FEDERMANAGER
BOLOGNA - FERRARA - RAVENNA

Tper
Cambia il movimento

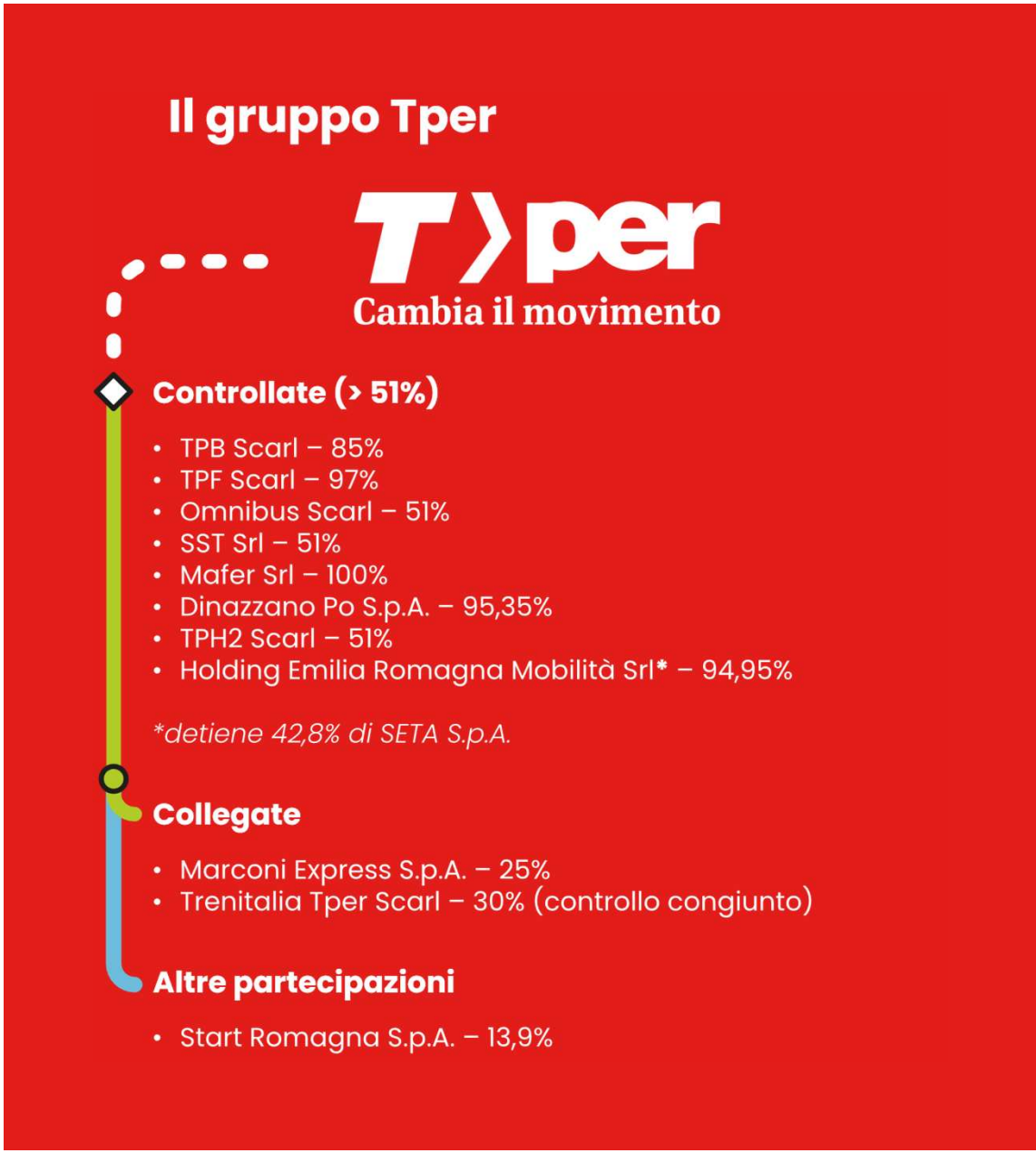
IL TPL A ZERO EMISSIONI

L'esperienza e l'energy mix di Tper e la sfida dell'idrogeno

Tommaso Palazzi

Resp. F. Organizzazione, Qualità, Ambiente e Sicurezza TPER S.p.A.
Resp. Servizio Prevenzione e Protezione - Corporate

ATTIVITÀ DIRETTE E SVILUPPO DEL GRUPPO



OBIETTIVO 2030

T>per
Cambia il movimento

Bologna è tra le 100 città europee selezionate per la sfida della **carbon neutrality** al 2030.

T>per è pronta a dare il proprio contributo.

In corso investimenti per oltre

269 MILIONI

In nuovi mezzi e infrastrutture

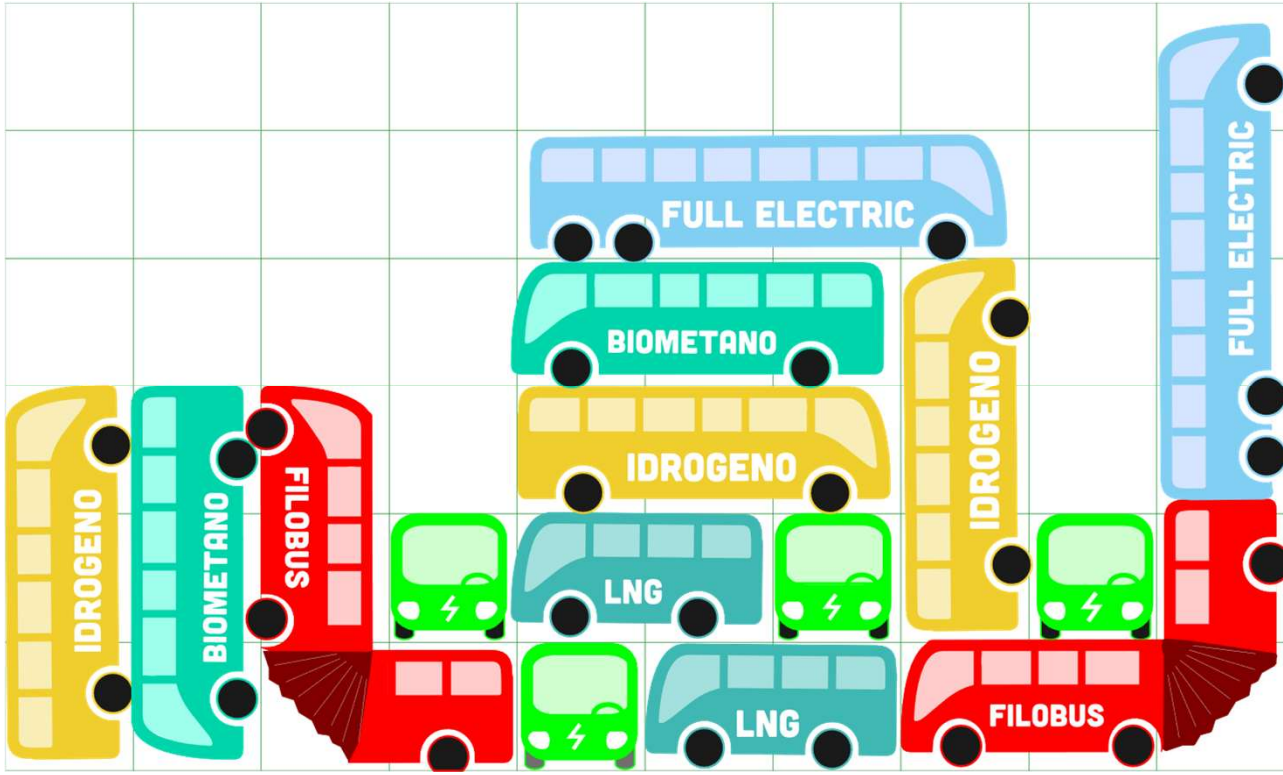


Mix di risposte a diverse esigenze

In base al profilo di missione

Cambia il movimento

- AUTONOMIA
- LIVELLI DI CARICO
- FLESSIBILITÀ
- INFRASTRUTTURAZIONE
- TIPOLOGIA DI VEICOLI



Il giusto energy mix per la flotta Tper

Tper
Cambia il movimento

Filobus

Linee portanti (evoluzione con progetto PIMBO) verso tecnologia IMC

Ibridi

Ibridi CNG e diesel
Tecnologia per la transizione

Elettrici

Overnight: 1 linea con necessità di autonomia limitata
Opportunity: con ricarica al capolinea

LNG / L-CNG

Tecnologia per suburbano ed extraurbano (elevata autonomia)
Nuove stazioni di rifornimento (Bologna e Ferrara)

Idrogeno

Tecnologia di rifornimento e impianti manutentivi

Tram

Linea Rossa e Linea Verde

Il progetto idrogeno

Con procedura di ricerca del **partner**: **nasce TPH²**

✓ **INFRASTRUTTURAZIONE**

TPH² è la società che si occupa di realizzare gli **impianti integrati per la ricarica di idrogeno** per gli autobus, secondo quanto previsto dalle scadenze del PNRR entro il 2026

SOCI: **51% Tper spa** **49% Hgeneration srl**
Gruppo Wolftank

Mezzi ad idrogeno, impianti di ricarica e aree di manutenzione

Cambia il movimento



Solaris Italia Urbino 12 Hydrogen



impianti di ricarica



Riqualificazione depositi

BUS a Idrogeno

T per
Cambia il movimento

Sono già state finalizzate importanti forniture di mezzi elettrici ad idrogeno destinati alle **linee urbane e suburbane** per le quali sono richieste una **maggiore autonomia** oggi non garantita dall'elettrico tradizionale e una **maggiore flessibilità di impiego** per linee minori.

A **Ferrara** il servizio con **10 mezzi a idrogeno** è attivo da **ottobre 2025**.

A **Bologna** il servizio con i primi mezzi a idrogeno di un lotto di **127 bus** è attivo da **giugno 2026**.

Entro il 2026	Entro il 2030
157	195

Nel **2030** il **12%**
della flotta sarà ad idrogeno



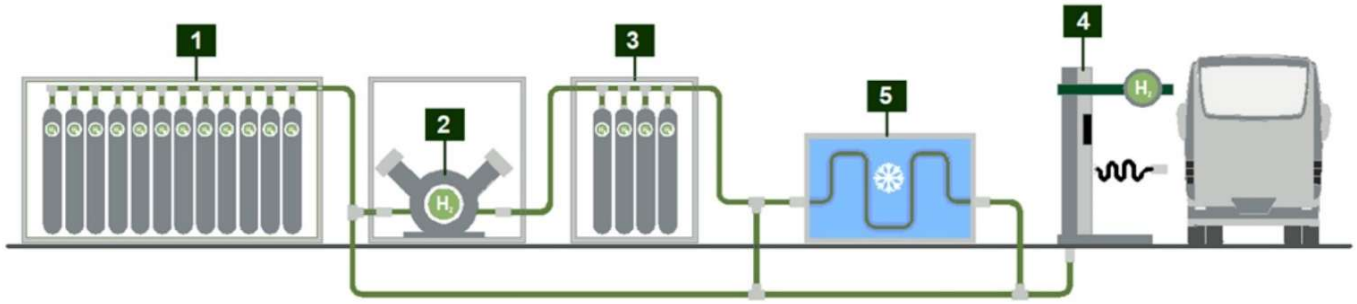
La progettazione ed i vincoli ambientali

Cambia il movimento

La scelta dell' area per la realizzazione del rifornimento è fondamentale ed è necessario valutare:

- I vincoli urbanistici che variano da comune a comune e che possono condizionare la realizzazione degli impianti di rifornimento;
- Gli elementi pericolosi ai sensi del DM 23.10.2018 che condizionano la realizzazione (Normativa Seveso)

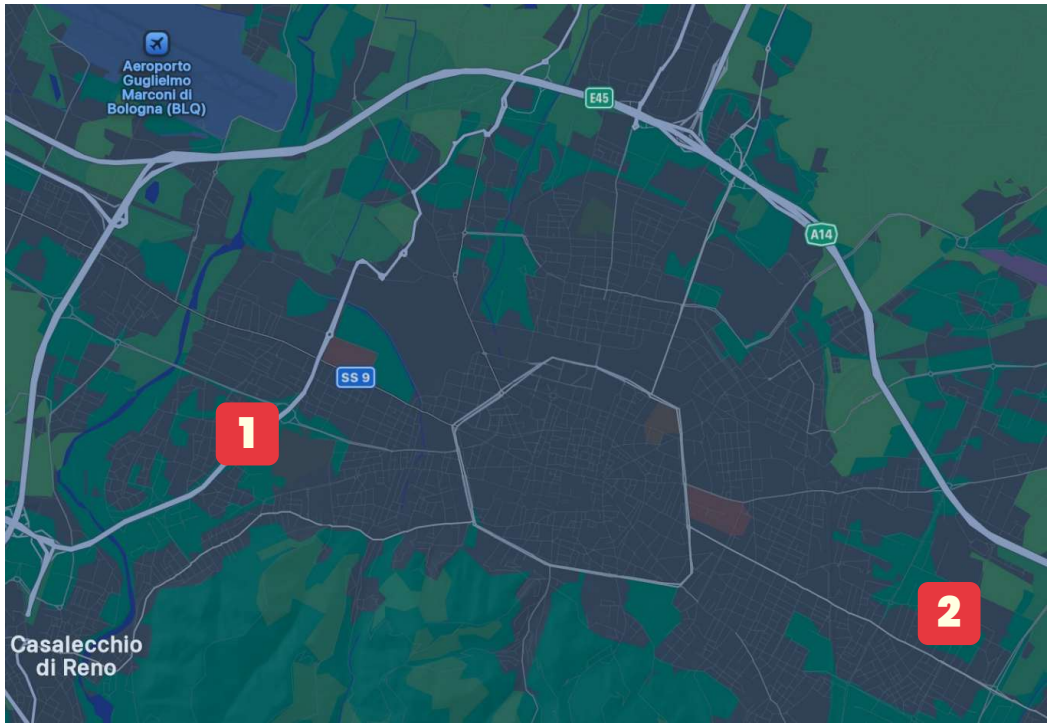
Rif.	descrizione
1	**Stoccaggio di alimentazione H^2** 200 bar o 500 bar (c.bombolato o container)
2	**Compressione H^2**
3	**Stoccaggio H^2 500 bar**
4	**Erogatore 350 bar**
5	**Sistema di raffreddamento H^2**



Schema di processo di impianto di rifornimento a 350 bar

Impianti di stoccaggio e rifornimento di Idrogeno

Cambia il movimento



1. Battindarno - Bologna
2. Due Madonne – Bologna
3. Trenti - Ferrara



Lo stato del progetto

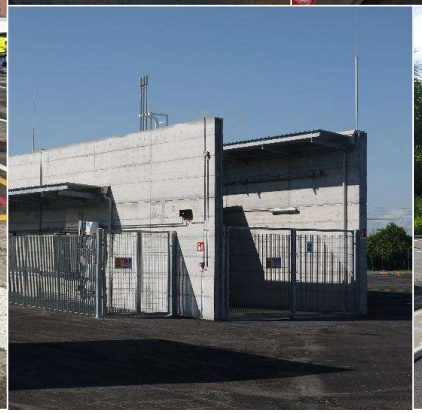
Tper
Cambia il movimento















Gli impianti di ricarica

Nel **2025** (nei pochi mesi di attività dell'impianto di **Ferrara**)
Con **3 mezzi** in esercizio abbiamo consumato

- Abbiamo percorso **25mila km** consumando **1433 kg**
- Una **percorrenza media di 17,5 km/kg**
- Le vetture hanno una **autonomia media di 350 km**
  e vengono rifornite nel Bacino di Ferrara ogni 2 giorni

ATTUALMENTE a Ferrara sono in esercizio regolare **10 mezzi**

Da Giugno 2026 sono entrati in esercizio i primi bus a idrogeno di **Bologna** dall'impianto **Battindarno**

A novembre 2026 è stato ottenuto l'esercizio provvisorio per l'impianto di **Due Madonne**



Officine di manutenzione

Cambia il movimento

Classificazione delle postazioni di lavoro in 4 fasce: **A01**, **A02**, **A03** e **A04** in funzione della complessità.

Nelle aree **A02**, **A03** e **A04**: *installazione (o ricollocazione) di* ***impianto fisso di rilevazione****; definizione delle* ***condizioni di utilizzo*** *delle postazioni e introduzione di controlli preliminari con* ***rilevatori portatili multi-gas****.*

Nelle aree **A01** ANCHE: **isolamento fisico** e funzionale dell'area; sostituzione (o l'adeguamento) delle apparecchiature presenti con **apparecchi idonei ATEX**, sistemi di **disattivazione automatica delle fonti di innesco**; collegamento del veicolo alle **pinze di messa a terra**; sistema di **ventilazione/estrazione coordinato con la rilevazione H_2**



Sicurezza senza deroghe

- Gli impianti di stoccaggio e rifornimento sono realizzati nel pieno rispetto dei requisiti tecnici e delle normative vigenti, inclusi i criteri di sicurezza antincendio previsti dal DM 23.10.2018
- Il processo autorizzativo si è svolto senza alcuna deroga rispetto alla normativa italiana, tra le più stringenti in Europa in materia di sicurezza
- L'intero sistema è progettato considerando **vincoli urbanistici** e **scenari di rischio**, assicurando un'**integrazione sicura nel contesto urbano**
- Gli impianti sono dotati di sistemi di sicurezza in esecuzione **SIL**, multilivello e ridondanti, supervisionati da un sistema SCADA, tra cui:
    - sensori di rilevamento continuo dell'idrogeno,
    - ventilazione forzata e dispersione controllata,
    - valvole automatiche di intercettazione,
    - impianti antincendio dedicati e compartimentazioni strutturali.



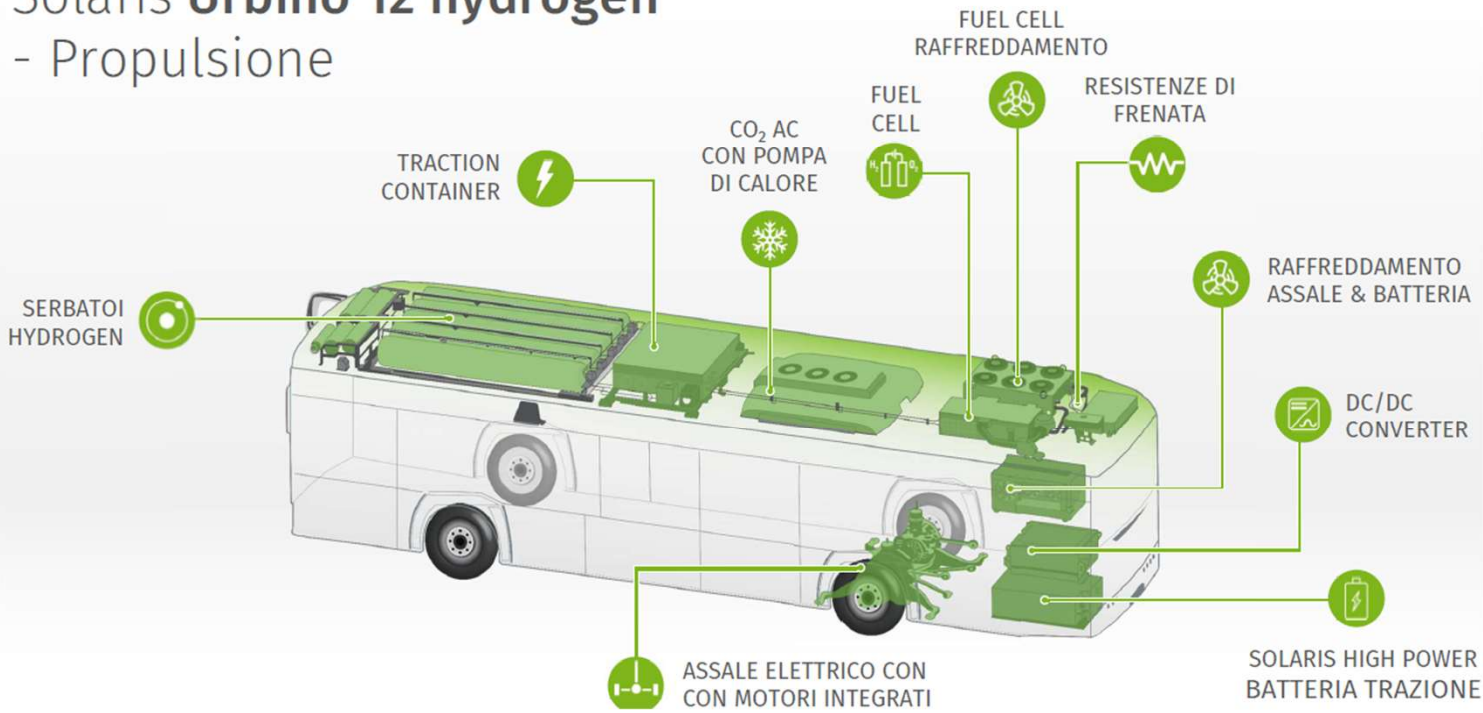
Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Autobus Solaris a idrogeno: caratteristiche

Solaris **Urbino 12 idrogeno**

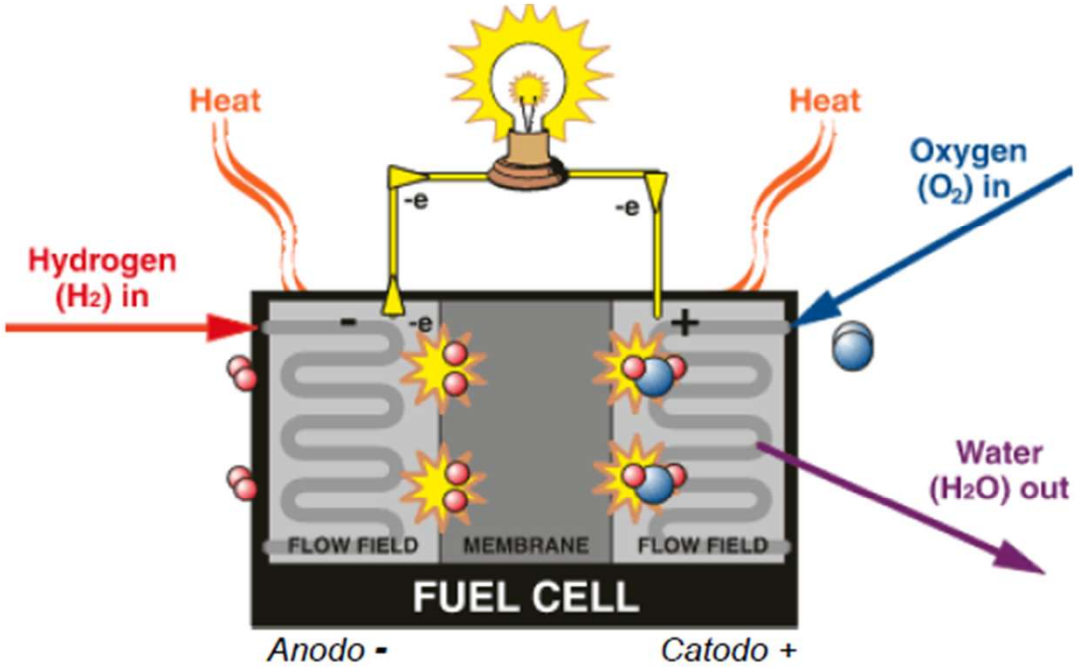
- 5 serbatoi
- **Tipo 4**
- Capacità liquida:
  1,560 l (5 X 312)
- Totale quantità di idrogeno stoccato:
  37.5 kg
- Quantità di idrogeno disponibile:
  34.2 kg
- Pressione di lavoro (a 15°C):
  350 Bar

Solaris **Urbino 12 hydrogen** - Propulsione

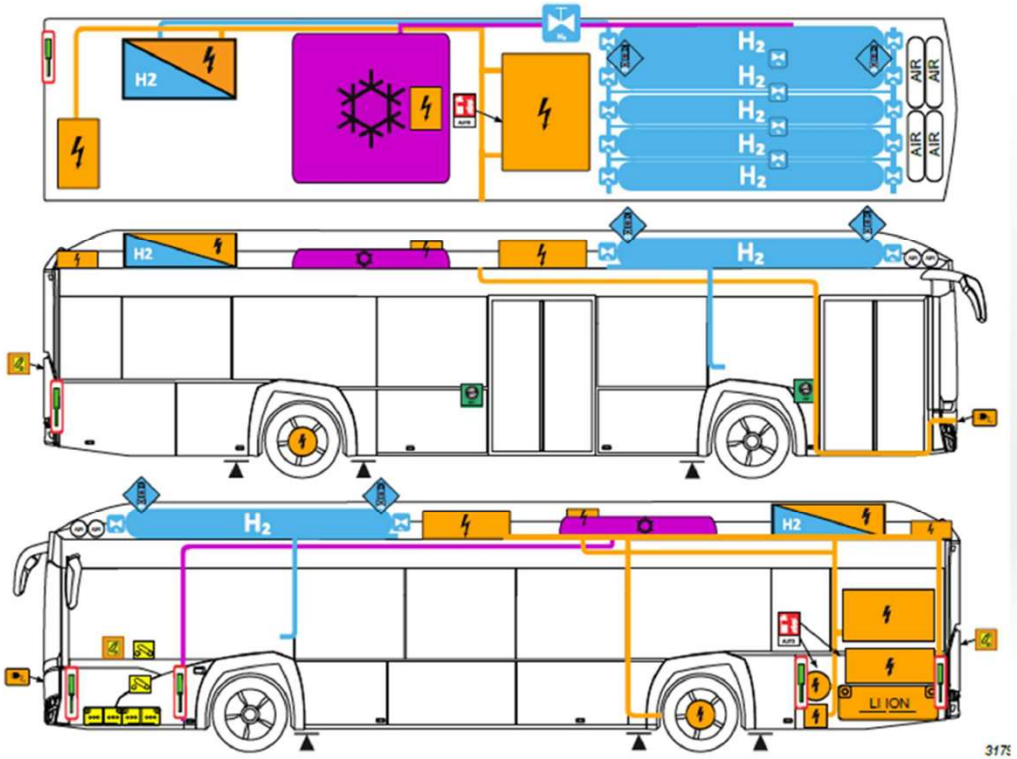


Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Autobus Solaris a idrogeno:
Cella a combustibile (fuel cell) e Rescue Sheet



$$2\,H_2 + O_2 \rightarrow 2\,H_2O + Energia$$



Rescue Sheet : Solaris Italia Urbino 12 Hydrogen

SISTEMI DI GESTIONE CERTIFICATI
CERTIQUALITY
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI EN ISO 45001:2023



Serbatoi Idrogeno

Tipo 4

20% peso in meno
rispetto alle precedenti
versioni di serbatoi

Serbatoi fatti interamente con

materiali compositi

Impregnati con resine epossidiche

Serbatoi fatti in fibra continua
senza **metalli interni di rivestimento**

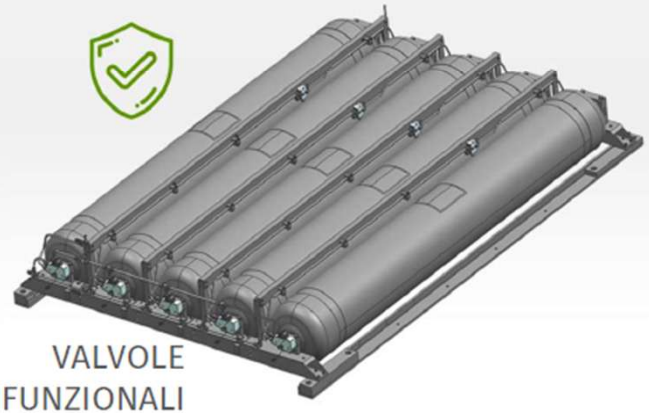


SISTEMI DI GESTIONE CERTIFICATI
CERTIQUALITY
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI EN ISO 45001:2023

Sicurezze del sistema



- **Valvole limitatrici di flusso**
  – taglio del flusso di gas in caso di perdita dal sistema
- **6 sensori di rilevamento dell'idrogeno**
  – monitorano la tenuta dell'impianto
  – situati vicino ai principali componenti del sistema ad idrogeno così come nell'abitacolo passeggeri
- Ogni serbatoio di idrogeno è costituito da una valvola multifunzionale
  1. Valvola **Elettromagnetica**
  2. Sensore **Temperatura**
  3. **3 x TPRD valvole per ogni serbatoio** rimozione sicura dell'idrogeno dall'impianto in caso di alte temperature e protezione dell'aumento pericoloso della pressione.
- **Bocchettone di riempimento** offre addizionali precauzioni di sicurezza



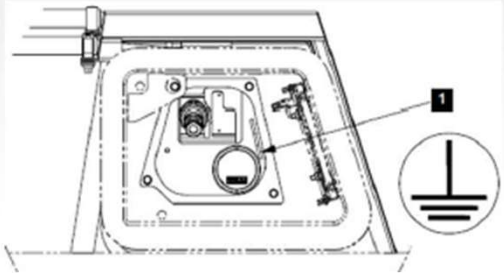
VALVOLE MULTIFUNZIONALI

Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Rifornimento di idrogeno

La procedura di rifornimento degli autobus a idrogeno dipende dalla stazione di rifornimento e dal tipo di comunicazione con l'autobus. Ecco perché ogni persona ha bisogno di leggere il manuale di rifornimento prima di avviare la procedura

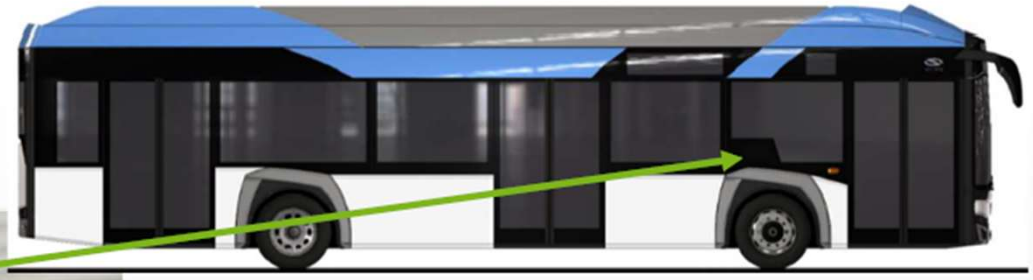




Rifornimento



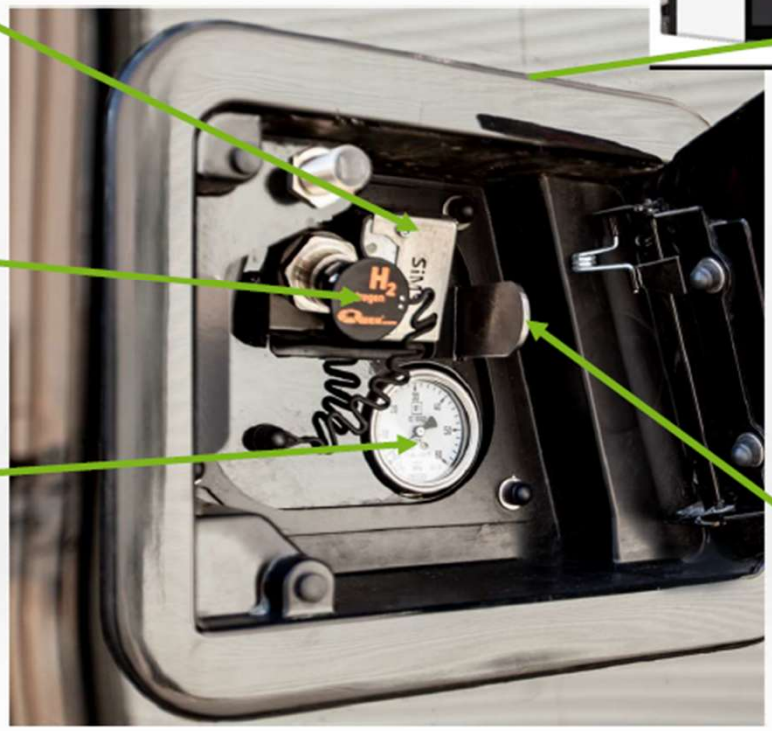
Rifornimento di idrogeno



Module supporto IrDA

Connettore Riempimento

Manometro

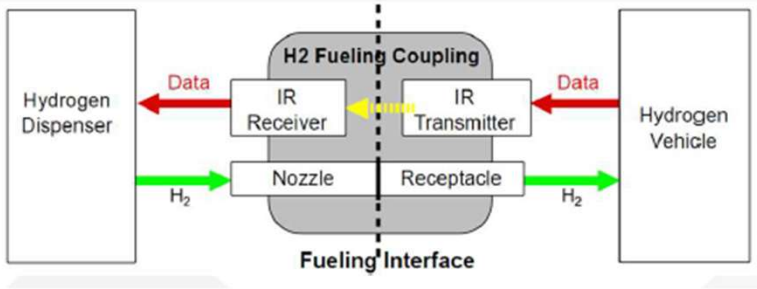




La connessione di rifornimento di idrogeno utilizzata è TN1 H2 High-flow che consente un flusso massimo di 120g/s (fornimento in 5-30 minuti). La velocità dipende dalla temperatura dell'idrogeno e dal metodo di comunicazione. Si raccomanda di utilizzare idrogeno refrigerato e comunicazione IrDA.

Punto di Terra



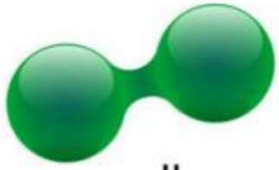


Idrogeno – H_2: caratteristiche

È incolore, inodore e non è tossico

È altamente infiammabile

È propenso a dare rilasci



Infragilisce molti materiali

È un gas molto più leggero dell'aria

Fiamma poco visibile e irraggiamento ridotto

- E' L'ELEMENTO PIU' ABBONDANTE NELL'UNIVERSO
  (allo stato elementare l'idrogeno è un gas inodore e incolore)
- E' COSTITUITO DA UN SOLO PROTONE E UN SOLO ELETTRONE

↓

E' il più leggero ($0{,}0899\ kg/m^3$)

-  ECOLA – DUE ATOMI - E' 14 VOLTE PIU' LEGGERA DELL'ARIA

↓

Tende a disperdersi negli spazi siderali. Per questa ragione l'idrogeno sul nostro pianeta è introvabile allo stato libero e si trova solo legato ad altri elementi

- FACILMENTE INFIAMMABILE
  - Temperatura di auto accensione 570°C in aria
  - Energia per l'ignizione molto bassa (1/10 rispetto al propano)
  - Intervallo di infiammabilità molto ampio: a 20°C; 1 atm: 4%-75% in aria *(Metano 5%-15%)*
  - Velocità di combustione elevata.
  - Brucia con fiamma incolore, molto calda ma ha un basso livello di calore radiante pertanto non surriscalda le zone vicine
- SCARSAMENTE REATTIVO
- NON TOSSICO o DANNOSO PER L'AMBIENTE
  - E' un asfissiante semplice.

Triangolo del fuoco

Il triangolo del fuoco è costituito da:

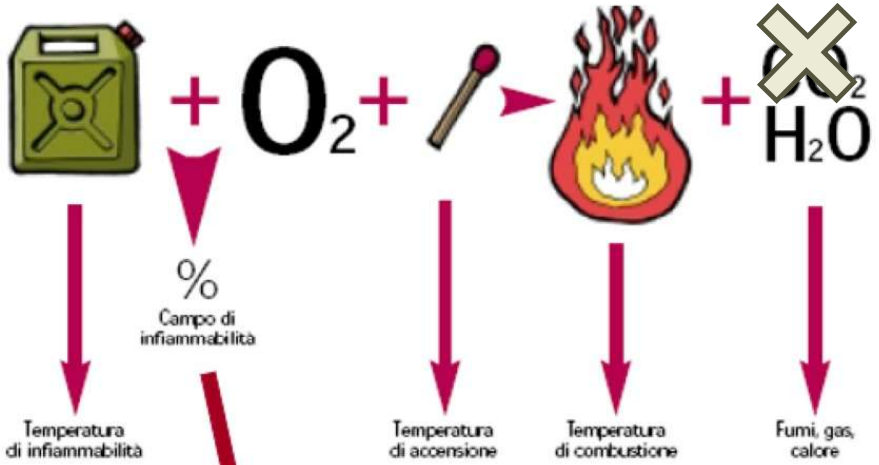


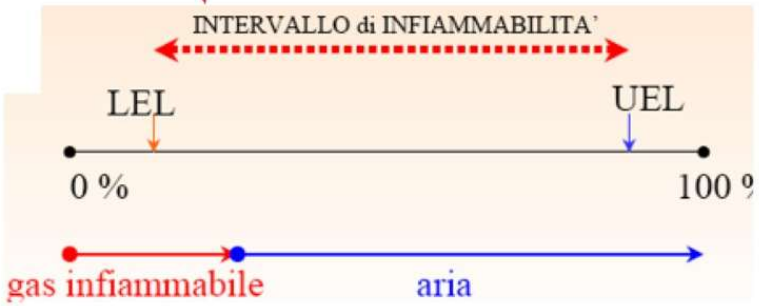
Combustibile: sostanza in grado di bruciare, in normali condizioni ambientali, allo stato solido, liquido o gassoso

Comburente: sostanza che permette al combustibile di bruciare, generalmente è l'ossigeno dell'aria

Calore : energia apportata dalla reazione a catena o da un agente (innesco) che provoca la combustione

Se una di queste tre componenti manca non si verifica l'incendio.





Limite di infiammabilità inferiore (LEL) Limite di infiammabilità superiore (UEL)

Con l'idrogeno non si ha produzione di CO_2

Energia minima di innesco: confronto tra idrogeno e metano

Material	MIE (mJ)
Gasoline	0.80
Ethanol	0.65
Propanol	0.65
Ethyl acetate	0.46
Methane	0.28
Propane	0.25
Ethane	0.24
Hexane	0.24
Methanol	0.14
Acetylene	0.017
Hydrogen	0.011
Carbon disulphide	0.009

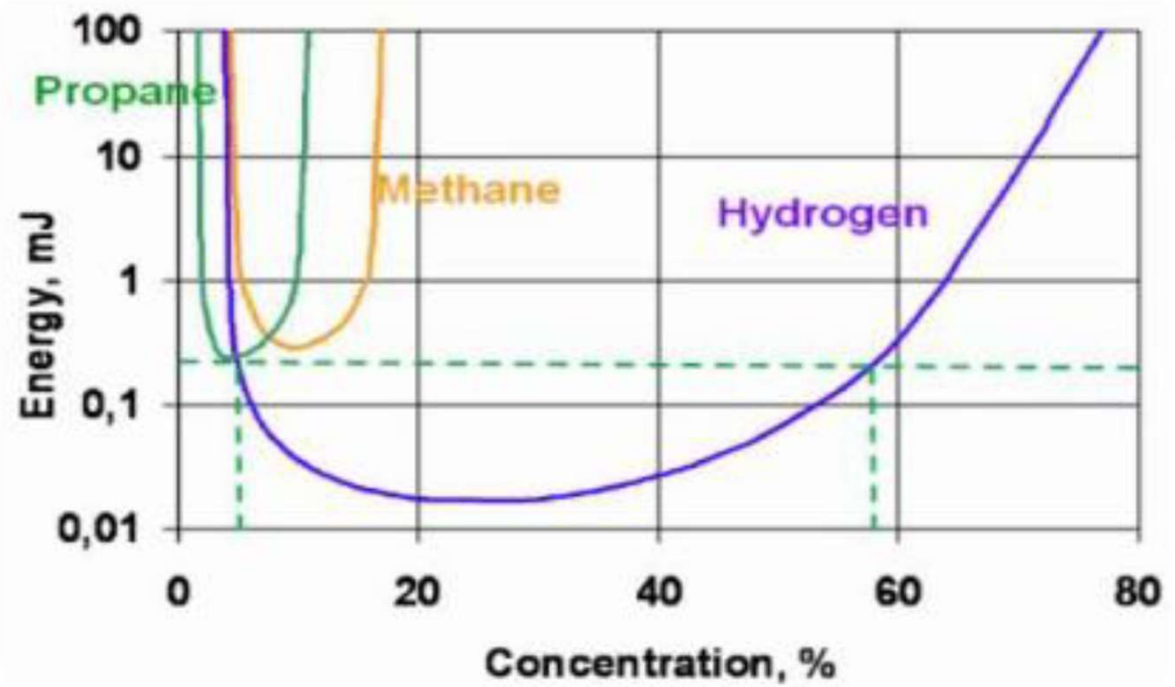


Figure 1: The ignition energy is depending on the amount of gas in air.

LA VALUTAZIONE DEI RISCHI DI ESPOSIZIONE AD ATMOSFERE ESPLOSIVE SECONDO IL D.LGS. 81/2008, TITOLO XI



Il Datore di Lavoro ha l'obbligo di effettuare la valutazione dei rischi di esposizione dei lavoratori ad atmosfere esplosive ai sensi dell'art. 88 quinquies D.Lgs. 233/'03 recepito nel D.Lgs. 81/2008, aggiornandola periodicamente in funzione di modifiche sostanziali nel frattempo intercorse.

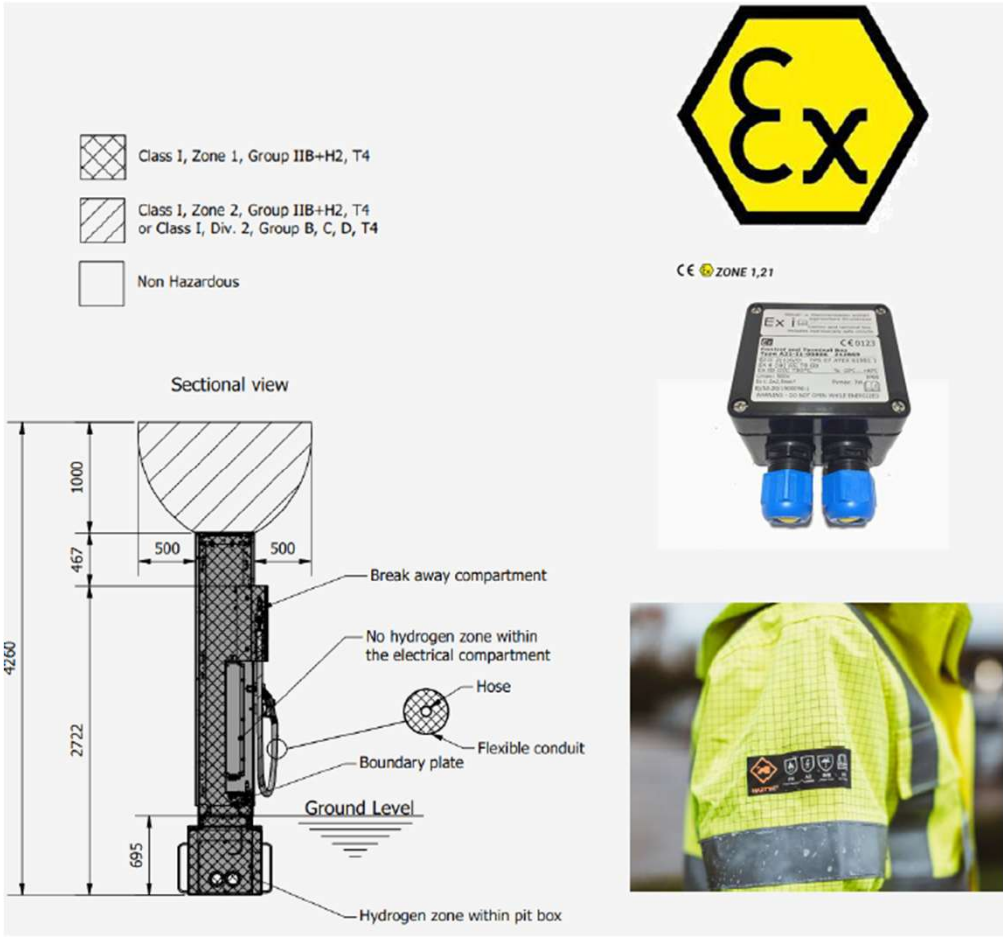
Il D.Lgs. 233/2003 si applica alle attività industriali in cui siano presenti sostanze in grado di formare un'atmosfera esplosiva, **ossia una miscela con l'aria, a condizioni atmosferiche, di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo accensione, la combustione si propaga all'insieme della miscela incombusta.**

Apparecchiature e dispositivi ATEX

- **ATEX** = *"Atmosphères Explosibles"* (Direttive UE relative alle atmosfere esplosive): definisce i requisiti per la progettazione e l'impiego di apparecchiature e impianti, al fine di **prevenire il rischio di esplosione** negli ambienti in cui possono essere presenti gas infiammabili, come l'idrogeno.

- **Classificazione delle aree – Esempio relativo ai gas:**
  - **Zona 0** – Atmosfera esplosiva presente **continuamente o per lunghi periodi**.
  - **Zona 1** – Atmosfera esplosiva che può essere presente **occasionalmente durante il normale funzionamento**.
  - **Zona 2** – Atmosfera esplosiva **normalmente non presente** e che, qualora si verifichi, permane **solo per un breve periodo**, ad esempio in condizioni anomale.

- L'applicazione dei requisiti **ATEX** consente di individuare correttamente **apparecchiature, sensori, sistemi di ventilazione e componenti elettrici** idonei alla zona classificata.



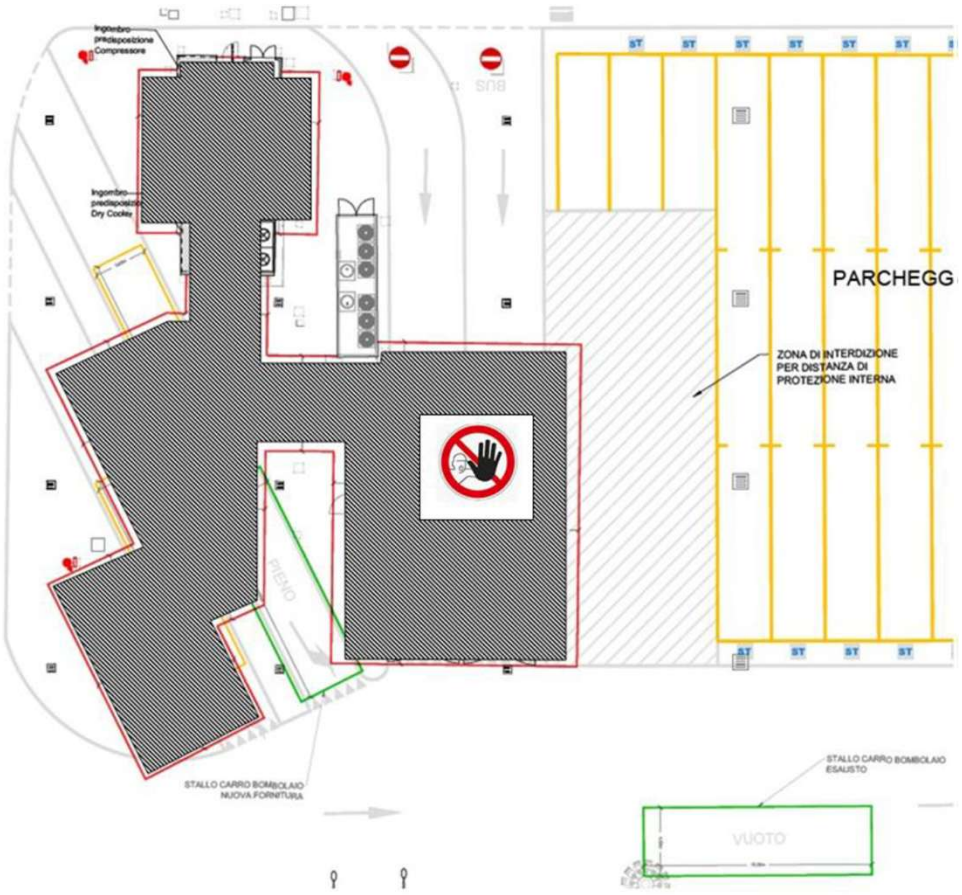
Regolamentazione accesso - Impianto rifornimento idrogeno



È fatto divieto assoluto di ingresso all'area dell'impianto idrogeno H2 (e alle relative zone ATEX delimitate con segnaletica orizzontale rossa —) al personale non espressamente autorizzato (Es. operatori di esercizio e altro personale non formato).



Nelle zone CLASSIFICATE ATEX è fatto divieto assoluto di fumare, usare fiamme libere o di utilizzare sostanze infiammabili. **È vietato utilizzare il cellulare o dispositivi non ATEX in un raggio di 15 mt dalle zone classificate come ATEX:** coloro che, nell'ambito della loro attività lavorativa, dovranno operare nelle zone ATEX, prima dell'avvio delle operazioni, dovranno depositare il proprio telefono cellulare in apposito box e indossare il Rilevatore portatile multi-gas Blackline G7, mantenendolo accesso con la modalità "push-to-talk" attiva.

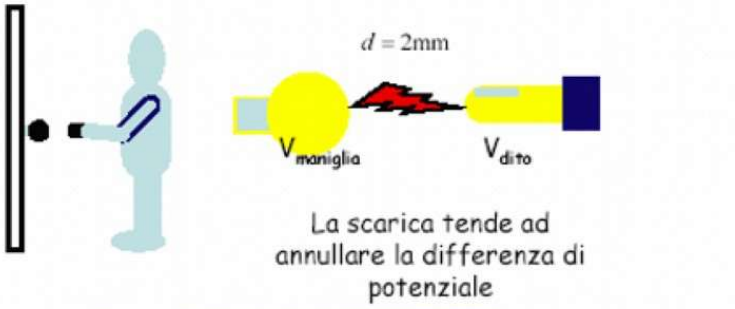


LA PROTEZIONE ANTISTATICA

Quando per effetto dell'accumulo delle cariche su un corpo la tensione supera la rigidità dielettrica del mezzo (aria), tra i due corpi si ha una scarica.

In presenza di atmosfere esplosive la scarica può essere in grado di costituirne l'innesco.

Per prevenire incidenti è pertanto necessario indossare DPI con proprietà antistatiche.





Simboli che consentono di identificare DPI con proprietà antistatiche

CE **EN 345:92 S1, S2, S3, S4, S5**

CE **EN 346:92 P1, P2, P3, P4, P5**

CE **EN 347:92 01, 02, 03, 04, 05**

Sulle scarpe antinfortunistica

CE



EN 1149-5:2018

Su altri DPI (es. guanti, tute, ecc.)

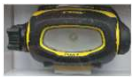
Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

ELENCO DPI E RELATIVE CARATTERISTICHE TECNICHE

Indumenti protettivi ad alta visibilità antistatici, ignifughi, con protezione dal calore e protezione chimica (pantaloni lunghi, maglie a maniche lunghe)	Rispondenza alle Norme Europee EN 1149-5 EN 343 EN 14058 Rct:3* AP:3* EN ISO 14116 EN ISO 20471 Classe:3 EN 13034 Tipo:PB6		
T-shirt modello manica corta ad alta visibilità, ignifuga, antistatica.	Rispondenza alle Norme Europee EN 1149-5 EN ISO 14116 Indice:1 EN ISO 20471 Classe:2 EN ISO 13688		
Calzature antistatiche ESD basse/alte a sfilamento rapido con caratteristiche antistatiche, antiscivolo, antischiacciamento.	Rispondenza alle Norme Europee EN ISO 20345 Valori:S3S FO LG SR EN 61340		
Indumenti protettivi ad alta visibilità antistatici, ignifughi, con protezione dal calore e protezione chimica (pantaloni lunghi, maglie a maniche lunghe)	Rispondenza alle Norme Europee EN ISO 11612 Comportamento alla Fiamma:A1 A2 Calore convettivo:B1 Calore radiante:C1 Calore da contatto:F1 EN 1149-5 IEC 61482-2 APC:1		

Indumenti protettivi ad alta visibilità antistatici, ignifughi, con protezione dal calore e protezione chimica (pantaloni lunghi, maglie a maniche lunghe)	Rispondenza alle Norme Europee EN ISO 11612 Comportamento alla Fiamma:A1 A2 Calore convettivo:B1 Calore radiante:C1 Calore da contatto:F1 EN 1149-5 IEC 61482-2 APC:1		
Guanti protettivi con caratteristiche ESD, conforme a IEC 61340-5-1 (ESD), antistatico/ATEX	CONFORMITÀ CE Cat. II UKCA Cat. II TP TC 019:2011 Informazioni/UIS EN 388:2016+A1:2018 3120X EN ISO 21420:2020 EN 16350:2014 R < 1,0 x 10⁹ Ω IEC 61340-5-1:2016 R < 1,0 x 10⁹ Ω		
Schermo facciale protettivo	EN 166 EN 170 EN ISO 16321-1 DGUV GS-ET-29		
Elmetto	EN 397 EN 50365 Classe:0		

ELENCO APPARECCHIATURE E RELATIVE CARATTERISTICHE TECNICHE

Rilevatori portatili multi-gas Blackline G7 	Il personale formato incaricato di svolgere le attività connesse al rifornimento degli autobus, alla manutenzione dell'impianto di ricarica H2 e delle sue parti principali e all'attività di collegamento e scollegamento dei carri bombolai, durante le operazioni è obbligato ad indossare il rilevatore portatile gas/uomo a terra e a tenerlo accesso con la modalità "push-to-talk" attiva. **In ZONA ATEX questo è l'unico dispositivo ammesso per le comunicazioni.** Allo stesso modo, il capo deposito, gli assistenti tecnici, il capo reparto RSP, il capo reparto Global Service o chi da questi incaricato, nelle fasce orarie di attività nell'impianto H2, sono obbligati a tenere accesi i rilevatori portati in modalità "push-to-talk" al fine di ricevere tempestivamente eventuali segnalazioni degli operatori.	
Termocamera portatile a infrarossi 	**N.B: L'idrogeno brucia con fiamma NON VISIBILE AD OCCHIO NUDO!** In caso di sospetto incendio PRIMA DI AVVICINARSI ALLA ZONA POTENZIALMENTE PERICOLOSA verificare con termocamera portatile le eventuali temperature anomale visualizzando la distribuzione del calore sulle superfici o oggetti. NOTA: la fuoriscita di idrogeno ad alta pressione è generalmente percepibile a livello uditivo perché associata ad un forte SIBILO.	
Rilevatore perdite /esplosimetro 	Utilizzare per la rilevazione delle perdite nelle **tubazioni/cunicoli/manichette/giunture** in caso di emergenza e durante le **verifiche periodiche** previste nella "Check list giornaliera – Impianto erogazione idrogeno TPER via Battindarno n°121 a Bologna".	
Scopa di saggina	In caso di sospetto incendio o perdita di idrogeno e mancata disponibilità della termocamera, PRIMA DI AVVICINARSI ALLA ZONA POTENZIALMENTE PERICOLOSA è possibile procedere gradualmente anteponendo mezzi come una scopa di saggina, al fine di individuare immediatamente eventuali anomalie.	
Torcia ATEX 	In caso di **scarsa visibilità**, utilizzare torcia ATEX.	
Cellulare ATEX 	Smartphone omologato per l'utilizzo in aree con rischio di esplosione ATEX. Un cellullare è in dotazione al personale del Reparto RSP e un cellullare è disponibile in officina (foto indicativa).	

Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Rilevatori portatili multi-gas Blackline G7



3.3 *Funzionalità Push-to-talk (walkie-talkie)*

Push-to-talk

I dispositivi sono configurati con un piano di servizio push-to-talk (PTT) che consente di inviare e ricevere messaggi vocali a e da altri utenti del dispositivo G7c, come un walkie-talkie. Gli utenti possono comunicare solo con dispositivi sintonizzati sullo stesso canale.

Il canale individuato per la comunicazione tra i dispositivi TPER è il numero **10**. Ogni deposito può concordare al suo interno un canale diverso per la comunicazione tra dispositivi assegnati al sito.

	Descrizione
Gas alarms	**Picco di gas** La notifica di picco di gas si attiva quando G7 rileva livelli di gas superiori alla soglia di concentrazione del picco di gas configurata dall'amministratore Blackline Live. NOTA: un dispositivo dotato di sensore di O2 attiva le notifiche di picco di gas sia in ambienti privi di ossigeno sia in ambienti arricchiti di ossigeno. Quando l'utente conferma una notifica di picco di gas, il banner e le spie del dispositivo riflettono lo stato di picco di gas finché le condizioni relative al gas tornano normali e l'evento di picco di gas risulta risolto. Se le condizioni dell'evento di picco di gas silenziato persistono per più di 60 secondi, la notifica di picco di gas si attiva nuovamente con spie, suoni e vibrazione fino alla risoluzione dell'evento di picco di gas. **Limite di esposizione a breve termine (STEL)** La notifica di limite di esposizione a breve termine (STEL) si attiva quando G7 rileva il raggiungimento del limite STEL configurato dall'amministratore Blackline Live. Il limite STEL si riferisce alla concentrazione di gas a cui l'utente può essere esposto continuamente per un periodo configurabile (15 minuti) senza che si verifichino effetti avversi per la salute. Il limite STEL rappresenta la media mobile di una lettura in diretta del gas nel corso di un intervallo di tempo configurato. Quando l'utente conferma la notifica, il banner e le spie del dispositivo riflettono lo stato di limite STEL finché le condizioni relative al gas svaniscono e l'evento STEL risulta risolto. **Media ponderata nel tempo (TWA)** La notifica di media ponderata nel tempo (TWA) si attiva quando G7 rileva il superamento della quantità consentita media di esposizione al gas durante un intervallo configurato (impostazione predefinita: otto ore). **Oltre il limite (OL)** La notifica di oltre il limite (OL) del sensore si attiva quando il dispositivo rileva che la lettura del gas ha superato l'intervallo del relativo sensore.
SOS alert	**Invio SOS** Se necessita di assistenza, l'utente può tirare il latch rosso per inviare manualmente un SOS al personale addetto al monitoraggio e richiedere aiuto immediato presso la sua posizione.
Fall detection	**Potenziale caduta rilevata** La notifica di potenziale caduta rilevata si attiva quando G7 rileva una modifica improvvisa della posizione. Se il dispositivo rileva una potenziale caduta e l'utente non risponde alla notifica a bassa urgenza di potenziale caduta rilevata, il dispositivo attiva una notifica a urgenza elevata di caduta rilevata.
No-motion detection	**Potenziale nessun movimento rilevato** La notifica di potenziale nessun movimento rilevato si attiva se l'utente non si muove per il periodo preimpostato. Se l'utente non si muove e non risponde alla notifica a bassa urgenza di potenziale nessun movimento rilevato, il dispositivo attiva una notifica a urgenza elevata di nessun movimento rilevato.
Check-in	**Mancato check-in** Le richieste di check-in possono essere configurate dall'amministratore Blackline Live. È possibile configurare sia il timer del check-in sia il tempo delle notifiche in attesa. Se l'utente non effettua il check-in durante la notifica di check-in a bassa urgenza, il dispositivo attiva una notifica a urgenza elevata di mancato check-in.

Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Impianto rifornimento idrogeno dep. Battindarno

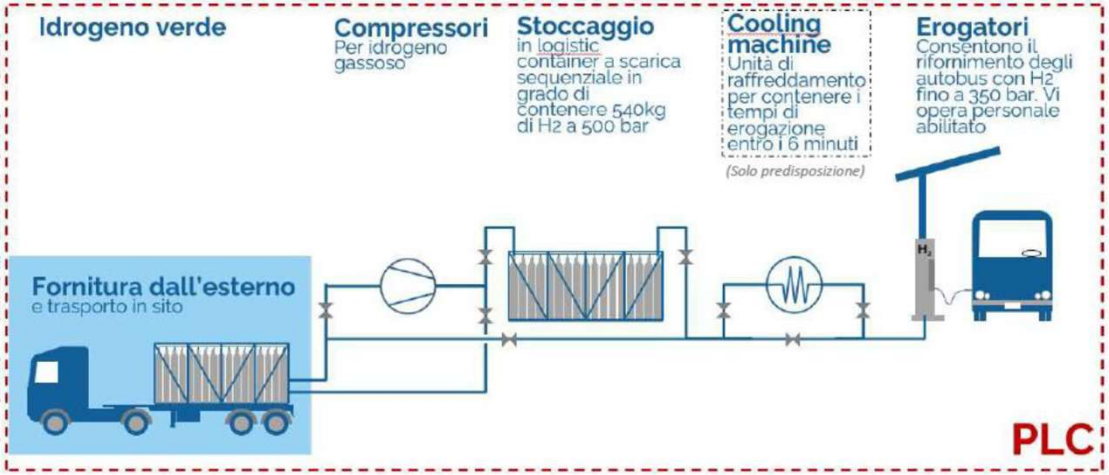


LEGENDA

CB	Baia 1 Carro bombolaio 200 bar
STO	Baia 2 Container stoccaggio mobile 500 bar
C1, C2	Compressore H_2, 30/300 bar → 500 bar *(C2 solo predisposizione)*
D1	Erogatore H_2 350 bar
D2	Erogatore H_2 350 bar
R1	Refrigeratore H_2 -20°C *(non installato al momento della stesura del presente*
P1	Pannello di connessione carro bombolaio
P2	Pannello di connessione H_2 compressori
P3	Pannello di distribuzione H_2
P4	Pannello di connessione container per stoccaggio mobile

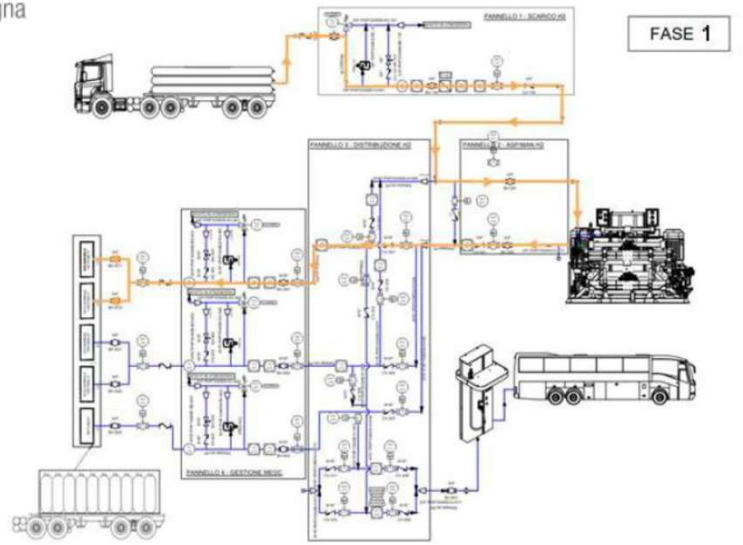
SAPIO

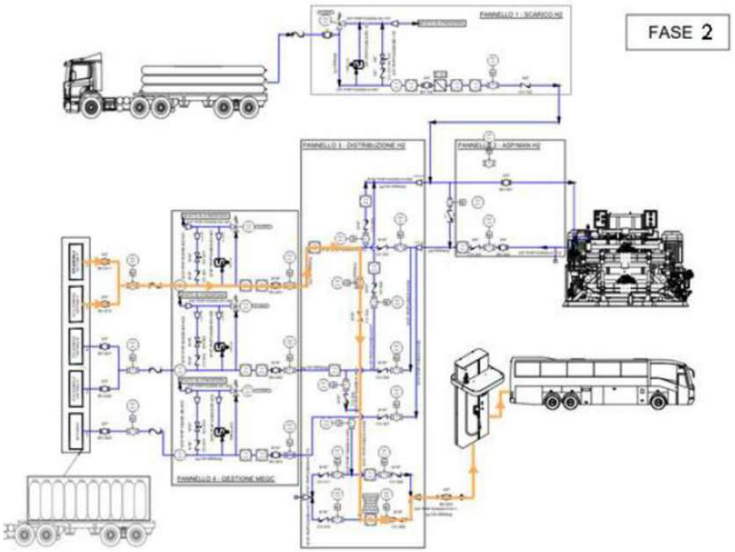
Logistic container



Processo di funzionamento dell'impianto (4 fasi)

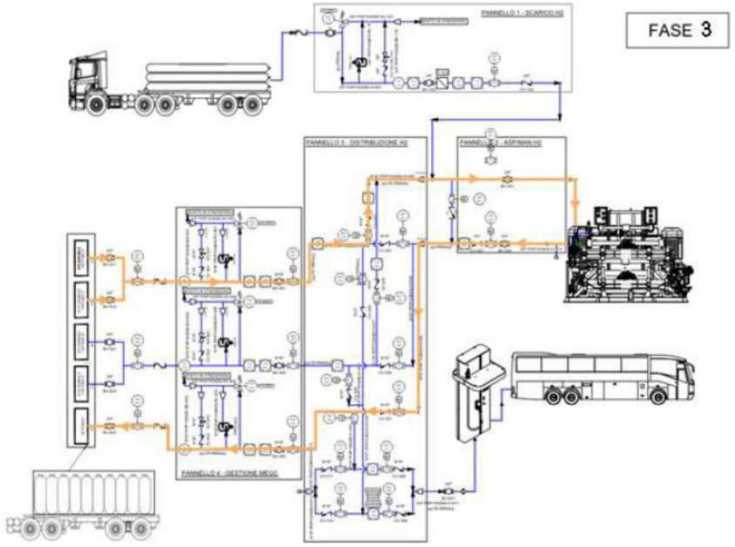
FASE 1:
COMPRESSIONE IDROGENO DA CARRO BOMBOLAIO A CONTAINER MOBILE

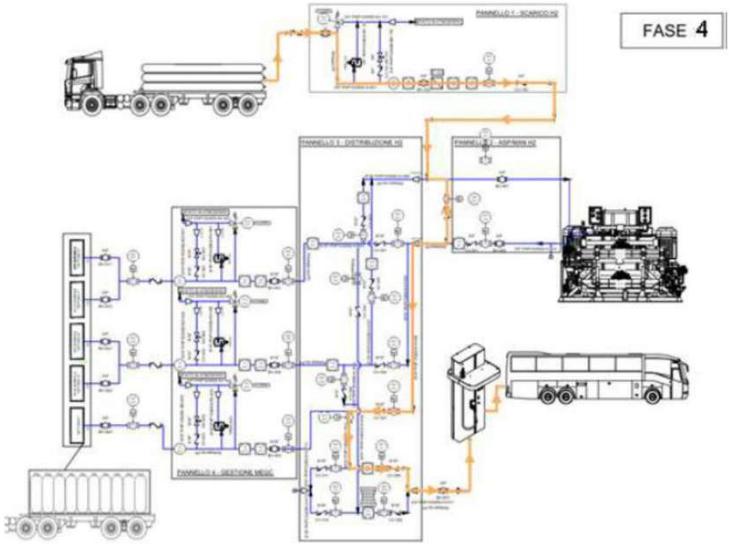




FASE 2:
RIFORNIMENTO BUS DA LOGISTIC CONTAINER

FASE 3:
COMPRESSIONE IDROGENO TRA SEZIONI DEL LOGISTIC CONTAINER





FASE 4:
RIFORNIMENTO DIRETTO DA CARRO BOMBOLAIO

Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

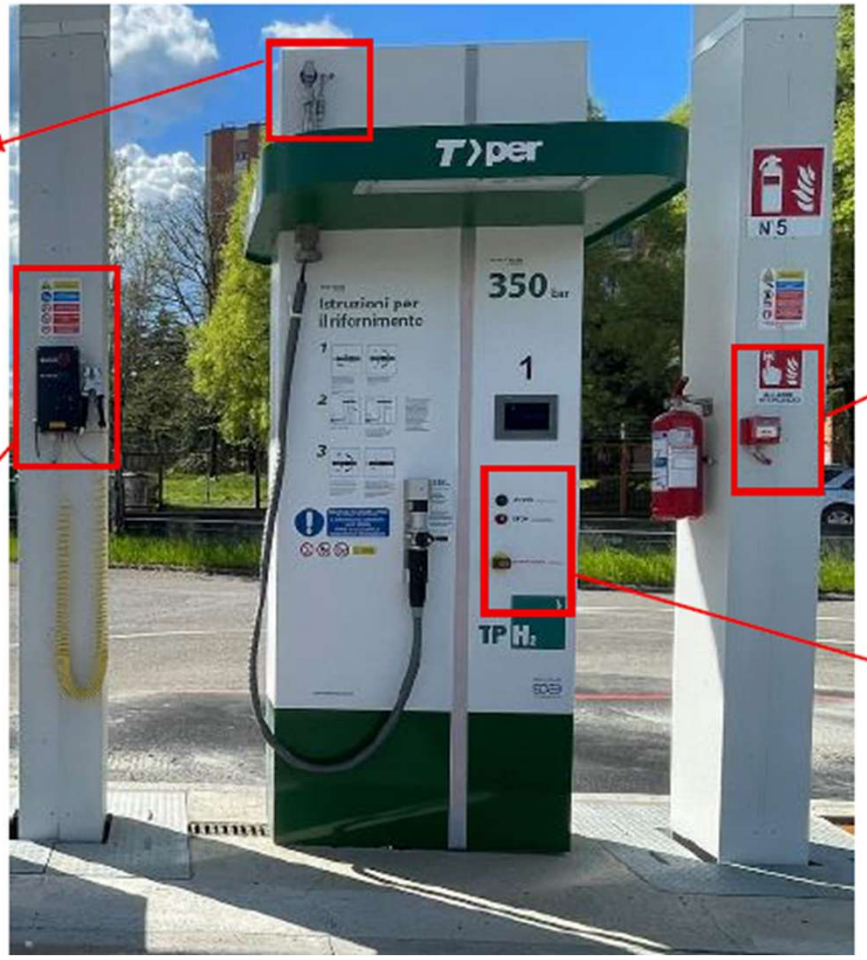
Rifornimento idrogeno - l'impianto:
Erogatore, pinza di messa a terra e colonnina Assytech















Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Rifornimento dei mezzi a idrogeno: modalità operative

IMPORTANTE	Le attività di rifornimento possono essere svolte esclusivamente da personale debitamente formato e abilitato.
	Durante le operazioni di rifornimento non è possibile eseguire le operazioni di sostituzione del carro bombolaio
È OBBLIGATORIO L'USO DEI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE (DPI)	Indossare i DPI Obbligatori per operazioni di rifornimento bus idrogeno (v. **Allegato F**): • INDUMENTI TRIVALENTI - EN11612 • SCARPE ANTISTATICHE - EN ISO 20345, S3, ESD, SRC • GILET ALTA VISIBILITÀ TRIVALENTE • GUANTI PROTEZIONE MECCANICA E ANTISTATICA - EN388:2016+A1:2018, EN16350:2014 • RILEVATORE MULTI-GAS TARATO PER IDROGENO (OMOLOGATO E CALIBRATO)





1) **RISPETTARE LE INDICAZIONI SICUREZZA**
- INDOSSARE GLI APPOSITI DPI PREVISTI
- NON FUMARE
- NON UTILIZZARE IL CELLULARE O ALTRI DISPOSITIVI NON ATEX
- PORTARE IN CINTURA IL RILEVATORE BLACKLINE VERIFICANDO CHE SIA CORRETTAMENTE ACCESO ED IN FUNZIONE

NOTA: le operazioni di rifornimento dei bus devono essere interrotte durante le operazioni di sostituzione del carro bombolaio

2) **POSIZIONARE IL BUS NEGLI SPAZI DELIMITATI DALLA LINEA GIALLA A TERRA E ASSICURARSI CHE:**
- IL BUS SIA CORRETTAMENTE FRENATO
- LA CHIAVE DI AVVIAMENTO DEL BUS SIA IN POSIZIONE 1 IN MODO CHE VENGA RIVELATA DAL QUADRO UN'EVENTUALE PERDITA RILEVATA DAI SENSORI DEL BUS
- A BORDO DEL BUS NON SIA PRESENTE NESSUNO









Rifornimento dei mezzi a idrogeno: modalità operative

3) VERIFICARE LO STATO DI FUNZIONAMENTO DELL'EROGATORE.



4) COLLEGAMENTO DELLA PINZA DI MESSA A TERRA DEL DISTRIBUTORE AL BUS

APRIRE LO SPORTELLO PER IL RIFORNIMENTO DEL BUS

- Girare il selettore presente sul coperchio del quadro dalla posizione di "**OFF**" a quella di "**ON**";
Accensione spia luminosa rossa
- Collegare la pinza di messa a terra al veicolo
- Girare il selettore dalla posizione di "**ON**" a quella di "**START**" per almeno 2 secondi.



Ora si potranno verificare due casi:
CONSENSO:
I valori resistivi della pinza e del collegamento verso terra sono accettabili.
Monitoraggio continuo parametri resistivi
Attivazione relè abilitazione rifornimento
Spegnimento spia luminosa rossa
Accensione spia luminosa verde
BLOCCO:
I valori resistivi della pinza o del collegamento verso terra non sono accettabili
Relè abilitazione rifornimento non attivo
Spia rossa luminosa ancora accesa



In caso di BLOCCO, provare a ripetere la procedura. Se il BLOCCO persiste, interrompere le operazioni e contattare i referenti aziendali.

5) PRELEVARE LA PISTOLA DI EROGAZIONE DAL DISTRIBUTORE E CONNETTERLA AL BOCCHETTONE DELL'AUTOBUS GIRANDO LA LEVA DELLA PISTOLA DI 180° IN SENSO ORARIO. SE LA PISTOLA RIMANE SALDA SUL UGELLO DEL BOCCHETTONE ANCHE IN ASSENZA DI AZIONE DA PARTE DELL'ADDETTO LA CONNESSIONE È CORRETTA

NOTA: per prelevare la pistola spingere la stessa verso l'alto e tirare verso di sé





6) ABILITARE IL RIFORNIMENTO MEDIANTE IL SISTEMA ASSYTECH COLLOCATO A FIANCO ALL'EROGATORE

A tal fine è necessario:
- Verificare che il sistema sia in funzione e che sia stata aperta la comunicazione con l'erogatore (in caso contrario digitare 0 + N° matricola del bus)
- Avvicinare il badge al rilevatore contactless indicato dalla freccia gialla



DOPO CHE SI È OTTENUTA L'ABILITAZIONE DAL SISTEMA ASSYTECH PROCEDERE CON LE OPERAZIONI SULL'EROGATORE

Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Rifornimento dei mezzi a idrogeno: modalità operative

7) **PREMERE IL PULSANTE VERDE SULL'EROGATORE PER AVVIARE IL RIFORNIMENTO O IL PULSANTE ROSSO PER BLOCCARE IL RIFORNIMENTO PER QUALSIASI MOTIVO SIA NECESSARIO FERMARSI E NON PROCEDERE.**



8) **QUANDO SI PREME IL PULSANTE VERDE, SI AVVIA IL RIFORNIMENTO E IL DISTRIBUTORE ESEGUE IL TEST DI TENUTA. LA VERIFICA RICHIEDE ALCUNI SECONDI. DOPODICHÈ, SE NON SONO STATI RISCONTRATE PERDITE DI PRESSIONE, IL DISTRIBUTORE INIZIA AD EROGARE IDROGENO.**

NON ALLONTANARSI DURANTE LA FASE DI RIFORNIMENTO E TENERE SOTTO CONTROLLO I DATI RIPORTATI SUL TOUCHSCREEN: STATO, ERRORE, PRESSIONE DI EROGAZIONE, PRESSIONE SERBATOIO, TEMPO DI EROGAZIONE, TEMPERATURA DI SERBATOI.



9) **CONCLUSIONE OPERAZIONI DI RIFORNIMENTO.**

Il rifornimento si conclude in automatico quando viene raggiunto un SOC (State Of Charge = stato di caricamento) dell'autobus compreso tra il 95 e il 98%; Per avere un grado di riempimento diverso in modalità automatica è necessario agire sulle impostazioni della PLC.
L'indicazione della conclusione del rifornimento è riportata sul display dell'erogatore.
Contestualmente avviene il flussaggio dell'idrogeno contenuto nella manichetta attraverso la tubazione del VENT dell'erogatore. Il flussaggio dura circa 1 secondo.

DOPO AVER VISUALIZZATO SUL DISPLAY LA FINE DEL RIFORNIMENTO È POSSIBILE **SCONNETTERE LA PISTOLA DI EROGAZIONE DALL'UGELLO DELL'BUS**. PER FARE CIÒ:

- **RUOTARE LA LEVA DELLA PISTOLA DI 180° IN SENSO ANTIORARIO** (LA FRECCETTA GIALLA SI ORIENTA VERSO L'INTERNO DELLA MANICHETTA)
- **SCOLLEGARE LA PISTOLA E RIPORLA NELLA SUA BASE VERIFICANDO CHE SIA STABILMENTE POSIZIONATA SUL SUPPORTO**
  (NOTA: per riporre la pistola:
  - assicurarsi che la pistola sia allineata all'alloggiamento
  - spingere verso l'alto mentre la si preme in posizione
- **SCOLLEGARE LA PINZA DI TERRA DAL BUS, RIPORLA SULL'APPOSITO SUPPORTO E GIRARE IL SELETTORE SU "OFF".**
- **RICHIUDERE LO SPORTELLO DEL BUS**



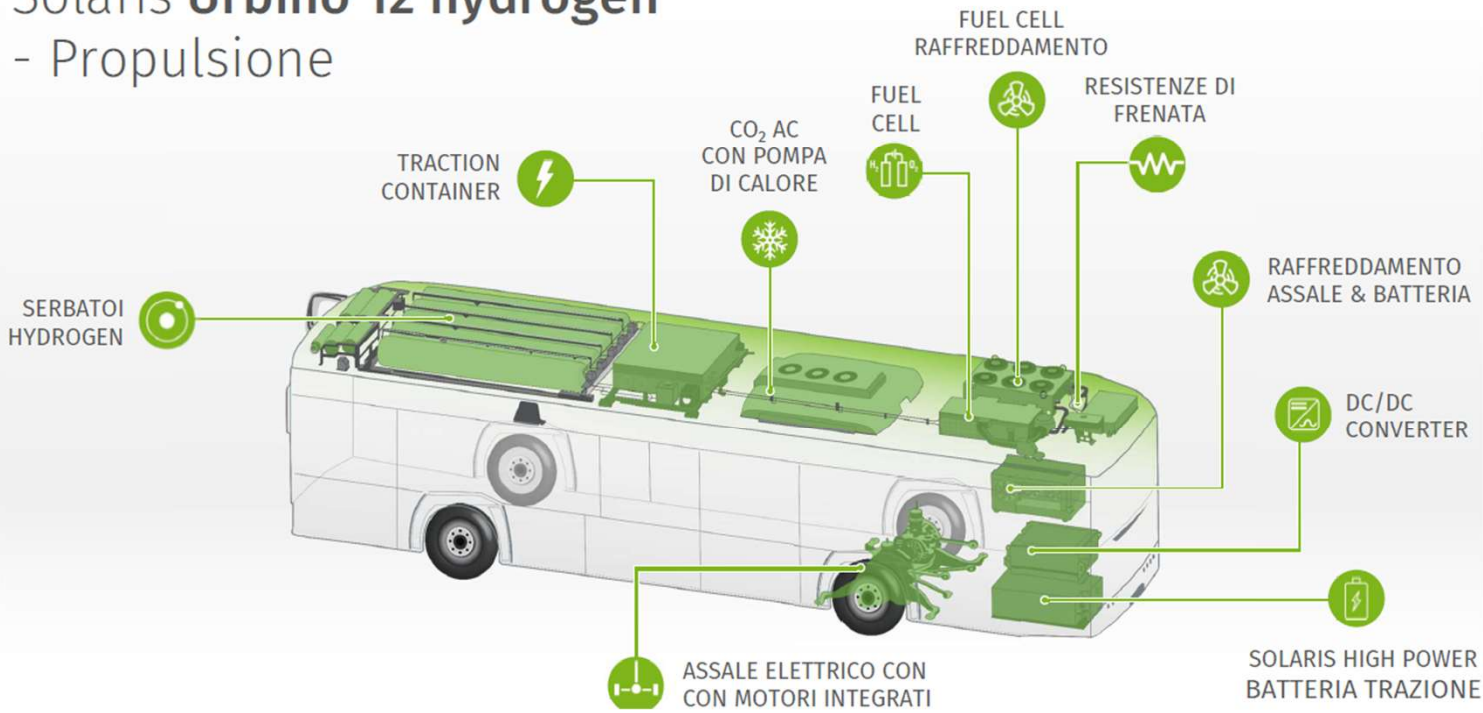
Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Autobus Solaris a idrogeno: caratteristiche

Solaris **Urbino 12 idrogeno**

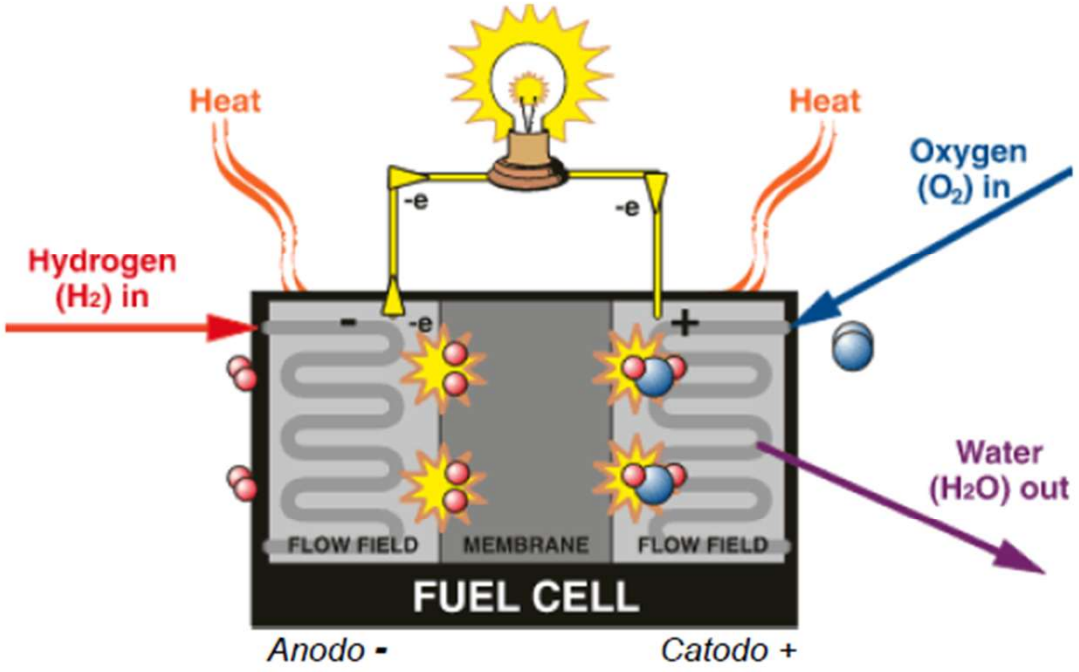
- 5 serbatoi
- **Tipo 4**
- Capacità liquida:
  1,560 l (5 X 312)
- Totale quantità di idrogeno stoccato:
  37.5 kg
- Quantità di idrogeno disponibile:
  34.2 kg
- Pressione di lavoro (a 15°C):
  350 Bar

Solaris **Urbino 12 hydrogen** - Propulsione

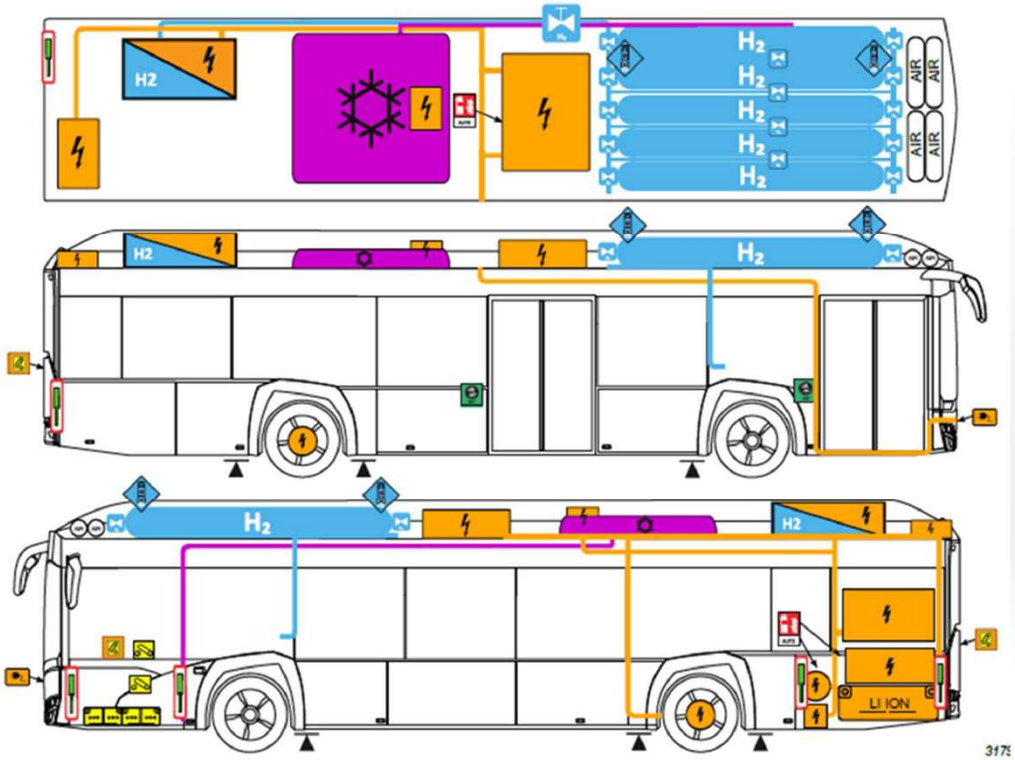


Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Autobus Solaris a idogeno:
Cella a combustibile (fuel cell) e schema impianti



$$2\,H_2 + O_2 \rightarrow 2\,H_2O + Energia$$



SISTEMI DI GESTIONE CERTIFICATI
CERTIQUALITY
UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI EN ISO 45001:2023



Serbatoi Idrogeno

Tipo 4

20% peso in meno
rispetto alle precedenti
versioni di serbatoi

Serbatoi fatti interamente con

materiali compositi

Impregnati con resine epossidiche

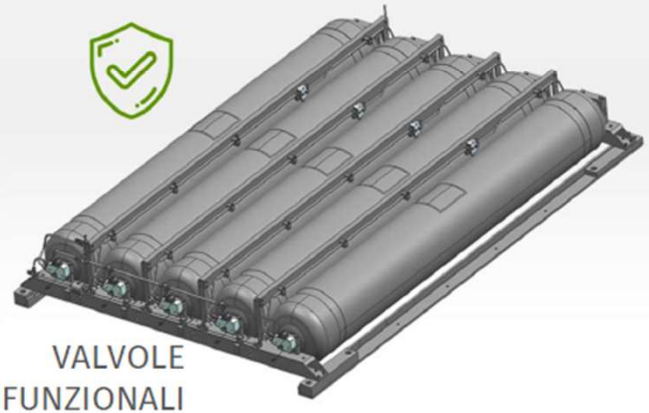
Serbatoi fatti in fibra continua
senza **metalli interni di rivestimento**



Sicurezze del sistema



- **Valvole limitatrici di flusso**
  – taglio del flusso di gas in caso di perdita dal sistema
- **6 sensori di rilevamento dell'idrogeno**
  – monitorano la tenuta dell'impianto
  – situati vicino ai principali componenti del sistema ad idrogeno così come nell'abitacolo passeggeri
- Ogni serbatoio di idrogeno è costituito da una valvola multifunzionale
  1. Valvola **Elettromagnetica**
  2. Sensore **Temperatura**
  3. **3 x TPRD valvole per ogni serbatoio** rimozione sicura dell'idrogeno dall'impianto in caso di alte temperature e protezione dell'aumento pericoloso della pressione.
- **Bocchettone di riempimento** offre addizionali precauzioni di sicurezza



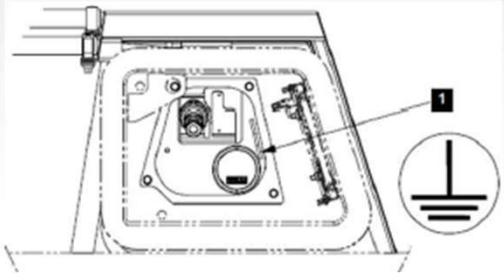
VALVOLE MULTIFUNZIONALI

Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Rifornimento di idrogeno

La procedura di rifornimento degli autobus a idrogeno dipende dalla stazione di rifornimento e dal tipo di comunicazione con l'autobus. Ecco perché ogni persona ha bisogno di leggere il manuale di rifornimento prima di avviare la procedura

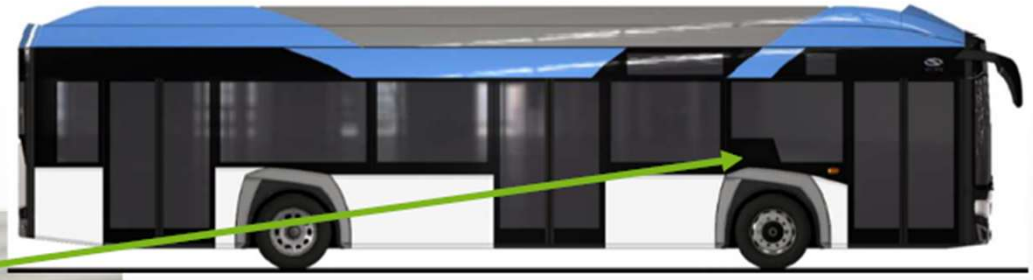




Rifornimento



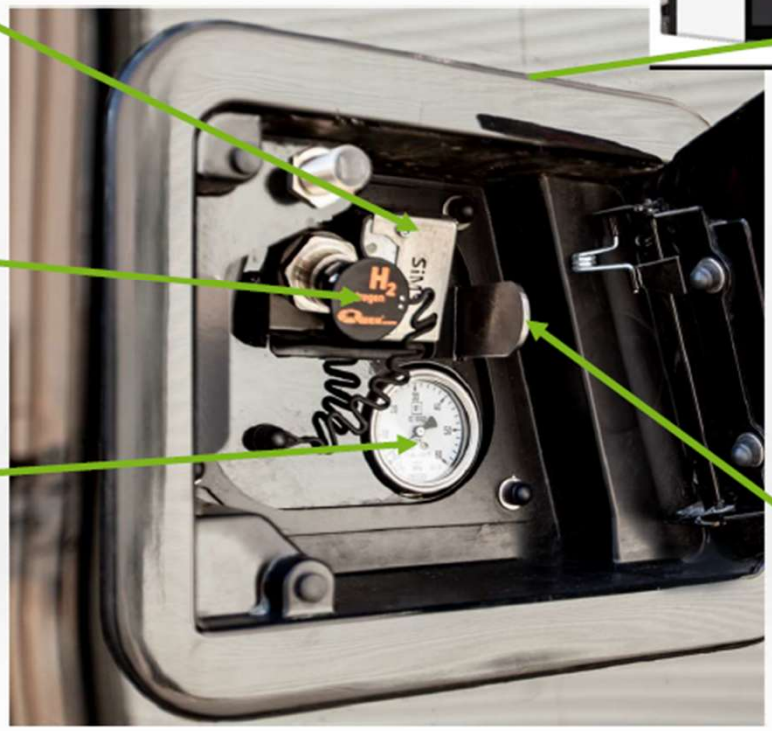
Rifornimento di idrogeno



Module supporto IrDA

Connettore Riempimento

Manometro

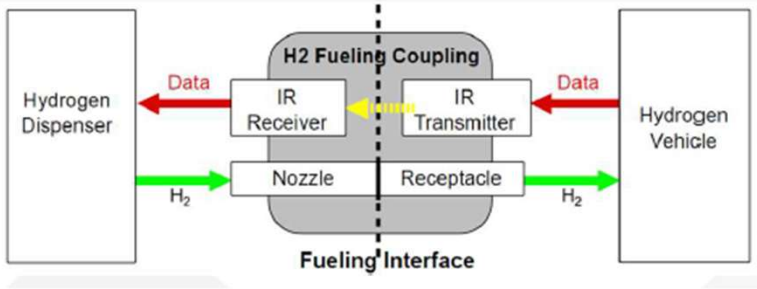




La connessione di rifornimento di idrogeno utilizzata è TN1 H2 High-flow che consente un flusso massimo di 120g/s (fornimento in 5-30 minuti). La velocità dipende dalla temperatura dell'idrogeno e dal metodo di comunicazione. Si raccomanda di utilizzare idrogeno refrigerato e comunicazione IrDA.

Punto di Terra





Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Procedura

Rifornimento Idrogeno

ATTENZIONE E' obbligatorio che il sistema HV sia spento durante la procedura di rifornimento



1. Arrestare il veicolo in un'area designata.
2. Premere N" sul pannello dell'unità DNR.
3. Attivare il freno di stazionamento e bloccare il veicolo contro l'accesso non autorizzato.
4. Spegnere l'accensione del bus (lasciare accesa la tensione 24V per lasciare attivi i sistemi di sicurezza e di rilevamento gas).
5. Aprire il portello di rifornimento e mettere a terra il veicolo.
6. Rimuovere il cappuccio di sicurezza dal terminale di rifornimento.
7. Inserire il connettore di riempimento dentro bocchettone, poi aprire la valvola posizionata vicino, come mostrato sullo schema di flusso.
8. Il rifornimento di idrogeno con sensore IrDA integrato consente di monitorare il flusso di idrogeno dalla stazione al veicolo.*
9. La procedura di rifornimento può essere monitorata sul manometro.
10. Per interrompere la procedura è necessario chiudere la valvola dell'idrogeno, scollegare il connettore dal veicolo e chiudere lo sportellino di rifornimento.

Trasporto Passeggeri Emilia-Romagna

Postazione di lavoro del conducente

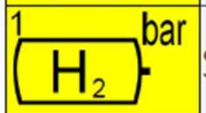


Segnala il verificarsi di un malfunzionamento arrestare immediatamente il veicolo.
Insieme alla spia rossa STOP si accende la spia del sistema guasto.
La guida è vietata!!!



Segnali "guasto". Fermare immediatamente l'autobus e cercare la causa del danno.
Insieme alla spia «GIALLA" l'indicatore del sistema guasto si accenderà.

Examples:

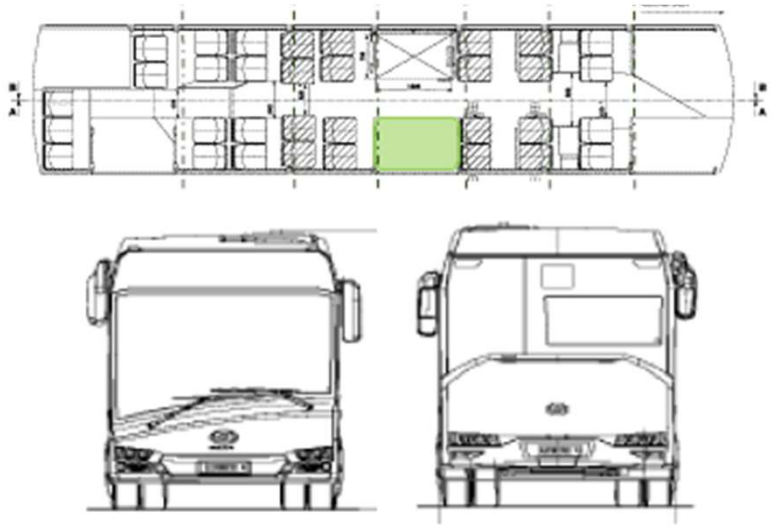
	Basso livello Idrogeno
	Sensore di pressione dell'idrogeno guasto
	Guasto Fuel cell

	Fuel cell spenta
	Perdita Idrogeno
	Malfunzionamento batteria trazione

Solaris Urbino 12 Hydrogen

Cambia il movimento

Dimensioni esterne	
Lunghezza massima	12.000
Larghezza massima	2.550
Dimensioni interne	
Altezza massima vano passeggeri	2.280
Tipologia pianale	Integralmente ribassato
Pedana TH	1 azionamento meccanico



Capacità di carico

Seduti	In piedi	Carrozzella	Passeggino	Sedute pieghevoli	Servizio	Totali
29	49	2	1	2	1	**81**

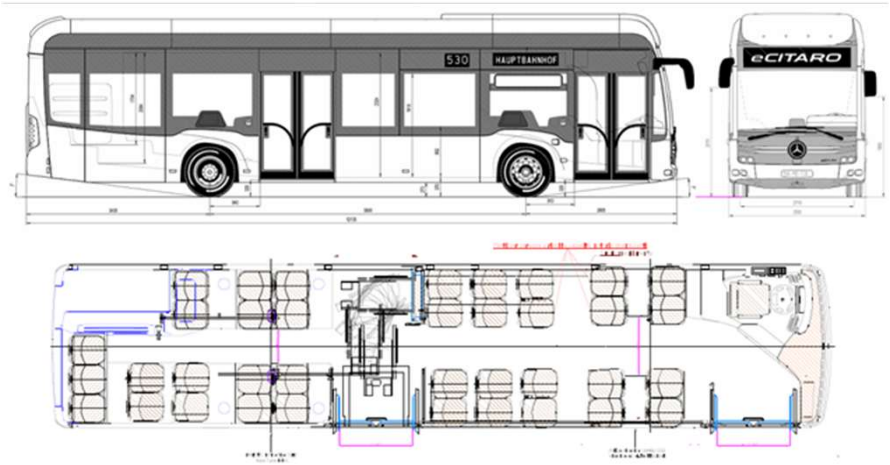
Densità 6.5 pass/m²

Caratteristiche tecniche	
Alimentazione	Idrogeno Gassoso Compresso
Marca e modello batterie	IMPACT DTR
Marca e modello fuel cell	Ballard HD70 v8 70kW
Costruttore bombole	Hexagon tipo 4
Capacità nominale batterie	30,45 kWh
Tecnologia di ricarica alla colonnina	CCS Combo2
Consumo energetico	5,73 kg/100km (basato su profilo emissione SORT1)
Motore elettrico di trazione	Motore elettrico sincrono ZF Friedrichshafen AG
Potenza massima	250 kW
Velocità massima	70 km/h
Rumorosità esterna	74 dB(A) con veicolo in movimento
Climatizzazione	Integrale
Numero di porta	3

Mercedes-Benz eCITARO FuelCell Hybrid

Cambia il movimento

Dimensioni esterne	
Lunghezza massima	12.135
Larghezza massima	2.550
Altezza massima	3.500
Dimensioni interne	
Altezza massima vano passeggeri	1.656



Capacità di carico

Seduti	In piedi	Carrozzella	Passeggino	Sedute pieghevoli	Servizio	Totali
37	43	1	1	0	1	**81**

Densità 6.27 pass/m²

Caratteristiche tecniche

Alimentazione	Fuel Cell Electric Vehicle Range Ectender
Serbatoi CGH2	6 x 238 = 1428 lt cossispondenti a 30kg di idrogeno
Marca e modello batterie	AKASOL – Battery Pack 98 kWh – NMC3
Fuel cell	Toyota – 60 kW in potenza
Consumo energetico	0,21 Kwh/Km (basato su profilo missione SORT1)
Consumo idrogeno	4,525 kg/100km (basato su profilo missione SORT1)
Consumo energetico	5,73 kg/100km (basato su profilo emissione SORT1)
Motore elettrico di trazione	Motoruote Siemens
Potenza massima	2 x 125 = 250 kW
Velocità massima	70 km/h a pieno carico
Rumorosità esterna	64 dB(A) con veicolo in movimento
Climatizzazione	Integrale
Numero di porta	2

IDROGENO vs ELETTRICO A BATTERIA

Cambia il movimento

	Idrogeno	a batteria
Autonomia		
manutenzione		
impianti manutentivi		
tempi di ricarica e stazioni di ricarica		
costo della materia prima		
disponibilità di potenza negli impianti		
immagazzinamento energia		

Un raffronto in **veloce evoluzione**

Documentazione sicurezza - Impianto rifornimento idrogeno H2 BATTINDARNO

- **ISGS-H2-BATT** “I.O Istruzione operativa per il rifornimento dei mezzi a idrogeno H2 presso l’impianto del deposito BATTINDARNO”
- **ISGS-C-H2-BATT** “I.O Istruzione operativa per il collegamento e lo scollegamento del carro bombolaio all’impianto idrogeno H2 del deposito BATTINDARNO”
- **Piano di Emergenza Interno (PEI)** Deposito TPER Battindarno
- **DVR/ATEX/Batt** Allegato ATEX al DVR “Documento sulla protezione contro le esplosioni” relativo all’Impianto idrogeno H2 di Battindarno
- **ISGS-G7** Istruzione Operativa per l'utilizzo dei rilevatori portatili multi-gas Blackline G7 Rev 03
- **DVR/H2/ES** Appendice al DVR - Rischio legato all’esercizio di autobus a fuel cell alimentati ad idrogeno



Cambia il movimento

GRAZIE!

Tommaso Palazzi

Resp. F. Organizzazione, Qualità, Ambiente e Sicurezza TPER S.p.A.
Resp. Servizio Prevenzione e Protezione - Corporate