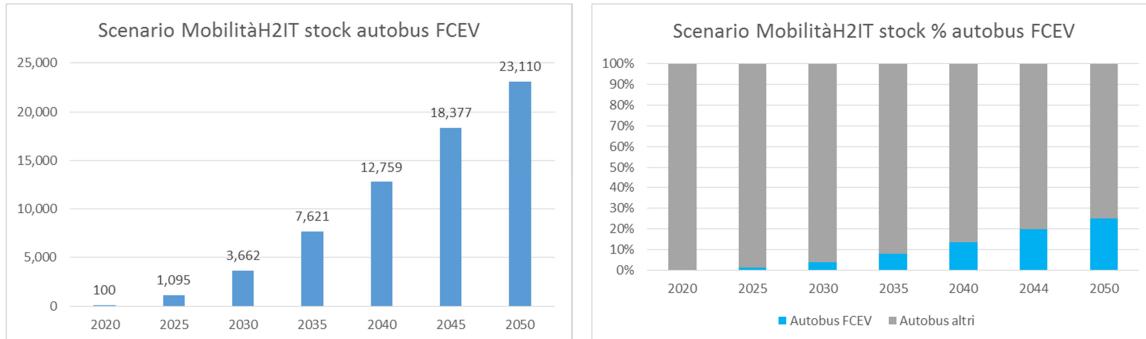


Figura 13: Scenario MobilitàH2IT, stock autobus FCEV fino al 31/12/2050

Una panoramica dei costi per autovetture e autobus FCEV applicati nello Scenario MobilitàH2IT è illustrata in Tabella 4 (Appendice 5.1). Il costo dei modelli FCEV è posto a confronto con il costo dei modelli diesel. Per gli autobus FCEV si è utilizzata l'ipotesi “Heavy-duty FC” nel valore minimo per il 2020 e il 2025, l'ipotesi “Automotive FC ~ 100k FC cars” per il 2030; nel periodo 2030-2050 sono stati utilizzati gli stessi trend di evoluzione dei prezzi indicati dal settore automobilistico.

I parametri tecnici utilizzati per le autovetture FCEV [4], [14] e per gli autobus FCEV [6], riguardanti l'efficienza (fuel economy), la vita (life-time) e la percorrenza annua (km/anno), sono riportati in Tabella 5 (Appendice 5.1). Un notevole miglioramento nella fuel economy delle autovetture e degli autobus FCEV è atteso fino al 2050, incrementando la competitività con i veicoli convenzionali ICE, soggetti anch'essi a miglioramenti ma in maniera meno marcata. Questo fa sì che la percentuale di finanziamento per gli acquirenti (eco-bonus), nella copertura del costo addizionale dei veicoli FCEV, potrà essere ridotta progressivamente.

La domanda di idrogeno alla pompa delle autovetture FCEV e degli autobus FCEV introdotti nello Scenario MobilitàH2IT, applicando i parametri della Tabella 5, è indicata in Figura 14. **AI 2020 È PREVISTA UNA DOMANDA ALLA POMPA DI CIRCA 2,000 kg/giorno, PORTATA A CIRCA 25,600 kg/giorno AL 2025.**

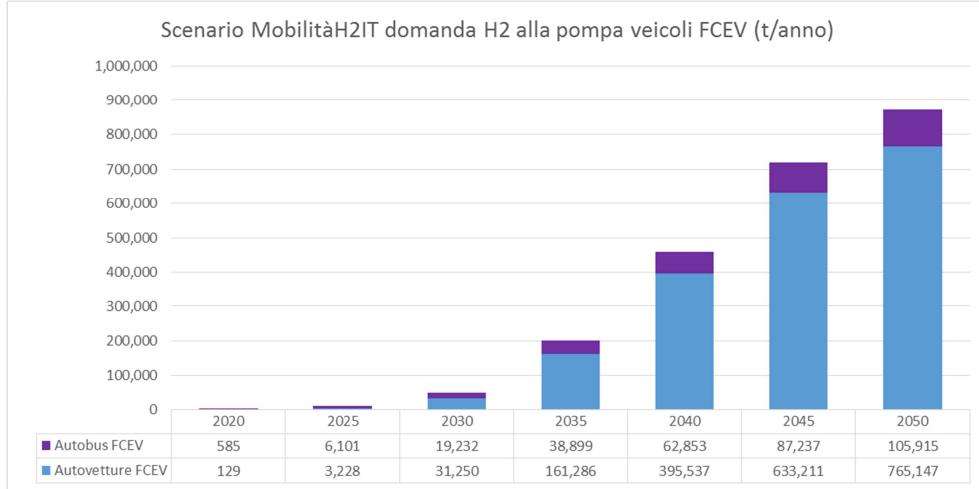
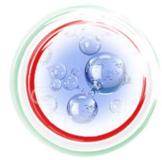


Figura 14: Scenario MobilitàH2IT, domanda H2 alla pompa veicoli FCEV fino al 31/12/2050

4.2 Produzione dell'idrogeno per il settore dei trasporti

Negli scenari proposti per questo Piano Nazionale di Sviluppo, l'idrogeno può essere prodotto secondo quattro diverse modalità operative:

- 1) Produzione di idrogeno in **impianti centralizzati** mediante **SMR** (H₂ da SMR C) e trasporto gassoso su camion fino alla stazione di rifornimento;
- 2) Produzione di idrogeno in **impianti centralizzati** mediante **elettrolisi da rinnovabili** (H₂ da ELR C) e trasporto gassoso su camion fino alla stazione di rifornimento;
- 3) Produzione di idrogeno **on-site** nella stazione di rifornimento mediante **elettrolisi con energia elettrica da rete** (H₂ da ELG OS);
- 4) Produzione di idrogeno **on-site** nella stazione di rifornimento mediante **elettrolisi con energia elettrica rinnovabile** (H₂ da ELR OS).

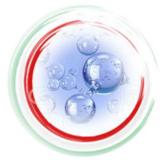
La produzione centralizzata di idrogeno da SMR, a basso costo, permetterà di agevolare il periodo di transizione iniziale 2020-2030. Superata questa fase, è previsto di non incrementare ulteriormente la capacità installata di SMR, tutta la nuova produzione di idrogeno avverrà mediante elettrolisi. In particolare dovrà essere particolarmente incentivato l'utilizzo di energia rinnovabile prodotta on-site (autoconsumo).

Lo Scenario MobilitàH2IT permette una rapida transizione verso una produzione di idrogeno “green” da elettrolisi e il raggiungimento di risultati ambizioni in termini di:

- 1) Maggior contributo dei veicoli FCEV nella riduzione delle emissioni di CO₂;
- 2) Maggior indipendenza energetica nazionale;
- 3) Maggior potenzialità di integrazione delle fonti rinnovabili non programmabili (fotovoltaico, eolico).

Lo Scenario MobilitàH2IT utilizza le seguenti assunzioni per quanto riguarda la produzione e il trasporto dell'idrogeno:

- un'efficienza complessiva di compressione, trasporto e distribuzione pari all'80 % [4];
- annual load factor (AL) degli impianti di produzione pari all'85 % [4];



- per l'idrogeno prodotto off-site, costi medi di trasporto in forma gassosa su camion pari a 2 €/kg al 2020 (con incremento annuo di costo dell'1%) [11];
- costi finanziari pari al 7% [6];
- margine di guadagno per la produzione pari al 20%;
- margine di guadagno per il trasporto pari al 20%.

Il costo di produzione e trasporto dell'idrogeno viene quindi calcolato sulla base di parametri economici quali i costi di investimento (CAPEX), costi finanziari, costi dell'energia primaria (gas ed elettricità), costi operativi e di manutenzione (OPEX), costi di trasporto e margini di guadagno, così come sulla base di parametri tecnici quali l'efficienza di conversione e il life-time. In Tabella 6 (Appendice 5.2) le principali assunzioni adottate nello Scenario MobilitàH2IT.

Per quanto riguarda l'energia primaria da rete sono stati presi come riferimento i costi lordi al 2014 in Italia [15]:

- energia elettrica da rete: consumatori industriali con fascia di consumo annua 2,000-20,000 MWh, prezzo lordo 175.5 euro/MWh,
- gas naturale da rete: consumatori industriali con fascia di consumo annua 263-2,627 migliaia di m³, prezzo lordo 43.11 euro/migliaia di m³ (41.06 euro/MWh).

Nel caso di produzione di elettricità rinnovabile (es: eolico, fotovoltaico) e utilizzo on-site per elettrolisi è considerato un valore medio dell'elettricità pari a 63.52 euro/MWh nel periodo 2012-2014 [16]. Tale prezzo medio riflette il PUN di Baseload nel periodo 2012-2014. Va ricordato che in Italia, oltre al valore acquisito sul mercato elettrico, la produzione di energia rinnovabile è remunerata anche mediante appositi meccanismi di incentivazione. Sia per l'energia elettrica che per il gas è previsto un incremento annuo di costo dell'1%.

La produzione di idrogeno, con relativo mix, nello Scenario MobilitàH2IT è indicata in Figura 15. **AI 2020 È PREVISTA UNA DOMANDA DI PRODUZIONE PARI A CIRCA 2,500 kg/giorno** (circa 1,500 kg/giorno da SMR e circa 1,000 kg/giorno da elettrolisi), **PORTATA A CIRCA 32,000 kg/giorno AL 2025** (circa 12,800 kg/giorno da SMR e circa 19,200 kg/giorno da elettrolisi).

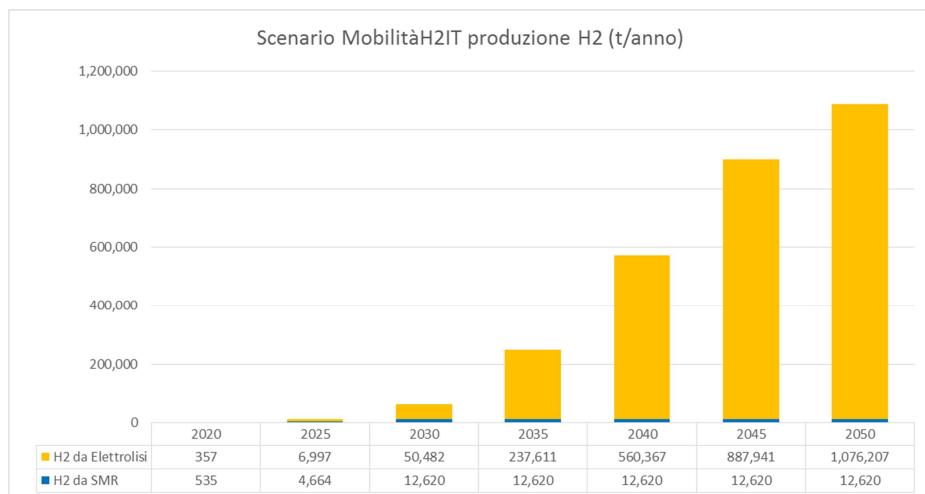
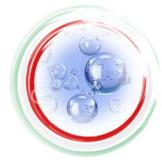


Figura 15: Scenario MobilitàH2IT, produzione H2 fino al 31/12/2050



In Figura 16 sono stati analizzati e comparati i costi di produzione e trasporto dell'idrogeno nelle quattro modalità operative precedentemente descritte. Il costo di produzione e trasporto dell'idrogeno è calcolato sulla base di parametri economici quali i costi di investimento (CAPEX), costi finanziari, costi dell'energia primaria (gas ed elettricità), costi operativi e di manutenzione (OPEX), margine di guadagno sulla produzione, costi di trasporto e margine di guadagno sul trasporto, così come sulla base di parametri tecnici quali l'efficienza di conversione e il life-time.

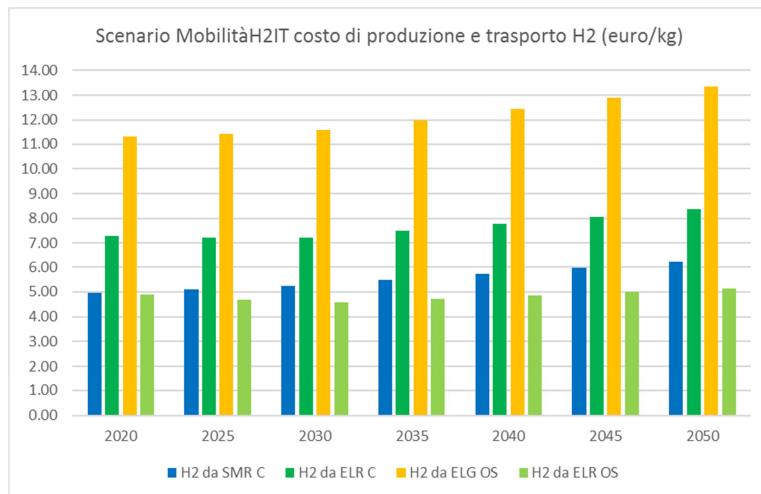


Figura 16: Scenario MobilitàH2IT, costo di produzione e trasporto H2 fino al 31/12/2050

4.3 Integrazione delle rinnovabili elettriche

Come già descritto nel Capitolo 2, la produzione di idrogeno da energia elettrica e lo stoccaggio in forma gassosa o liquefatta potrebbe rappresentare una valida opzione per aumentare la flessibilità del sistema energetico, consentendo **l'integrazione di elevate quote di fonti rinnovabili non programmabili** (fotovoltaico, eolico).

In questo Piano Nazionale di Sviluppo viene proposto l'accumulo mediante **power to fuel**: l'elettricità viene trasformata in idrogeno utilizzato poi come combustibile per FCEV nel settore dei trasporti. La Figura 17 quantifica il **potenziale di integrazione delle rinnovabili elettriche** offerto nello Scenario MobilitàH2IT: circa **2.3 TWh/anno al 2030**, circa **24.7 TWh/anno al 2040**, circa **47 TWh/anno al 2050**.

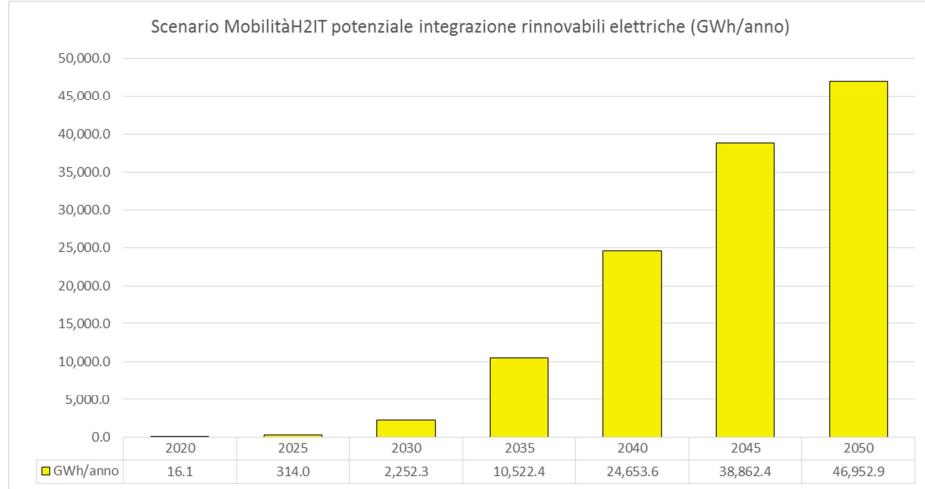
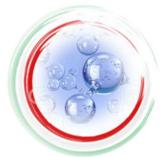


Figura 17: Scenario MobilitàH2IT, potenziale di integrazione delle rinnovabili elettriche fino al 31/12/2050

4.4 Dimensionamento delle stazioni di rifornimento

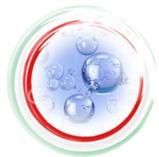
La configurazione dell'infrastruttura di rifornimento è determinata da molti parametri, tra cui: la domanda di idrogeno, la densità di popolazione dell'ambiente urbano, ipotesi sulla necessaria prossimità di una stazione rispetto ad un'altra per i consumatori. Per necessità operative, autovetture e autobus saranno serviti da stazioni di rifornimento diverse.

Le stazioni più piccole saranno costruite nelle due fasi iniziali di captive fleet (2020-2022 e 2023-2025), a servizio di piccole flotte di veicoli. Nella prima fase **2020-2022** si prevedono **captive fleets fino a 99-109 autovetture e fino a 10-11 autobus**, con **stazioni** rispettivamente da **50 kg/giorno e 200 kg/giorno**. Nella seconda fase **2023-2025** si prevedono **captive fleets fino a 222-229 autovetture e fino a 29 autobus**, con **stazioni** rispettivamente da **100 kg/giorno e 500 kg/giorno**. La costruzione di piccole stazioni permette il rapido raggiungimento di una copertura minima delle principali arterie di trasporto (TEN-T) e dei principali centri abitati, garantendo il successivo passaggio alla mass transportation. **Dopo** questa fase iniziale è prevista solamente la costruzione di **stazioni di grande taglia, 500 kg/giorno per le autovetture** (in grado di rifornire **fino a 1169 autovetture/giorno al 2026**) e **1000 kg/giorno per gli autobus** (in grado di rifornire **fino a 60 autobus/giorno al 2026**), economicamente attrattive per gli operatori del settore.

L'approccio captive fleet permette i seguenti benefici:

- I mezzi di trasporto e le stazioni di rifornimento dell'idrogeno saranno sviluppati una volta identificato un numero sufficiente di clienti locali;
- Un **adeguato fattore di carico (AL)** per le **stazioni di rifornimento** già dai primi anni, evitando rischi di sottoutilizzo;
- Notevole **riduzione della necessità di investimento**.

Le captive fleet sono flotte di veicoli con modelli di guida e di rifornimento prevedibili. Ogni flotta fa riferimento ad una specifica stazione di rifornimento. Esempi di captive fleet sono le flotte di taxi, veicoli per la consegna della merce, le flotte di veicoli per i dipendenti comunali, per le forze dell'ordine, veicoli della posta, flotte di veicoli aziendali. Tali utenze devono essere coinvolte per il successo della prima fase di introduzione sul mercato.



Lo Scenario MobilitàH2IT utilizza le seguenti assunzioni per quanto riguarda le stazioni di rifornimento dell'idrogeno:

- annual load factor (AL) delle stazioni di rifornimento pari al 70 % fino al 2020 e al 75% nel periodo successivo per le autovetture e 80% fino al 2020 e 90 % nel periodo successivo per gli autobus;
- costi finanziari pari al 7 % [6],
- margine di guadagno per le stazioni di rifornimento pari al 20 %.

Numeri e tipologia delle stazioni di rifornimento, per autovetture FCEV e autobus FCEV, nello Scenario MobilitàH2IT è indicato in Figura 18.

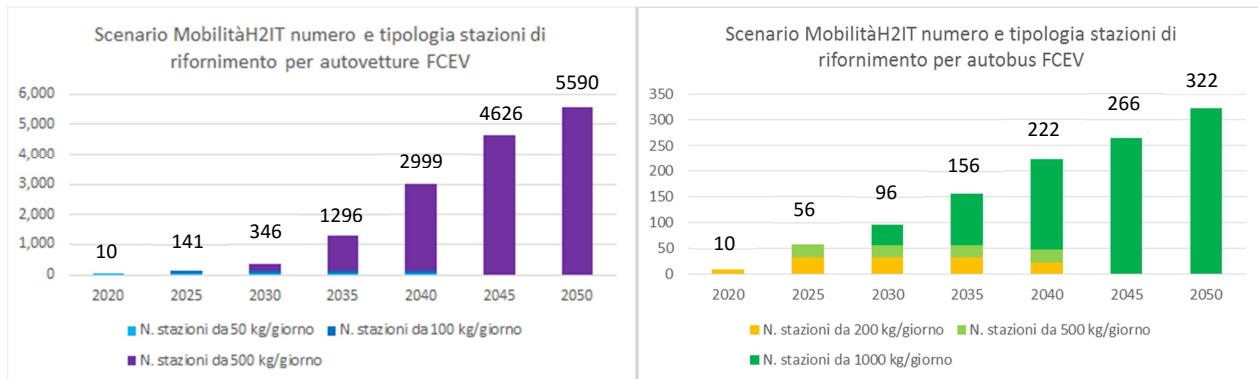


Figura 18: Scenario MobilitàH2IT, numero e tipologia stazioni rifornimento per autovetture FCEV e autobus FCEV fino al 31/12/2050

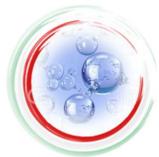
In Figura 19 e in Figura 20 è indicata una possibile ubicazione delle stazioni di rifornimento per autovetture FCEV e autobus FCEV previste al 31/12/2020 e al 31/12/2025. La scelta dell'ubicazione rispetta i seguenti criteri:

- Città già attive o in fase progettuale avanzata per la sperimentazione del trasporto idrogeno, alla data di redazione del seguente Piano Nazionale di Sviluppo (Bolzano, Milano, Sanremo, Roma, Venezia, Brunico, Rovereto);
- Popolazione residente nel comune (priorità ai comuni con maggior popolazione, dati ISTAT 2015).

La Figura 19 e la Figura 20 sono solamente fornite per ipotizzare una possibile distribuzione territoriale delle stazioni di rifornimento dell'idrogeno. L'effettiva ubicazione dipenderà infatti dall'adesione delle città alle call di finanziamento appositamente promosse a livello europeo e nazionale.

Per quanto riguarda le autovetture, l'infrastruttura disponibile a fine 2020 permette solamente l'attività di un numero limitato di captive fleets in alcune città italiane, **a fine 2025** invece **l'infrastruttura** appare **adeguata** per una vera e propria **mass transportation**. L'ubicazione delle stazioni è **ben collocata rispetto alla rete TEN-T e alla rete autostradale italiana**.

Passando ad un'analisi economica, in Tabella 7 (Appendice 5.3) vengono riportate le principali assunzioni adottate nello Scenario MobilitàH2IT. I costi di investimento e operativi delle stazioni di rifornimento proposti in questo Piano Nazionale di Sviluppo sono basati sui dati forniti dal report realizzato per l'European Climate Foundation, "En route pour un transport durable", realizzato da Cambridge Econometrics nel Novembre 2015 [10]. I costi di investimento includono i seguenti componenti:



compressore, stoccaggio idrogeno, equipaggiamento per il pre-raffreddamento/refrigerazione, distributori, costi civili di preparazione dell'area destinata alla stazione, costi progettuali. I costi di investimento delle stazioni di riferimento dell'idrogeno sono previsti decrescere di circa il 50% entro il 2030, riflettendo ottimizzazioni nel design e incrementi nei volumi di mercato e nel numero di operatori del settore.

Il costo di distribuzione dell'idrogeno è stato calcolato sulla base di parametri economici quali i costi di investimento (CAPEX), costi finanziari, costi operativi e di manutenzione (OPEX) e margine di guadagno, così come sulla base di parametri tecnici quali il life-time (Figura 21). Appare chiaro che **le stazioni di più piccole dimensioni presentano costi di distribuzione dell'idrogeno maggiori rispetto alle stazioni più grandi**.

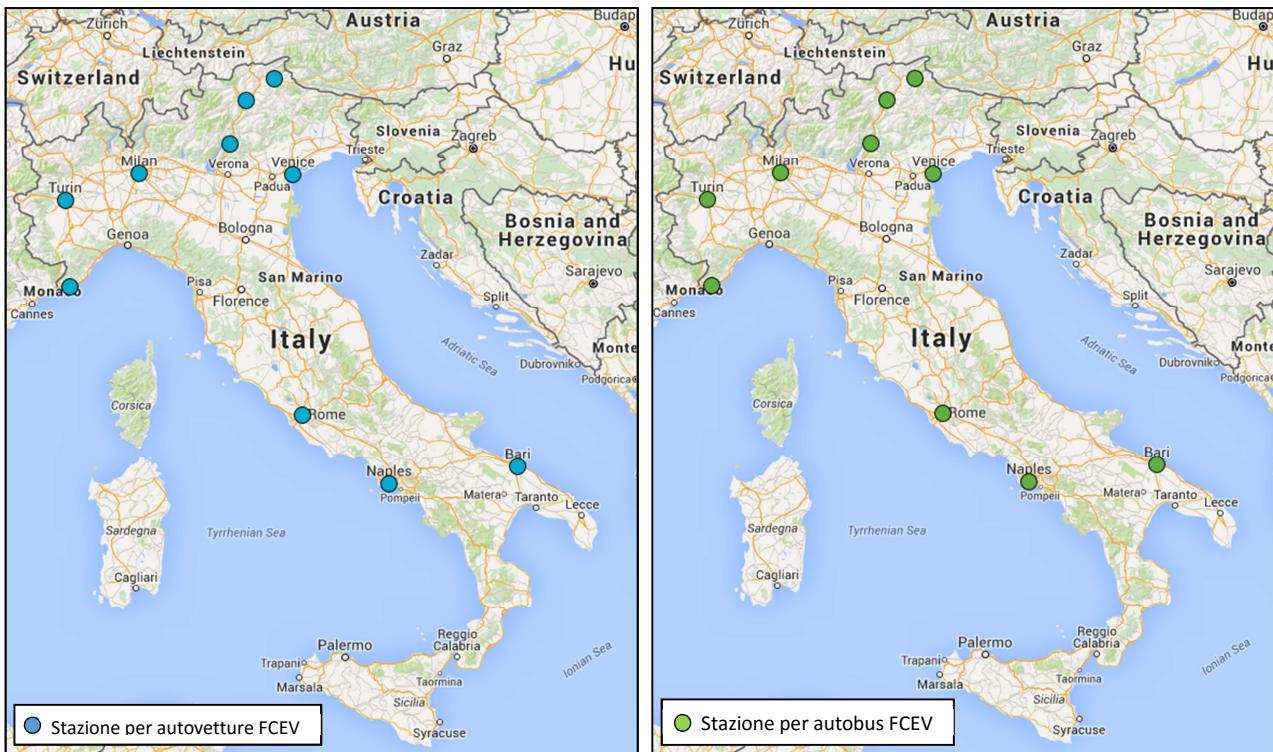


Figura 19: Ubicazione delle stazioni di rifornimento previste al 31/12/2020 per autovetture FCEV (sx) e autobus FCEV (dx)

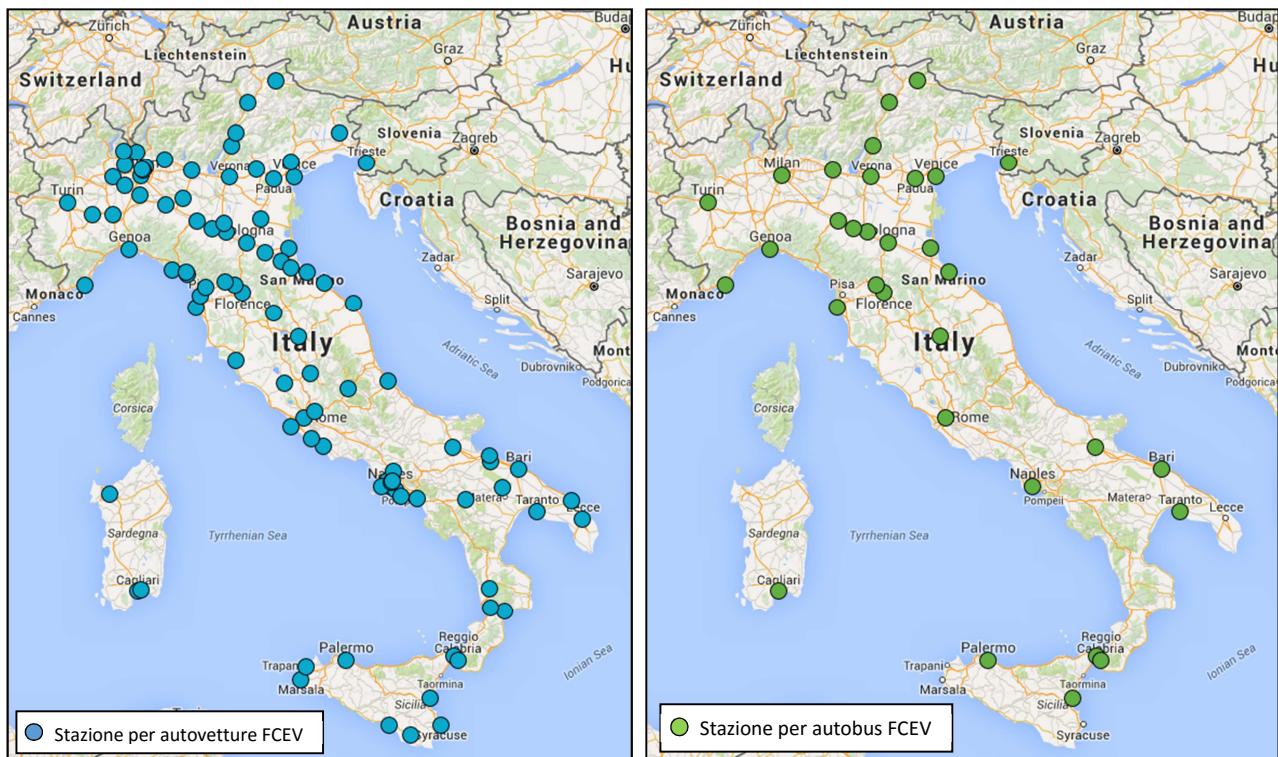


Figura 20: Ubicazione delle stazioni di rifornimento previste al 31/12/2025 per autovetture FCEV (sx) e autobus FCEV (dx)

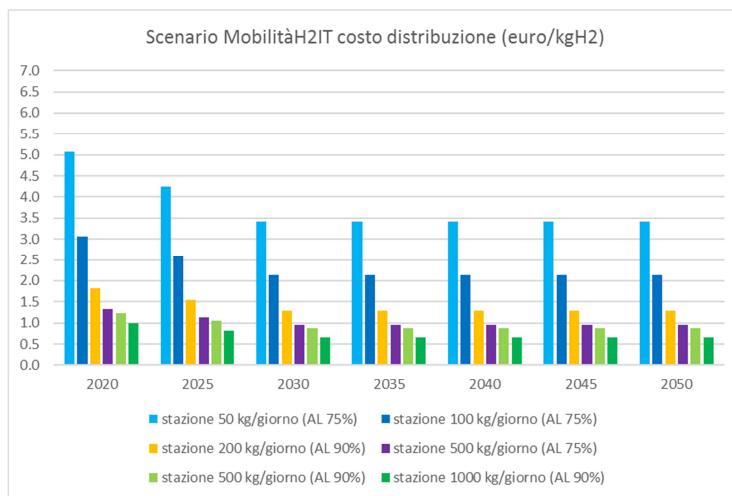


Figura 21: Scenario MobilitàH2IT, costo distribuzione fino al 31/12/2050, in stazioni da 50, 100, 200, 500 e 1000 kg/giorno

4.5 La prospettiva del consumatore

Il costo finale dell'idrogeno alla pompa è stato valutato come somma dei costi di produzione, trasporto e distribuzione, analizzati in dettaglio nelle sezioni precedenti (Figura 25, Appendice 5.4).



Come facilmente prevedibile, tra le modalità considerate, l'idrogeno più economico è quello prodotto mediante elettrolisi on-site con autoconsumo da rinnovabili e mediante SMR centralizzato, in stazioni di grandi dimensioni (500 kg/giorno per le autovetture e 1000 kg/giorno per gli autobus).

Al fine di valutare la competitività del vettore idrogeno rispetto al concorrenziale diesel, è stato valutato il costo per la percorrenza di 100 km per autovetture e autobus FCEV e per autovetture e autobus diesel. Il costo per la percorrenza di 100 km dipende dal costo del vettore energetico alla pompa e dalla fuel economy del veicolo. I risultati di questa comparazione sono riportati in Figura 26 (Appendice 5.4) e mostrano un quadro di complessivo interesse per l'utente finale.

Per le autovetture, nella **prima fase 2020-2022**, nonostante l'utilizzo di stazioni di piccole dimensioni (50 kg/giorno) e gli elevati costi di mercato di tutte le componenti di produzione/distribuzione, i **costi del vettore idrogeno sono alla pari con il vettore diesel nella produzione da elettrolisi on-site con autoconsumo da rinnovabili e mediante SMR centralizzato**, mentre sono superiori di circa 2 euro/100 km in modalità “H2 da ELR C” e di circa 6 euro/100 km in modalità “H2 da ELG OS”. Nella seconda fase, cioè **dal 2023**, il passaggio a stazioni più grandi, dapprima 100 kg/giorno e poi 500 kg/giorno, nonché la rapida e notevole diminuzione del costo di mercato di tutte le componenti di produzione/distribuzione rende il vettore idrogeno ancor più conveniente rispetto al vettore diesel, da subito anche in modalità “H2 da ELR C”, poco prima del 2030 nella modalità “H2 da ELG OS”.

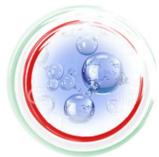
Per gli autobus, già dal 2020 (stazioni 200 kg/giorno) il **vettore idrogeno è più conveniente rispetto al vettore diesel nella produzione da elettrolisi on-site con autoconsumo da rinnovabili e mediante SMR centralizzato**, mentre è più costoso sia in modalità “H2 da ELR C” che in modalità “H2 da ELG OS”. **Dal 2025**, il passaggio a stazioni da 1000 kg/giorno, nonché la rapida e notevole diminuzione del costo di mercato di tutte le componenti di produzione/distribuzione rende il **vettore idrogeno più conveniente rispetto al vettore diesel anche nella modalità “H2 da ELR C”**.

Riassumendo, la competitività del vettore idrogeno si manifesterà in tempi rapidi, già nella fase iniziale con captive fleets, ancor più nel momento in cui si raggiungerà la maturità commerciale e l'idrogeno sarà distribuito in stazioni di grandi dimensioni (a partire dal 2025 con stazioni da 500 kg/giorno per le autovetture e 1000 kg/giorno per gli autobus).

4.6 Riduzione delle emissioni di CO₂ e di altri inquinanti dannosi alla salute umana

Le emissioni di CO₂ dipendono dalle modalità di produzione dell'idrogeno, dall'efficienza del processo produttivo e dalle emissioni delle fonti primarie, definite in questo studio mediante lo Standard Emission Factor (SEF) dell'IPCC 2006. Lo SEF del gas è pari a 0.202 (tCO₂/MWh), quello delle energie rinnovabili è 0, quello della rete elettrica dipende dal suo mix di generazione. In tal senso sono state considerate le prospettive di mix energetico nei consumi elettrici della rete elettrica italiana fino al 2050 (elaborazione da dati ENEA [9]), comprensive di SEF per la produzione termoelettrica linda (elaborazione da dati ISPRA).

Solamente la produzione di idrogeno mediante elettrolisi da fonti energetiche rinnovabili è priva di emissioni di CO₂. Invece, fino al 2036 è atteso in Italia un maggior impatto per la produzione di idrogeno derivante da elettrolisi con elettricità da rete rispetto allo SMR.



La potenzialità di riduzione delle emissioni di CO₂ nello Scenario MobilitàH2IT (Figura 22) è stata calcolata comparando le emissioni per il mix di produzione di idrogeno destinato ai veicoli FCEV rispetto alle emissioni dei veicoli diesel di ultima generazione (Reference Scenario). Per lo Scenario MobilitàH2IT si sono ipotizzate due opzioni: (1) la produzione da elettrolisi avviene con elettricità solo da rete elettrica con mix nazionale, (2) la produzione da elettrolisi avviene con elettricità solo da produzione rinnovabile. Nel Reference Scenario, per le autovetture diesel lo standard di riferimento è quello raggiunto dai nuovi veicoli venduti in Unione Europea nel 2014 (123.4 gCO₂/km), per gli autobus lo standard EURO VI (1,200 gCO₂/km).

Al 2020, la riduzione delle emissioni di CO₂ garantite dalla mobilità idrogeno, rispetto allo stato attuale del Reference Scenario, è in un range tra 269 e 5,066 t/anno, per poi raggiungere un range tra circa 8,000 e 92,000 t/anno al 2025, circa 116,000 - 655,000 t/anno al 2030 e circa 12 - 15 Mt/anno al 2050.

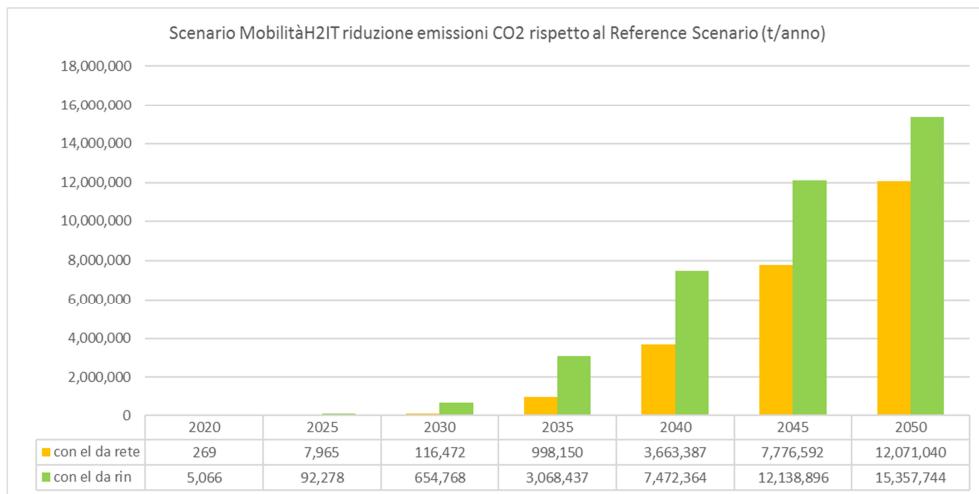


Figura 22: Scenario MobilitàH2IT, riduzione delle emissioni di CO₂ rispetto al Reference Scenario fino al 31/12/2050

Il settore dei trasporti è anche responsabile dell'emissioni di inquinanti atmosferici dannosi alla salute umana, specialmente in ambiente cittadino. E' allarmante l'analisi dagli scienziati Nasa, con dati raccolti tra il 2005 e il 2014 dall'Ozone Monitoring Instrument olandese-finlandese a bordo del satellite Aura. Sono state esaminate 195 città e regioni in tutto il mondo per tracciare le tendenze dell'inquinamento del diossido di azoto (NO₂) che a livello del suolo genera ozono. L'NO₂ è prodotto soprattutto dagli scarichi delle auto, dall'attività industriale e dalle centrali elettriche ed è tra le principali minacce delle vie respiratorie polmonari in ambiente urbano. **Tra le zone più inquinate c'è la Pianura Padana** (Figura 23, Nasa/Goddard Space Flight Center).

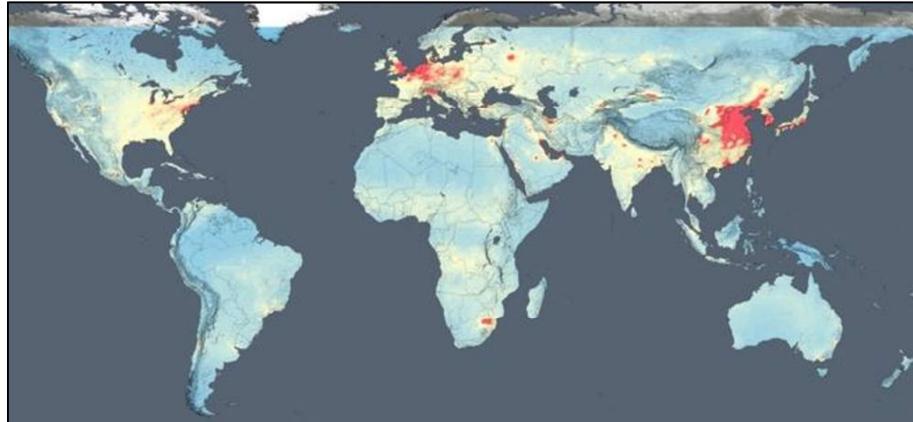
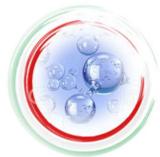


Figura 23: Concentrazione di NO₂ nella troposfera (entro circa 15 mila metri) nel 2014 (Nasa/Goddard Space Flight Center).

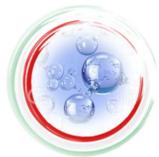
L'ultimo rapporto sulla qualità dell'aria "Mal'ARIA di città 2016" pubblicato da Legambiente [17] evidenzia come in Italia il problema dell'inquinamento atmosferico sia diffuso e giunto ad un livello ormai cronico. Nel rapporto sono stati analizzati i livelli di inquinamento in 90 città italiane. È emerso che nel corso del 2015 in più della metà (il 53%) il livello di PM10 ha oltrepassato il limite, fissato per legge a 50 microgrammi per metro cubo da non superare per più di 35 volte in un anno.

L'Italia è il Paese dell'Unione Europea che registra più morti premature a causa dell'inquinamento dell'aria. In Italia nel 2012 59,500 decessi prematuri sono attribuibili al particolato fine (PM 2.5), 3,300 all'ozono (O₃) e 21,600 al biossido di azoto (NO₂). L'Italia guida la triste classifica europea delle morti da biossido di azoto, anche sull'ozono è prima in Europa, mentre sulle polveri sottili, emesse anche dalla combustione delle biomasse, condivide la prima posizione con la Germania [12].

In **Tabella 3** il potenziale di riduzione dei principali inquinanti atmosferici grazie all'applicazione dello Scenario MobilitàH2IT.

Tabella 3: Scenario MobilitàH2IT, riduzione dei principali inquinanti atmosferici attribuiti al trasporto su strada fino al 31/12/2050

| Riduzione emissioni | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|---------------------------|------|--------|--------|---------|---------|-----------|-----------|
| SO ₂ (kg/anno) | 10 | 265 | 2,847 | 15,725 | 40,267 | 66,183 | 83,629 |
| NOx (t/anno) | 49 | 627 | 3,159 | 11,886 | 27,455 | 43,981 | 55,525 |
| CO (t/anno) | 25 | 473 | 4,033 | 20,644 | 51,986 | 85,109 | 107,530 |
| PM10 (kg/anno) | 964 | 13,543 | 82,551 | 358,016 | 864,228 | 1,400,315 | 1,768,572 |



4.7 Misure di sostegno al Piano Nazionale di Sviluppo

Al fine di promuovere i carburanti alternativi e lo sviluppo delle relative infrastrutture, i quadri politici nazionali devono redigere un elenco di azioni/misure da sostenere, classificabili nelle seguenti categorie in base alla loro natura:

| | |
|--|--|
| Misure giuridiche | Le informazioni sulle misure giuridiche, che possono consistere in misure legislative, regolamentari o amministrative a sostegno della realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi. |
| Misure strategiche | <ul style="list-style-type: none"> • incentivi diretti per l'acquisto di mezzi di trasporto alimentati con combustibili alternativi, o per la costruzione dell'infrastruttura; • disponibilità di incentivi fiscali per promuovere i mezzi di trasporto alimentati con combustibili alternativi e l'infrastruttura pertinente; • uso di appalti pubblici a sostegno dei combustibili alternativi; • incentivi non finanziari sul versante della domanda: ad esempio, accesso preferenziale ad aree a circolazione limitata, politica dei parcheggi, corsie dedicate; • procedure tecniche e amministrative e normativa in relazione all'autorizzazione della fornitura di combustibili alternativi al fine di agevolarne il processo autorizzativo. |
| Ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione | Stanziamenti nei bilanci pubblici annuali destinati al sostegno di ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione sui combustibili alternativi, ripartiti per combustibile e per modo di trasporto. |
| Misure di policy | L'idrogeno come combustibile alternativo dovrebbe essere preso in considerazione nella redazione dei piani strategici preparati da tutte le autorità regionali e da quelle locali con un numero di abitanti superiore ad un valore fisso (ad esempio piano di mobilità urbana, PAES, ecc.). |
| Misure di comunicazione | Promozione nella consapevolezza delle caratteristiche tecniche e di sicurezza dei combustibili alternativi. |

Le informazioni sulle **misure giuridiche**, che possono consistere in misure legislative, regolamentari o amministrative a sostegno della realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi sono illustrate in Appendice 5.6.1.

La riuscita dello Scenario MobilitàH2IT è vincolata alla disponibilità sia di **incentivi pubblici UE&IT** (europei e nazionali) che di **investimenti privati e PL** (pubblici locali: regionali, provinciali, comunali). Gli incentivi pubblici possono essere concessi sia mediante finanziamenti a fondo perduto, sia mediante partnership pubblico/private (PPP), sia mediante esenzione dalle tasse/detrazioni fiscali.

Il programma quadro **Horizon 2020**, istituito dal regolamento (UE) n. 1291/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio [18], sosterrà la ricerca e l'innovazione per quanto riguarda i veicoli alimentati con combustibili alternativi e le relative infrastrutture, specialmente attraverso la sfida sociale «**Trasporti intelligenti, ecosostenibili e integrati**».

Con un budget di **451 miliardi di euro fino al 2020**, i **“Fondi strutturali e di investimento europei”** sono lo strumento principale della politica di investimento dell'Unione Europea. In molti paesi essi forniscono la maggior parte degli investimenti pubblici. Buona parte di questi fondi dovrà essere destinata in ricerca e innovazione, sostenere l'unione energetica europea e la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio. L'efficienza energetica, la produzione di energia pulita, infrastrutture “verdi” e il trasporto sostenibile sono tra le aree prioritarie.



Gli orientamenti della rete transeuropea di trasporto (TEN-T) prescrivono la decarbonizzazione di tutti i modi di trasporto attraverso l'efficienza energetica e l'introduzione di sistemi di propulsione alternativi e la fornitura dell'infrastruttura corrispondente. **I porti interni e marittimi, gli aeroporti e le strade della rete centrale** devono prevedere la **disponibilità di combustibili alternativi**. Lo strumento di finanziamento della TEN-T rende ammissibile alle sovvenzioni la realizzazione nella rete centrale TEN-T di tali nuove tecnologie e innovazioni, compresa l'infrastruttura per combustibili puliti alternativi. Questo progetto aiuterà in maniera determinante l'economia europea nella sua crescita e competitività, con un **budget di 24.05 miliardi di euro fino al 2020**.

Infine, la **Banca Europea per gli Investimenti (BEI)**, in stretta collaborazione con gli Stati membri e la Commissione Europea, sostiene il finanziamento per l'introduzione sul mercato e lo sviluppo di nuove tecnologie e innovazioni, **promuove la mobilità pulita e sostenibile, così come l'implementazione delle infrastrutture di supporto per i carburanti alternativi**. I potenziali beneficiari dei finanziamenti della BEI possono essere soggetti giuridici pubblici, privati o PPP. Il **Fondo ELENA** (“European Local ENergy Assistance”, <http://www.eib.org/products/advising/elena/index.htm>) fa parte del più ampio sforzo della BEI per sostenere gli obiettivi di politica climatica ed energetica dell'UE. Questa iniziativa congiunta BEI-Commissione Europea **aiuta le autorità locali e regionali nel promuovere l'efficienza energetica o progetti di energia rinnovabile**. E' sulla buona strada per mobilitare più di **1,6 miliardi di euro di investimenti nei prossimi anni**. ELENA **copre fino al 90% dei costi di supporto tecnico necessario per preparare, attuare e finanziare il programma di investimenti**. Questo potrebbe includere fattibilità e ricerche di mercato, programma di strutturazione, diagnosi energetiche e preparazione della procedura di gara.

Lo **Scenario MobilitàH2IT** indica una **partecipazione nella quota di finanziamenti pubblici UE&IT al 60% da fondi comunitari europei e al 40% da fondi nazionali italiani**.

Considerando le prospettive tecnologiche e di mercato, almeno fino al 2030, appaiono non trascurabili **due barriere finanziarie**:

- 1) **L'investimento nell'acquisto dei costosi veicoli FCEV;**
- 2) **L'investimento nella realizzazione degli impianti di produzione e nelle stazioni di distribuzione dell'idrogeno.**

Il successo di questo Piano Nazionale di Sviluppo potrà essere raggiunto solamente se saranno efficacemente superate entrambe le barriere finanziarie. Non è infatti possibile sviluppare un mercato per i veicoli FCEV senza un'adeguata infrastruttura di produzione e distribuzione dell'idrogeno e viceversa, non è sostenibile sviluppare un'infrastruttura di produzione e distribuzione dell'idrogeno senza una domanda da parte di veicoli FCEV in circolazione.

Riguardo al primo punto, lo Scenario MobilitàH2IT individua come necessaria la copertura pubblica di parte del costo addizionale (differenza tra costo del veicolo FCEV e costo del veicolo diesel). Tale copertura (% del costo addizionale) è modellata in funzione delle aspettative di miglioramento della fuel efficiency dei veicoli e della riduzione dei costi dell'idrogeno alla pompa, già ampiamente descritte in precedenza. In particolare:

- **% copertura pubblica UE&IT costo addizionale autovetture FCEV:** 50% fino al 2020, 40% dal 2021 al 2025, 20% dal 2026 al 2030, nulla a partire dal 2031;



- **% copertura pubblica UE&IT costo addizionale autobus FCEV:** 50%⁹ fino al 2020, 40% dal 2021 al 2025, 20% dal 2026 al 2030, 15% dal 2031 al 2035, 5% dal 2036 al 2050.

Passando al secondo punto, al fine di agevolare il rischio di investimento associato allo sviluppo degli impianti di produzione e delle stazioni rifornimento dell'idrogeno, è stato individuato un sostegno pubblico UE&IT:

- per le **stazioni di rifornimento:** 40% fino 2020, 35% dal 2021 al 2025, 30% dal 2026 al 2030, 20% dal 2031 al 2035, 10% dal 2036 al 2040, 5% dal 2041 al 2050;
- per gli **impianti di produzione da SMR:** 15% fino al 2025, 10% nel periodo 2026-2030;
- per gli **impianti di produzione da elettrolisi:** 40% fino 2020, 35% dal 2021 al 2025, 30% dal 2026 al 2030, 25% dal 2031 al 2035, 20% dal 2036 al 2040, 15% dal 2041 al 2050;

Per le altre tipologie di mobilità lo Scenario MobilitàH2IT propone il seguente schema di finanziamento pubblico UE&IT, finalizzato allo sviluppo di alcune attività sperimentali sul territorio italiano:

- trasporto merci ad idrogeno: 5% dei finanziamenti per mobilità autovetture + autobus;
- trasporto ferroviario ad idrogeno: 3% dei finanziamenti per mobilità autovetture + autobus;
- trasporto navale ad idrogeno: 3% dei finanziamenti per mobilità autovetture + autobus;
- carrelli elevatori ad idrogeno: 3% dei finanziamenti per mobilità autovetture + autobus.

In Appendice 5.6 viene dettagliata sia l'analisi finanziaria quinquennale fino al 2050 che l'analisi finanziaria annuale fino al 31/12/2025.

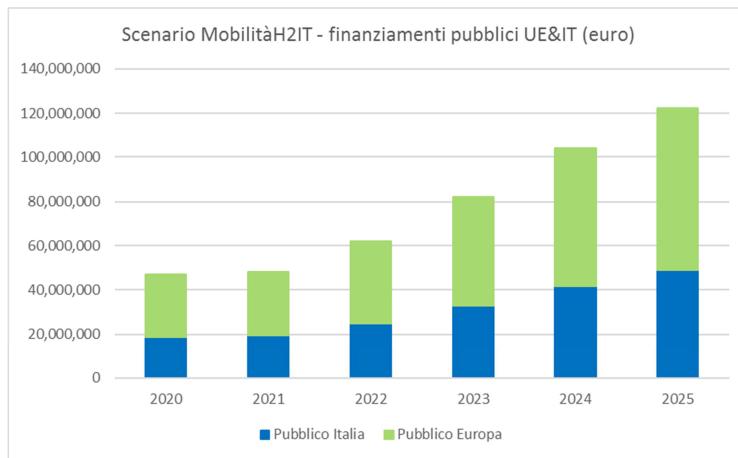
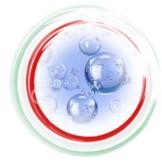


Figura 24: Scenario MobilitàH2IT, finanziamenti pubblici UE&IT necessari fino al 31/12/2025

Per la riuscita dello Scenario MobilitàH2IT sono previsti come necessari finanziamenti pubblici UE&IT pari a circa 47 M€ fino al 2020 e circa 419 M€ nel successivo periodo 2021-2025, di cui 60% da fondi comunitari europei e 40% da fondi nazionali italiani (Figura 24).

⁹ Nella Call europea “Large scale validation of fuel cell bus fleets” (Deadline 03 May 2016) è definito un finanziamento pari a 200,000 € per standard bus (il cui costo non deve superare i 650,000 €). Per le stazioni di rifornimento è definito un finanziamento di 1,200,000 € per grandi stazioni (20 autobus) e 600,000 € per piccole stazioni (10 autobus) <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/12145-fch-01-9-2016.html>



5 Appendici

5.1 Dimensionamento del parco veicoli FCEV

Tabella 4: Scenario MobilitàH2IT, analisi comparativa del costo autovetture e autobus in versione diesel e FCEV

| Costo in euro | Fonte | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|--------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Autovettura diesel | [4] | 19,288 | 20,086 | 20,883 | 21,119 | 21,355 | 21,590 | 21,826 |
| Autovettura FCEV | [4] | 51,400 | 36,794 | 22,188 | 22,134 | 22,080 | 22,025 | 21,971 |
| Autobus diesel | [6] | 233,000 | 238,000 | 244,000 | 246,755 | 249,509 | 252,264 | 255,018 |
| Autobus FCEV | [6] | 570,000 | 420,000 | 320,000 | 319,218 | 318,435 | 317,653 | 316,870 |

Tabella 5: Scenario MobilitàH2IT, parametri tecnici per le autovetture FCEV per gli autobus FCEV

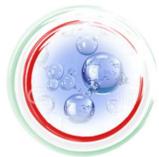
| FCEV | Fonte | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|--|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fuel economy autovettura FCEV (kgH ₂ /100 km) | [4] | 1.00 | 0.90 | 0.80 | 0.75 | 0.70 | 0.65 | 0.6 |
| Life-time autovettura FCEV (anni) | [4] | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Percorrenza annua (km/anno) autovettura FCEV | [14] | 12,900 | 12,900 | 12,900 | 12,900 | 12,900 | 12,900 | 12,900 |
| Fuel economy autobus FCEV (kgH ₂ /100 km) | [6] | 8.6 | 7.95 | 7.3 | 6.98 | 6.65 | 6.32 | 6.00 |
| Life-time autobus FCEV (anni) | [6] | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Percorrenza annua (km/anno) autobus FCEV | [6] | 68,000 | 68,000 | 68,000 | 68,000 | 68,000 | 68,000 | 68,000 |



5.2 Produzione dell'idrogeno per il settore dei trasporti

Tabella 6: Parametri economici e tecnici utilizzati per la produzione idrogeno nello Scenario MobilitàH2IT

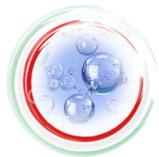
| Parametro | Unità | Fonte | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|------------------------------------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Gas da rete | €/MWh | [20] | 45.76 | 48.09 | 50.55 | 53.13 | 55.84 | 58.68 | 61.68 |
| Elettricità da rete | €/MWh | [20] | 186.30 | 195.80 | 205.79 | 216.28 | 227.32 | 238.91 | 251.10 |
| Elettricità on-site | €/MWh | [21] | 67.43 | 70.87 | 74.48 | 78.28 | 82.27 | 86.47 | 90.88 |
| Costo di trasporto H2 (camion gas) | €/kg | [6] | 2 | 2.10 | 2.21 | 2.32 | 2.44 | 2.56 | 2.70 |
| Costi di finanziamento | % | [6] | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Margine di guadagno produzione | % | | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Margine di guadagno trasporto | % | | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| SMR efficienza | % | [4] | 77 | 80 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 |
| SMR life-time | anni | [4] | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| SMR CAPEX | €/kW | [4] | 435 | 377 | 319 | 315 | 312 | 308 | 305 |
| SMR OPEX | % CAPEX | [4] | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Elettrolizzatore efficienza | % | [4] | 74 | 75 | 75 | 76 | 77 | 77 | 78 |
| Elettrolizzatore life-time | anni | [4] | 10 | 11 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Elettrolizzatore CAPEX | €/kW | [4] | 1,088 | 859 | 631 | 600 | 569 | 538 | 508 |
| Elettrolizzatore OPEX | % CAPEX | [4] | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |



5.3 Dimensionamento delle stazioni di rifornimento

Tabella 7: Parametri economici e tecnici utilizzati per il dimensionamento delle stazioni rifornimento nello Scenario MobilitàH2IT

| Parametro | Unità | Fonte | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|-----------------------------------|------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Stazione 50 kg/giorno CAPEX | € | [10] | 850,000 | 700,000 | 550,000 | 550,000 | 550,000 | 550,000 | 550,000 |
| Stazione 100 kg/giorno CAPEX | € | [10] | 900,000 | 750,000 | 600,000 | 600,000 | 600,000 | 600,000 | 600,000 |
| Stazione 200 kg/giorno CAPEX | € | [10] | 1,000,000 | 850,000 | 700,000 | 700,000 | 700,000 | 700,000 | 700,000 |
| Stazione 500 kg/giorno CAPEX | € | [10] | 1,300,000 | 1,150,000 | 1,000,000 | 1,000,000 | 1,000,000 | 1,000,000 | 1,000,000 |
| Stazione 1000 kg/giorno CAPEX | € | [10] | 2,000,000 | 1,750,000 | 1,500,000 | 1,500,000 | 1,500,000 | 1,500,000 | 1,500,000 |
| Stazione 50 kg/giorno OPEX | €/kgH2 | [10] | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| Stazione 100 kg/giorno OPEX | €/kgH2 | [10] | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Stazione 200 kg/giorno OPEX | €/kgH2 | [10] | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Stazione 500 kg/giorno OPEX | €/kgH2 | [10] | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| Stazione 1000 kg/giorno OPEX | €/kgH2 | [10] | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Life-time | anni | [10] | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Costi di finanziamento | % | [6] | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Margine di guadagno distribuzione | % | | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Diesel | €/l | [19] | 1.74 | 1.83 | 1.92 | 2.02 | 2.12 | 2.23 | 2.35 |
| Fuel economy autovettura diesel | (l/100 km) | [11] | 6.00 | 5.71 | 5.43 | 5.29 | 5.16 | 5.03 | 4.91 |
| Fuel economy autobus diesel | (l/100 km) | [6] | 38.04 | 36.18 | 34.40 | 33.55 | 32.72 | 31.91 | 31.12 |



5.4 La prospettiva del consumatore



Figura 25: Scenario MobilitàH2IT, costo H2 alla pompa fino al 31/12/2050, in stazioni da 50, 100, 200, 500 e 1000 kg/giorno

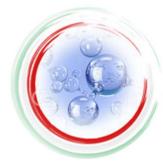
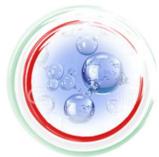


Figura 26: Scenario MobilitàH2IT, costo per la percorrenza di 100 km per autovetture/autobus FCEV e per autovetture/autobus Diesel



5.5 Considerazioni tecniche ed ambientali riassuntive

Tabella 8: Scenario MobilitàH2IT, analisi tecnica/ambientale quinquennale fino al 31/12/2050

| | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|---|-------|--------|---------|-----------|-----------|------------|------------|
| Stock autovetture FCEV | 1,000 | 27,014 | 290,388 | 1,603,962 | 4,107,151 | 6,750,623 | 8,530,090 |
| Stock autobus FCEV | 100 | 1,095 | 3,662 | 7,621 | 12,759 | 18,377 | 23,110 |
| Domanda H2 alla pompa autovetture (t/anno) | 129 | 3,228 | 31,250 | 161,286 | 395,537 | 633,211 | 765,147 |
| Domanda H2 alla pompa autobus (t/anno) | 585 | 6,101 | 19,232 | 38,899 | 62,853 | 87,237 | 105,915 |
| Domanda H2 alla pompa tot (t/anno) | 714 | 9,329 | 50,482 | 200,185 | 458,390 | 720,449 | 871,062 |
| Dimensione cumulata stazioni H2 autovetture (kg/giorno) | 505 | 11,793 | 114,155 | 589,173 | 1,444,884 | 2,313,101 | 2,795,057 |
| Dimensione cumulata stazioni H2 autobus (kg/giorno) | 2,003 | 18,571 | 58,545 | 118,413 | 191,334 | 265,563 | 322,421 |
| Dimensione cumulata stazioni H2 tot (kg/giorno) | 2,508 | 30,364 | 172,700 | 707,586 | 1,636,218 | 2,578,664 | 3,117,478 |
| N. stazioni H2 autovetture | 10 | 141 | 346 | 1,296 | 2,999 | 4,626 | 5,590 |
| N. stazioni H2 autobus | 10 | 56 | 96 | 156 | 222 | 266 | 322 |
| N. stazioni H2 tot | 20 | 197 | 442 | 1,452 | 3,221 | 4,892 | 5,912 |
| Produzione H2 da SMR (t/anno) | 535 | 4,664 | 12,620 | 12,620 | 12,620 | 12,620 | 12,620 |
| Produzione H2 da Elettrolisi (t/anno) | 357 | 6,997 | 50,482 | 237,611 | 560,367 | 887,941 | 1,076,207 |
| Consumo gas (GWh/anno) | 23 | 198 | 526 | 526 | 526 | 526 | 526 |
| Consumo elettricità (GWh/anno) | 16 | 314 | 2,252 | 10,522 | 24,654 | 38,862 | 46,953 |
| Riduzione CO2 con el da rete (t/anno) | 269 | 7,965 | 116,472 | 998,150 | 3,663,387 | 7,776,592 | 12,071,040 |
| Riduzione CO2 con el da rin (t/anno) | 5,066 | 92,278 | 654,768 | 3,068,437 | 7,472,364 | 12,138,896 | 15,357,744 |
| Riduzione PM10 (kg/anno) | 964 | 13,543 | 82,551 | 358,016 | 864,228 | 1,400,315 | 1,768,572 |
| Riduzione NOX (t/anno) | 49 | 627 | 3,159 | 11,886 | 27,455 | 43,981 | 55,525 |

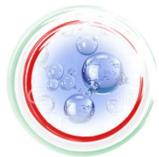
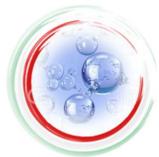


Tabella 9: Scenario MobilitàH2IT, analisi tecnica/ambientale annuale fino al 31/12/2025

| | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Stock autovetture FCEV | 1,000 | 2,657 | 5,157 | 9,833 | 17,013 | 27,014 |
| Stock autobus FCEV | 100 | 220 | 370 | 560 | 795 | 1,095 |
| Domanda H2 alla pompa autovetture (t/anno) | 129 | 339 | 648 | 1,215 | 2,067 | 3,228 |
| Domanda H2 alla pompa autobus (t/anno) | 585 | 1,276 | 2,127 | 3,186 | 4,479 | 6,101 |
| Domanda H2 alla pompa tot (t/anno) | 714 | 1,614 | 2,775 | 4,401 | 6,546 | 9,329 |
| Dimensione cumulata stazioni H2 autovetture (kg/giorno) | 505 | 1,237 | 2,368 | 4,439 | 7,552 | 11,793 |
| Dimensione cumulata stazioni H2 autobus (kg/giorno) | 2,003 | 3,884 | 6,474 | 9,699 | 13,634 | 18,571 |
| Dimensione cumulata stazioni H2 tot (kg/giorno) | 2,508 | 5,121 | 8,841 | 14,137 | 21,186 | 30,364 |
| N. stazioni H2 autovetture | 10 | 25 | 47 | 68 | 99 | 141 |
| N. stazioni H2 autobus | 10 | 19 | 32 | 39 | 46 | 56 |
| N. stazioni H2 tot | 20 | 44 | 79 | 107 | 145 | 197 |
| Produzione H2 da SMR (t/anno) | 535 | 1,130 | 1,804 | 2,641 | 3,600 | 4,664 |
| Produzione H2 da Elettrolisi (t/anno) | 357 | 888 | 1,665 | 2,861 | 4,582 | 6,997 |
| Consumo gas (GWh/anno) | 23 | 49 | 78 | 113 | 154 | 198 |
| Consumo elettricità (GWh/anno) | 16 | 40 | 75 | 129 | 206 | 314 |
| Riduzione CO2 con el da rete (t/anno) | 269 | 635 | 1,272 | 2,398 | 4,411 | 7,965 |
| Riduzione CO2 con el da rin (t/anno) | 5,066 | 12,322 | 22,722 | 38,461 | 60,902 | 92,278 |
| Riduzione PM10 (kg/anno) | 964 | 2,205 | 3,836 | 6,182 | 9,349 | 13,543 |
| Riduzione NOX (t/anno) | 49 | 111 | 191 | 299 | 441 | 627 |



5.6 Misure di sostegno al Piano Nazionale di Sviluppo

5.6.1 Misure giuridiche

Lo sviluppo della mobilità terrestre a idrogeno e fuel-cell è oggetto di un intenso lavoro di standardizzazione a livello internazionale, giunto oramai nella fase terminale.

Proprio per evitare una frammentazione delle competenze, ISO ha deciso di sviluppare in parallelo un intero pacchetto di standard che coprano tutti gli aspetti tecnici e di sicurezza riguardanti il rifornimento dei veicoli a idrogeno e fuel-cell. Questo approccio è stato seguito proprio per assicurare il massimo livello di sicurezza in tutto il sistema.

In particolare, la *ISO 19880-1: Gaseous hydrogen fueling stations - General requirements* raccomanderà le caratteristiche progettuali minime per garantire la sicurezza e, ove appropriato, le prestazioni delle stazioni di rifornimento pubbliche e “non pubbliche” (cioè per esempio quelle riservate al rifornimento di mezzi di trasporto pubblici) che forniscono idrogeno gassoso per veicoli di trasporto leggero (veicoli elettrici a fuel cell). Gli impegni iniziali sono proprio dedicati al rifornimento dei veicoli leggeri, ma una versione successiva sarà focalizzata anche sull’impiego per gli autobus e i carrelli elevatori. Lo standard (inizialmente diffuso come Technical Report, approvato in data 5 ottobre 2015, per raccogliere eventuali osservazioni dagli utilizzatori) sintetizza l’attuale esperienza e conoscenza nell’ambito del rifornimento con idrogeno, incluse le distanze di sicurezza suggerite e le alternative per i protocolli di rifornimento.

La *ISO 19880-2: Gaseous hydrogen - Fueling stations – Dispensers* fornisce le prescrizioni e i metodi di test della sicurezza per stazioni di rifornimento complete con idrogeno gassoso sia alla pressione di 35 MPa (350 bar) sia alla pressione di 70 MPa (700 bar).

La *ISO 19880-3: Gaseous hydrogen - Fueling stations – Valves* fornisce le prescrizioni e i metodi di test delle prestazioni di sicurezza delle valvole per gas idrogeno ad alta pressione (1 MPa e oltre) installate presso le stazioni di rifornimento per idrogeno gassoso.

La *ISO 19880-4: Gaseous hydrogen - Fueling stations – Compressors* contiene le prescrizioni di sicurezza relative ai materiali, alla progettazione, alla costruzione e alla verifica di sistemi di compressione di idrogeno gassoso utilizzati nelle stazioni di rifornimento per idrogeno gassoso.

La *ISO 19880-5: Gaseous hydrogen - Fueling stations – Hoses* considera le prescrizioni relative alle manichette per idrogeno gassoso e le giunzioni di manichette impiegate per collegare il distributore alla pistola di rifornimento, ma anche a quelle utilizzate per le linee di spurgo del gas in zona sicura e quelle flessibili da poter utilizzare in altri punti dove è richiesta la flessibilità del collegamento.

La *ISO 19880-6: Gaseous hydrogen - Fueling stations – Fittings* specifica metodi uniformi per la valutazione e la verifica delle prestazioni dei raccordi, inclusi connettori e chiusure terminali utilizzati nelle stazioni di rifornimento per idrogeno gassoso.

Recentemente, sono anche partiti i lavori per lo sviluppo di altri due standard: *ISO 19880-7: Gaseous hydrogen - Fueling stations - Fueling protocols* e *ISO 19880-8: Gaseous hydrogen - Fueling stations - Hydrogen quality control*.

In Europa, oltre alla ISO 19880-1 in fase di pubblicazione, lo stato dell’arte dell’esperienza di settore può essere individuato nel documento EIGA (European Industrial Gases Association) IGC DOC 15/06/E “Gaseous



Hydrogen Stations". Il settore dei gas industriali ha un'esperienza secolare nel trasporto e stoccaggio dell'idrogeno, vantando livelli di sicurezza fra i migliori in campo industriale (con un indice di frequenza infortuni medio europeo dell'intero settore gas industriali e medicinali inferiore a 2 eventi per milione di ore lavorate). Sebbene il documento sia orientato alle installazioni di idrogeno per impiego industriale, esso riassume le migliori tecniche e pratiche disponibili atte a garantire la massima sicurezza nelle operazioni di compressione, purificazione, riempimento e stoccaggio di idrogeno gassoso.

I recipienti a pressione con materiali metallici sono progettati e fabbricati in Europa con normative, quali AD2000 Merkblatt o EN 13445, consolidate da anni di esperienza, con le quali vengono garantiti i requisiti di sicurezza richiesti dalla Direttiva Apparecchi a Pressione (PED, Pressure Equipment Directive) 97/23/CE, emanata dalla Comunità Europea, e recepita in Italia con il Decreto Legislativo n° 93/2000.

Riguardo ai recipienti per gas a 700 bar collocati sui veicoli esiste la specifica tecnica ISO/TS 15869 del 2009 intitolata "Gaseous hydrogen and hydrogen blends - Land vehicle fuel tanks". Un altro standard di riferimento è il "SAE J 2579 Compressed Hydrogen Vehicle Fuel Containers". In Europa le prescrizioni di sicurezza sono coperte dal "REGOLAMENTO (CE) N. 79/2009 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 14 gennaio 2009 relativo all'omologazione di veicoli a motore alimentati a idrogeno e che modifica la direttiva 2007/46/CE". La pressione di scoppio ammessa per questi recipienti è superiore al doppio della pressione normale di esercizio.

Maggiori dettagli sugli aspetti omologativi dei veicoli a idrogeno sono contenuti nel "REGOLAMENTO (UE) N. 406/2010 DELLA COMMISSIONE del 26 aprile 2010 recante disposizioni di applicazione del regolamento (CE) n. 79/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio relativo all'omologazione di veicoli a motore alimentati a idrogeno".

Come già detto, l'Italia ha cominciato a occuparsi di mobilità a idrogeno fin dal 2002 e degno di nota è il lavoro di collaborazione portato avanti dall'Università di Pisa con i settori industriali e i Vigili del Fuoco. Ciò ha portato nel 2006 alla pubblicazione del Decreto del Ministero dell'Interno 31 agosto 2006 "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio degli impianti di distribuzione di idrogeno per autotrazione".

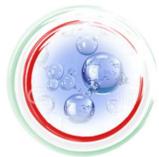
A livello italiano esistono allo stato attuale delle condizioni di legge più restrittive di quelle applicate negli altri Paesi e questo ha fatto sì che, in una prima fase, le case automobilistiche abbiano scartato l'Italia come mercato di sbocco iniziale delle auto a fuel-cell che saranno distribuite nei prossimi anni.

In particolare, la pubblicazione del Decreto 31 agosto 2006 avveniva prima dei più recenti e concreti sviluppi tecnologici a livello internazionale e prevedeva una limitazione a 350 bar della pressione di compressione ed erogazione di idrogeno presso le stazioni di servizio e sui veicoli.

Tale limitazione dovrà essere superata alla luce dei nuovi criteri di costruzione dei recipienti e di omologazione dei veicoli previsti dalle normative europee.

Riguardo alla mobilità nautica a idrogeno e fuel-cell non esiste ancora una trattazione sistematica della normativa.

A oggi, il Det Norske Veritas (DNV) è l'unico organismo notificato internazionale ad aver emanato un regolamento sull'utilizzo delle fuel cell a bordo ("DNV Fuel Cell Rules 2013"), mentre per l'idrogeno si fa riferimento alla più generale normativa per i gas ("DNV-Gas Fuelled Ship Installations"). DNV, per quanto riguarda la sicurezza dei moduli di potenza a celle a combustibile, fa riferimento alla norma IEC



(International Electrotechnical Committee) 62282-3-1, recentemente aggiornata dal TC105 – Fuel cells del IEC. Infatti, per i mezzi mobili diversi dai mezzi di trasporto passeggeri e merci terrestri è la IEC (e non l'ISO) ad emettere la normativa relativa ai moduli di potenza. In particolare la IEC 62282-3-1, emanata di concerto con il CENELEC, si riferisce ai sistemi di potenza basati su celle a combustibile per applicazioni stazionarie. Probabilmente il riferimento a questa norma, piuttosto che alle norme ISO riguardanti l'installazione su veicoli per l'autotrasporto, è motivata anche dal fatto che la norma IEC-62282-3-1 prende in considerazione anche l'installazione al chiuso (indoor) dei sistemi di potenza, situazione tipica in ambito navale.

Esistono inoltre delle linee guida per l'installazione delle celle a combustibile dell'organismo notificato francese BV (Bureau Veritas) e del tedesco GL (Germanischer Lloyd Aktiengesellschaft). Ancora una volta per la parte Idrogeno si fa riferimento alle norme per l'utilizzo di gas come combustibili.

A livello nazionale, l'ente preposto è il R.I.Na. (Registro Italiano Navale) che nel 2013 ha emanato le norme per l'utilizzo di gas come combustibili, ma non ha attualmente pubblicato né linee guida né norme tecniche specifiche sulle celle a combustibile. La norma RINA ha parzialmente anticipato le indicazioni della norma IMO (International Maritime Organization) approvata a Giugno 2015 che prevede dei cambiamenti alle direttive SOLAS chapter II-1 (Construction – Structure, subdivision and stability, machinery and electrical installations) a partire dal 1/1/2017. La norma IMO include tutti i gas e i combustibili a basso punto di ignizione (Low Flashpoint) quindi anche l'idrogeno, che invece non è ancora specificamente considerato nella norma RINA.

Pur non esistendo ancora una normativa estesa e completa, è prevedibile che in pochi anni si giunga ad avere un quadro normativo completo anche in tema di utilizzo navale dell'idrogeno, vista la sempre maggiore produzione di prototipi nautici ad idrogeno e fuel-cell.

Per altri aspetti relativi alla sicurezza antincendio è sempre stata consuetudine in Italia fare riferimento alla corrispondente normativa per il metano. In particolare il Decreto 24 novembre 1984 "Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8" e il Decreto 16 aprile 2008 "Regola tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio e sorveglianza delle opere e dei sistemi di distribuzione e di linee dirette del gas naturale con densità non superiore a 0,8". Nel caso di impianti collocati all'aperto si chiedono distanze di sicurezza minima di 10 m ridotte a 2 m in presenza di schermi protettivi (costruzioni in muratura, in terra o materiale idonei); per le parti d'impianto sotto pressione (escluse tubature) una distanza minima 2 m dalla recinzione.

Anche in questo caso sarebbe opportuno recepire gli standard internazionali sui criteri costruttivi delle stazioni di rifornimento di idrogeno gassoso, superando il solo criterio delle protezioni in muratura. L'idrogeno è un gas estremamente leggero, che si disperde molto rapidamente, e tali proprietà vanno considerate nella scelta degli apprestamenti di sicurezza più idonei in caso di fuoriuscita accidentale.

La già citata norma ISO 19880-1, in fase di pubblicazione, riporta in Annesso A una tabella riassuntiva delle prescrizioni nazionali vigenti nei diversi Paesi del mondo in termini di distanze di sicurezza. Riportiamo in particolare il confronto con i valori stabiliti a livello italiano.



5.6.2 Misure finanziarie

Tabella 10: Scenario MobilitàH2IT, analisi finanziaria quinquennale fino al 31/12/2050 (autovetture e autobus FCEV)

| CAPEX (euro) | 2020 | 2021-2025 | 2026-2030 | 2031-2035 | 2036-2040 | 2041-2045 | 2046-2050 |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Autovetture FCEV | | | | | | | |
| TOTALE | 51,414,744 | 1,046,697,805 | 6,796,335,038 | 29,314,211,463 | 57,803,594,520 | 75,521,305,837 | 86,098,017,351 |
| pubblico Europa | 9,636,363 | 126,983,458 | 161,795,120 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| pubblico Italia | 6,424,242 | 84,655,639 | 107,863,413 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| priv e PL | 35,354,138 | 835,058,708 | 6,526,676,505 | 29,314,211,463 | 57,803,594,520 | 75,521,305,837 | 86,098,017,351 |
| Autobus FCEV | | | | | | | |
| TOTALE | 57,000,000 | 464,258,295 | 909,850,123 | 1,443,982,515 | 2,230,734,103 | 2,950,229,010 | 3,401,757,102 |
| pubblico Europa | 10,110,000 | 54,956,355 | 34,673,263 | 29,989,543 | 14,747,857 | 18,578,620 | 20,348,594 |
| pubblico Italia | 6,740,000 | 36,637,570 | 23,115,509 | 19,993,029 | 9,831,904 | 12,385,747 | 13,565,730 |
| priv e PL | 40,150,000 | 372,664,369 | 852,061,350 | 1,393,999,943 | 2,206,154,343 | 2,919,264,643 | 3,367,842,778 |
| Stazioni H2 autovetture | | | | | | | |
| TOTALE | 8,585,632 | 102,874,660 | 212,661,132 | 950,035,578 | 1,712,366,287 | 1,758,990,588 | 1,168,721,867 |
| pubblico Europa | 2,060,552 | 21,603,679 | 38,279,004 | 114,004,269 | 102,741,977 | 52,769,718 | 35,061,656 |
| pubblico Italia | 1,373,701 | 14,402,452 | 25,519,336 | 76,002,846 | 68,494,651 | 35,179,812 | 23,374,437 |
| priv e PL | 5,151,379 | 66,868,529 | 148,862,793 | 760,028,462 | 1,541,129,658 | 1,671,041,059 | 1,110,285,773 |
| Stazioni H2 autobus | | | | | | | |
| TOTALE | 10,013,699 | 49,920,891 | 63,766,946 | 89,802,755 | 112,050,683 | 136,273,816 | 145,503,502 |
| pubblico Europa | 2,403,288 | 10,483,387 | 11,478,050 | 10,776,331 | 6,723,041 | 4,088,214 | 4,365,105 |
| pubblico Italia | 1,602,192 | 6,988,925 | 7,652,034 | 7,184,220 | 4,482,027 | 2,725,476 | 2,910,070 |
| priv e PL | 6,008,219 | 32,448,579 | 44,636,862 | 71,842,204 | 100,845,615 | 129,460,125 | 138,228,327 |
| Produzione H2 da SMR | | | | | | | |
| TOTALE | 1,043,876 | 7,342,997 | 12,179,538 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| pubblico Europa | 93,949 | 660,870 | 730,772 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| pubblico Italia | 62,633 | 440,580 | 487,182 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| priv e PL | 887,295 | 6,241,547 | 10,961,584 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produzione H2 da Elettrolisi | | | | | | | |
| TOTALE | 1,739,794 | 27,322,496 | 135,852,567 | 523,078,359 | 890,456,415 | 1,008,108,269 | 1,036,664,711 |
| pubblico Europa | 695,917 | 9,562,874 | 40,755,770 | 130,769,590 | 178,091,283 | 151,216,240 | 155,499,707 |
| pubblico Italia | 417,550 | 5,737,724 | 24,453,462 | 78,461,754 | 106,854,770 | 90,729,744 | 93,299,824 |
| priv e PL | 1,043,876 | 17,759,623 | 95,096,797 | 392,308,769 | 712,365,132 | 856,892,028 | 881,165,004 |
| TOTALE | 129,797,745 | 1,698,417,145 | 8,130,645,345 | 32,321,110,670 | 62,749,202,009 | 81,374,907,520 | 91,850,664,532 |
| pubblico Europa | 24,721,702 | 220,425,474 | 271,409,672 | 233,231,897 | 231,067,645 | 166,166,297 | 153,075,179 |
| pubblico Italia | 16,481,135 | 146,950,316 | 180,939,781 | 155,487,931 | 154,045,096 | 110,777,531 | 102,050,120 |
| priv e PL | 88,594,908 | 1,331,041,356 | 7,678,295,891 | 31,932,390,842 | 62,364,089,268 | 81,097,963,693 | 91,595,539,233 |

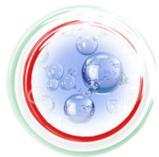


Tabella 11: Scenario MobilitàH2IT, analisi finanziaria quinquennale fino al 31/12/2050 (trasporto merci, ferroviario, navale e carrelli elevatori ad idrogeno)

| CAPEX (euro) | 2020 | 2021-2025 | 2026-2030 | 2031-2035 | 2036-2040 | 2041-2045 | 2046-2050 |
|--|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Trasporto merci ad idrogeno | | | | | | | |
| TOT pubblico UE&IT | 2,060,142 | 18,368,789 | 22,617,473 | 19,435,991 | 19,255,637 | 13,847,191 | 12,756,265 |
| pubblico Europa | 1,236,085 | 11,021,274 | 13,570,484 | 11,661,595 | 11,553,382 | 8,308,315 | 7,653,759 |
| pubblico Italia | 824,057 | 7,347,516 | 9,046,989 | 7,774,397 | 7,702,255 | 5,538,877 | 5,102,506 |
| Trasporto ferroviario ad idrogeno | | | | | | | |
| TOT pubblico UE&IT | 1,236,085 | 11,021,274 | 13,570,484 | 11,661,595 | 11,553,382 | 8,308,315 | 7,653,759 |
| pubblico Europa | 741,651 | 6,612,764 | 8,142,290 | 6,996,957 | 6,932,029 | 4,984,989 | 4,592,255 |
| pubblico Italia | 494,434 | 4,408,509 | 5,428,193 | 4,664,638 | 4,621,353 | 3,323,326 | 3,061,504 |
| Trasporto navale ad idrogeno | | | | | | | |
| TOT pubblico UE&IT | 1,236,085 | 11,021,274 | 13,570,484 | 11,661,595 | 11,553,382 | 8,308,315 | 7,653,759 |
| pubblico Europa | 741,651 | 6,612,764 | 8,142,290 | 6,996,957 | 6,932,029 | 4,984,989 | 4,592,255 |
| pubblico Italia | 494,434 | 4,408,509 | 5,428,193 | 4,664,638 | 4,621,353 | 3,323,326 | 3,061,504 |
| Carrelli elevatori ad idrogeno | | | | | | | |
| TOT pubblico UE&IT | 1,236,085 | 11,021,274 | 13,570,484 | 11,661,595 | 11,553,382 | 8,308,315 | 7,653,759 |
| pubblico Europa | 741,651 | 6,612,764 | 8,142,290 | 6,996,957 | 6,932,029 | 4,984,989 | 4,592,255 |
| pubblico Italia | 494,434 | 4,408,509 | 5,428,193 | 4,664,638 | 4,621,353 | 3,323,326 | 3,061,504 |
| TOT pubblico UE&IT | 5,768,397 | 51,432,611 | 63,328,923 | 54,420,776 | 53,915,784 | 38,772,136 | 35,717,542 |
| pubblico Europa | 3,461,038 | 30,859,566 | 37,997,354 | 32,652,466 | 32,349,470 | 23,263,282 | 21,430,525 |
| pubblico Italia | 2,307,359 | 20,573,044 | 25,331,569 | 21,768,310 | 21,566,313 | 15,508,854 | 14,287,017 |

Tabella 12: Scenario MobilitàH2IT, analisi finanziaria quinquennale fino al 31/12/2050 (tutte le tipologie di veicoli FCEV)

| CAPEX (euro) | 2020 | 2021-2025 | 2026-2030 | 2031-2035 | 2036-2040 | 2041-2045 | 2046-2050 |
|--------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| TOT pubblico UE&IT | 46,971,234 | 418,808,400 | 515,678,377 | 443,140,604 | 439,028,525 | 315,715,963 | 290,842,841 |
| pubblico Europa | 28,182,740 | 251,285,040 | 309,407,026 | 265,884,362 | 263,417,115 | 189,429,578 | 174,505,705 |
| pubblico Italia | 18,788,494 | 167,523,360 | 206,271,351 | 177,256,241 | 175,611,410 | 126,286,385 | 116,337,136 |



Tabella 13: Scenario MobilitàH2IT, analisi finanziaria annuale fino al 31/12/2025 (autovetture e autobus FCEV)

| CAPEX (euro) | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Autovetture FCEV | | | | | | |
| TOTALE | 51,414,744 | 80,328,965 | 113,893,366 | 199,369,099 | 285,156,905 | 367,949,470 |
| pubblico Europa | 9,636,363 | 11,545,109 | 15,570,273 | 25,665,683 | 34,100,961 | 40,101,432 |
| pubblico Italia | 6,424,242 | 7,696,739 | 10,380,182 | 17,110,455 | 22,733,974 | 26,734,288 |
| privato e PL | 35,354,138 | 61,087,117 | 87,942,911 | 156,592,961 | 228,321,970 | 301,113,750 |
| Autobus FCEV | | | | | | |
| TOTALE | 57,000,000 | 64,800,000 | 76,500,000 | 91,080,000 | 105,880,500 | 125,997,795 |
| pubblico Europa | 10,110,000 | 8,812,800 | 9,900,000 | 11,111,760 | 12,028,025 | 13,103,771 |
| pubblico Italia | 6,740,000 | 5,875,200 | 6,600,000 | 7,407,840 | 8,018,683 | 8,735,847 |
| privato e PL | 40,150,000 | 50,112,000 | 60,000,000 | 72,560,400 | 85,833,792 | 104,158,177 |
| Stazioni H2 autovetture | | | | | | |
| TOTALE | 8,585,632 | 11,997,308 | 17,869,051 | 16,919,460 | 24,279,803 | 31,809,038 |
| pubblico Europa | 2,060,552 | 2,519,435 | 3,752,501 | 3,553,087 | 5,098,759 | 6,679,898 |
| pubblico Italia | 1,373,701 | 1,679,623 | 2,501,667 | 2,368,724 | 3,399,172 | 4,453,265 |
| privato e PL | 5,151,379 | 7,798,250 | 11,614,883 | 10,997,649 | 15,781,872 | 20,675,875 |
| Stazioni H2 autobus | | | | | | |
| TOTALE | 10,013,699 | 9,124,969 | 12,171,068 | 7,982,451 | 9,287,533 | 11,354,870 |
| pubblico Europa | 2,403,288 | 1,916,243 | 2,555,924 | 1,676,315 | 1,950,382 | 2,384,523 |
| pubblico Italia | 1,602,192 | 1,277,496 | 1,703,950 | 1,117,543 | 1,300,255 | 1,589,682 |
| privato e PL | 6,008,219 | 5,931,230 | 7,911,195 | 5,188,593 | 6,036,896 | 7,380,665 |
| Produzione H2 da SMR | | | | | | |
| TOTALE | 1,043,876 | 1,128,713 | 1,243,071 | 1,501,552 | 1,671,521 | 1,798,140 |
| pubblico Europa | 93,949 | 101,584 | 111,876 | 135,140 | 150,437 | 161,833 |
| pubblico Italia | 62,633 | 67,723 | 74,584 | 90,093 | 100,291 | 107,888 |
| privato e PL | 887,295 | 959,406 | 1,056,611 | 1,276,319 | 1,420,793 | 1,528,419 |
| Produzione H2 da Elettrolisi | | | | | | |
| TOTALE | 1,739,794 | 2,479,817 | 3,468,836 | 5,094,746 | 6,981,618 | 9,297,479 |
| pubblico Europa | 417,550 | 520,761 | 728,456 | 1,069,897 | 1,466,140 | 1,952,471 |
| pubblico Italia | 278,367 | 347,174 | 485,637 | 713,264 | 977,427 | 1,301,647 |
| privato e PL | 1,043,876 | 1,611,881 | 2,254,744 | 3,311,585 | 4,538,052 | 6,043,361 |
| TOTALE | 129,797,745 | 169,859,771 | 225,145,394 | 321,947,309 | 433,257,880 | 548,206,791 |
| pubblico Europa | 24,721,702 | 25,415,933 | 32,619,031 | 43,211,881 | 54,794,703 | 64,383,927 |
| pubblico Italia | 16,481,135 | 16,943,955 | 21,746,020 | 28,807,921 | 36,529,802 | 42,922,618 |
| privato e PL | 88,594,908 | 127,499,883 | 170,780,343 | 249,927,507 | 341,933,375 | 440,900,247 |

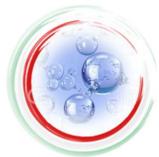
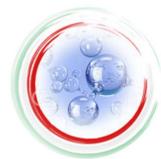


Tabella 14: Scenario MobilitàH2IT, analisi finanziaria annuale fino al 31/12/2025 (trasporto merci, ferroviario, navale e carrelli elevatori ad idrogeno)

| CAPEX (euro) | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|--|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Trasporto merci ad idrogeno | | | | | | |
| TOT pubblico UE&IT | 2,060,142 | 2,117,994 | 2,718,253 | 3,600,990 | 4,566,225 | 5,365,327 |
| pubblico Europa | 1,236,085 | 1,270,797 | 1,630,952 | 2,160,594 | 2,739,735 | 3,219,196 |
| pubblico Italia | 824,057 | 847,198 | 1,087,301 | 1,440,396 | 1,826,490 | 2,146,131 |
| Trasporto ferroviario ad idrogeno | | | | | | |
| TOT pubblico UE&IT | 1,236,085 | 1,270,797 | 1,630,952 | 2,160,594 | 2,739,735 | 3,219,196 |
| pubblico Europa | 741,651 | 762,478 | 978,571 | 1,296,356 | 1,643,841 | 1,931,518 |
| pubblico Italia | 494,434 | 508,319 | 652,381 | 864,238 | 1,095,894 | 1,287,679 |
| Trasporto navale ad idrogeno | | | | | | |
| TOT pubblico UE&IT | 1,236,085 | 1,270,797 | 1,630,952 | 2,160,594 | 2,739,735 | 3,219,196 |
| pubblico Europa | 741,651 | 762,478 | 978,571 | 1,296,356 | 1,643,841 | 1,931,518 |
| pubblico Italia | 494,434 | 508,319 | 652,381 | 864,238 | 1,095,894 | 1,287,679 |
| Carrelli elevatori ad idrogeno | | | | | | |
| TOT pubblico UE&IT | 1,236,085 | 1,270,797 | 1,630,952 | 2,160,594 | 2,739,735 | 3,219,196 |
| pubblico Europa | 741,651 | 762,478 | 978,571 | 1,296,356 | 1,643,841 | 1,931,518 |
| pubblico Italia | 494,434 | 508,319 | 652,381 | 864,238 | 1,095,894 | 1,287,679 |
| TOT pubblico UE&IT | 5,768,397 | 5,930,384 | 7,611,107 | 10,082,772 | 12,785,431 | 15,022,916 |
| pubblico Europa | 3,461,038 | 3,558,231 | 4,566,664 | 6,049,663 | 7,671,258 | 9,013,750 |
| pubblico Italia | 2,307,359 | 2,372,154 | 3,044,443 | 4,033,109 | 5,114,172 | 6,009,166 |

Tabella 15: Scenario MobilitàH2IT, analisi finanziaria annuale fino al 31/12/2025 (tutte le tipologie di veicoli FCEV)

| CAPEX (euro) | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
| TOT pubblico UE&IT | 46,971,234 | 48,290,272 | 61,976,158 | 82,102,574 | 104,109,936 | 122,329,460 |
| pubblico Europa | 28,182,740 | 28,974,163 | 37,185,695 | 49,261,544 | 62,465,961 | 73,397,676 |
| pubblico Italia | 18,788,494 | 19,316,109 | 24,790,463 | 32,841,029 | 41,643,974 | 48,931,784 |



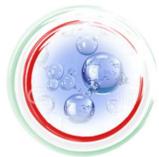
Abbreviazioni, acronimi e unità di misura

Abbreviazioni e acronimi

| |
|---|
| AL: annual load factor |
| BEV: battery electric vehicle |
| CAPEX: costi di investimento |
| DSM: demand side management |
| FC: fuel cell |
| FCEV: fuel cell electric vehicle |
| FER: fonti energetiche rinnovabili |
| GPL: gas di petrolio liquefatto |
| HEV: hybrid electric vehicle |
| ICE: internal combustion engine |
| OPEX: costi operativi e di manutenzione |
| PHEV: plug-in hybrid electric vehicle |
| RES: renewable energy sources |
| SEF: standard emission factor |
| SMR: steam methane reforming |
| T&D: transmission and distribution |
| TCO: total cost of ownership |
| VRE: variable renewable energy |
| WTW: well-to-wheel |

Unità di misura

| |
|---|
| €: euro |
| g: grammi |
| GW: gigawatt |
| kg: kilogrammi |
| km: kilometri |
| ktep: kilo tonnellate equivalenti di petrolio |
| kW: kilowatt |
| kWh: kilowatt hour |
| l: litri |
| m: metri |
| MPa: megapascal |
| Mt: megatonne |
| MWh: megawatt hour |
| t: tonnellate |
| TWh: terawatt hour |



Bibliografia

- [1] *Air quality in Europe*. European Environmental Agency. 2015 Report.
- [2] *Energia pulita per i trasporti: una strategia europea in materia di combustibili alternativi*. Commissione europea. Gennaio 2013.
- [3] *Direttiva 2014/94/UE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi*.
- [4] *Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells*. IEA. Giugno 2015.
- [5] *Fuelling Europe's future. How auto innovation leads to EU jobs*. Cambridge Econometrics (CE), in collaboration with Ricardo-AEA, Element Energy. 2013.
- [6] *Fuel Cell Electric Buses, Potential for Sustainable Public Transport in Europe. A Study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*. Settembre 2015.
- [7] *LIBRO BIANCO, Tabella di marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti - Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile*. Commissione Europea. Marzo 2011.
- [8] *Relazione finale del gruppo ad alto livello CARS 21*. Commissione europea. 6 giugno 2012.
- [9] *Fonti rinnovabili e rete elettrica in Italia. Considerazioni di base e scenari di evoluzione delle fonti rinnovabili elettriche in Italia*. Falchetta Massimo. ENEA. 2014.
- [10] *En route pour un transport durable*. Cambridge Econometrics. Novembre 2015.
- [11] *Hydro-gen: the energy transition in the making!* Pierre-Etienne Franc, Pascal Mateo. Manifesto. 2015..
- [12] *Air quality in Europe*. European Environmental Agency. 2015 Report.
- [13] *Annuario Statistico ACI 2015*.
- [14] *Le politiche dell'Unione europea: Trasporti*. Commissione Europea. Novembre 2014.
- [15] *Indagine conoscitiva sui prezzi finali dell'energia elettrica e del gas naturale. Memoria per l'audizione presso la 10° Commissione Industria, Commercio e Turismo del Senato della Repubblica*. AEEG. Aprile 2015.
- [16] *Newsletter del GME n.78 Gennaio 2015*.
- [17] *Mal'ARIA di città 2016*. Legambiente. Gennaio 2016.
- [18] *Regolamento (UE) N. 1291/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce il programma quadro di ricerca e innovazione (2014-2020) - Orizzonte 2020*. Commissione europea. Dicembre 2013.
- [19] *Mercato dei carburanti in Italia*. Ministero dello Sviluppo Economico.
Hydrogen Mobility in Europe and in the rest of the word. Cinque International. Policy brief 2015/01