

# LA TRANSIZIONE TECNOLOGICA DALLA TRAZIONE DIESEL AI NUOVI TRENI A BATTERIA E IDROGENO

*Mercoledì 29 settembre 2021  
Convegno Webinar  
in occasione di Expo Ferroviaria*



**Stefano Ragazzini**  
Sales Manager Italia - CAF

Soluzioni a emissioni zero per una  
mobilità più pulita e sostenibile



CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES S.A.

# INDEX

1. Impegno del Gruppo CAF
2. Bus a 'zero emissioni' nel TPL
3. Accumulo di energia a bordo Tram
4. Trazione ferroviaria - **Piattaforma Civity**
5. Soluzioni Civity BIMODE
6. Soluzioni Civity IPEMU - BEMU
7. Soluzioni Civity IPEMU - HEMU
8. Conclusioni

# 1. Impegno del Gruppo CAF

Il Gruppo CAF comprende **oltre 100 aziende e più di 13.000 dipendenti** in tutto il mondo dedicati al settore dei trasporti che insieme offrono una soluzione di **mobilità globale** con attività legate alla tecnologia, produzione, manutenzione e altre attività.

- ▶ L' **innovazione tecnologica** è uno dei pilastri di CAF per creare proprie soluzioni ferroviarie e proposte ad alto contenuto innovativo:
  - ▶ Miglioramento dell'efficienza energetica
  - ▶ Utilizzo di carburanti alternativi sostenibili
  - ▶ Utilizzo di materiali leggeri e riciclabili
  - ▶ Riduzione di rumore e vibrazioni

- **CAF Signalling:**  
Segnalamento e unità di Potenza remote.
- **CAF Power & Automation:**  
Trazione elettrica, sistemi e software di informazione/comunicazione.
- **CAF Turnkey & Engineering:**  
Ingegneria, elettrificazione e sistemi di integrazione.
- **CAF Investment Projects:**  
Servizi finanziari.
- **Solaris Bus & Coach:**  
Bus urbani ed extraurbani.
- **Euromaint:**  
Sistemi di manutenzione ferroviaria.
- **RL Components:**  
Ricambi OEM, componenti ferroviari, attrezzatura da officina.
- **CAF I+D:**  
Ricerca e sviluppo di prodotti ferroviari e altre attività.
- **Cetest:**  
Gestione di test e prove complete.
- **Lander Simulation:**  
Sistemi di simulazione.
- **Geminys:**  
Gestione di documenti integrati.
- **CAF DDS:**  
Ingegneria ferroviaria e fabbricazioni additive.

# 1. Impegno del Gruppo CAF

## Eco-design

- ▶ La Funzione di sostenibilità del prodotto, trasversale a tutti i processi di produzione, è incentrata sull'intero ciclo di vita del rotabile e pone la riduzione dei costi e dell'impatto ambientale come obiettivi centrali della progettazione .
- ▶ CAF è uno dei costruttori con più certificati EPD® (dichiarazione ambientale di prodotto).
- ▶ Le emissioni corrispondenti alle soluzioni CAF di trasporto ferroviario sono equivalenti ad una media di 6,5 gCO<sub>2</sub>/passengero-km.
- ▶ Più della metà degli acquisti per la produzione dei veicoli proviene da fornitori locali, abbattendo così i costi di trasporto e le emissioni CO<sub>2</sub>.
- ▶ La riciclabilità media caratteristica dei veicoli prodotti è approssimativamente il 93%.
- ▶ L' 80% dei materiali di scarto nelle lavorazioni dei reparti industriali viene riciclato.

# 1. Impegno del Gruppo CAF



**Tram URBOS:** possono essere equipaggiati con apparati di accumulo energia (batterie e/o ultracaps) che consentono il recupero dell'energia e la marcia autonoma senza catenaria.



**Metro INNEO:** rappresenta un deciso impegno rivolto al risparmio di energia che comporta l'uso di tecnologie efficienti, oltre che l'impiego di materiali più leggeri e di alta riciclabilità, a minore impatto ambientale.



**Treni CIVITY:** sono tra i treni regionali più efficienti sul mercato. Riduzione dei pesi, efficienza e robustezza degli equipaggiamenti minimizzano il TCO. Soluzioni sostenibili anche a 'zero emissioni' con batterie e celle a idrogeno.



**Bus URBINO Elettrico:** silenzioso, a 'zero emissioni' e bassi costi di esercizio. Adatto a circolare nel centro città, può operare autonomamente per tutto il giorno. Ha design moderno ed è disponibile in versione pianale basso e accesso basso.



**Bus URBINO Idrogeno:** la nuova famiglia a 'zero emissioni', complementare agli Elettrici, che consente una maggiore autonomia di marcia, per soddisfare ulteriori esigenze di servizio in termini di distanza e flessibilità di percorso.



## 2. Bus a zero emissioni nel TPL

### Bus a 'zero emissioni'

- ▶ I bus elettrici Solaris a batteria sono stati scelti dai gestori di trasporto pubblico di 82 città in 18 Paesi europei.
- ▶ Consegnati più di 1.000 e-Buses.
- ▶ Decine di milioni di km percorsi, elettricamente, in differenti condizioni climatiche.
- ▶ 71 bus Solaris con Fuel Cell ad idrogeno in 6 città europee.



Solaris received the Global e-Mobility Leader Award at the international conference Global e-Mobility Forum 2020 for its contribution to developing zero-emission transport worldwide.

-  Battery-buses
-  Hydrogen fuel cell buses



CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES S.A.

## 2. Accumulo di energia a bordo Tram

### Apparati di accumulo energia

- ▶ Soluzioni configurabili e modulari, a batterie e/o supercaps.
- ▶ Due tipologie OESS:
  - ▶ Recupero energia frenatura (EVODRIVE)
  - ▶ Marcia senza catenaria (FREEDRIVE)
- ▶ I primi apparati Greentech CAF in esercizio commerciale da oltre 10 anni.
- ▶ Consegnati più di 150 veicoli in tutto il mondo.

### Obiettivi di esercizio

- efficienza di marcia con riduzione consumi
- potenziamento prestazioni di marcia
- riserva di energia per recupero veicolo.



CAF Power & Automation **FREEDRIVE** GREENTECH

**750 VDC – ZARAGOZA (SPAIN)**

- ▶ 21 tramways
- ▶ Number of ESS: 42
- ▶ In service since 2011



CAF Power & Automation **FREEDRIVE** GREENTECH

**750 VDC – SEVILLA (SPAIN)**

- ▶ 5 tramways
- ▶ Number of ESS: 10
- ▶ In service since 2010



CAF Power & Automation **FREEDRIVE** GREENTECH

**750 VDC – LUXEMBOURG**

- ▶ 21 tramways
- ▶ Number of ESS: 63
- ▶ In service since 2017



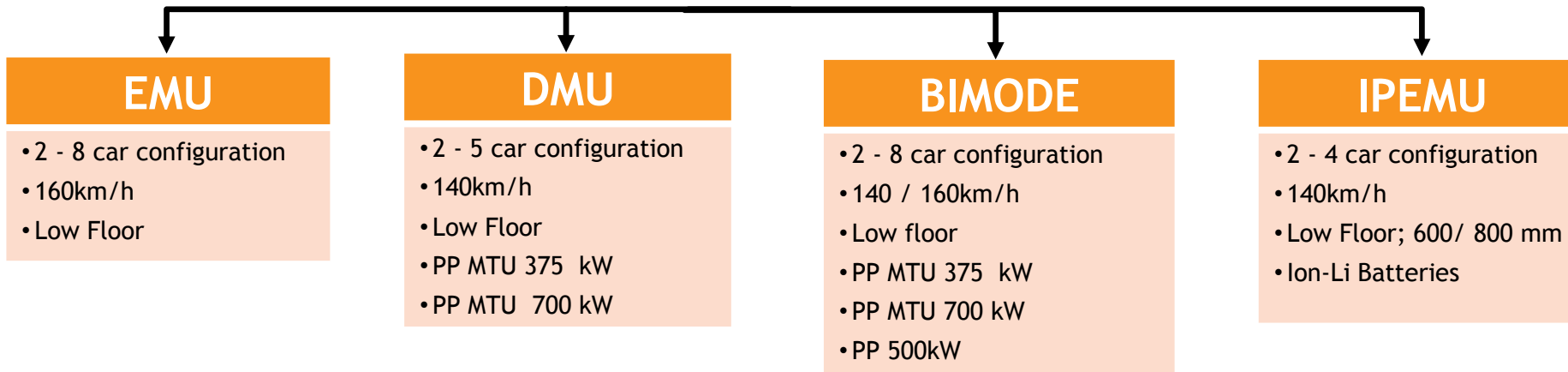
CAF Power & Automation **FREEDRIVE** GREENTECH

**750 VDC – KAOHSIUNG (TAIWAN)**

- ▶ 9 tramways
- ▶ Number of ESS: 18
- ▶ In service since 2015

- ▶ TALLIN (ESTONIA) – 21 tramways EVODRIVE
- ▶ GRANADA (SPAIN) – 13 tramways FREEDRIVE
- ▶ BIRMINGHAM (UK) – 21 tramways FREEDRIVE
- ▶ NEWCASTLE (AUSTRALIA) – 6 tramways FREEDRIVE
- ▶ PARRAMATTA (AUSTRALIA) – 13 tramways FREEDRIVE
- ▶ LIEGE (BELGIUM) – 20 tramways FREEDRIVE

# 4. Trazione ferroviaria - Piattaforma Civity



Trazione elettrica:  
15 kV AC; 25 kV AC;  
1,5 kV DC; 3 kV DC.  
Frenatura rigenerativa.  
Efficienza energetica.

- Referenze:
- Italia
  - Montenegro
  - Olanda
  - Francia
  - UK
  - Svezia
  - Germania
  - New Zealand

Trazione con motore termico, possibile anche ibridazione (batterie).

- Processo di transizione dal combustibile fossile verso alimentazioni:
- rinnovabili (biodiesel)
  - alternativi (idrogeno).

Trazione Diesel+Elettrica. Opportunità operative. Diverse configurazioni con apparati installati:

- Imperiale
- Sottocassa
- Carrozzino dedicato.

- Referenze:
- Australia
  - Svezia (biodiesel)

Trazione senza catenaria (parziale o totale): soluzioni BEMU e HEMU. Diverse configurazioni con apparati installati:

- Imperiale
- Sottocassa
- Carrozzino dedicato.

- Referenze:
- Germania (BEMU)
  - Spagna (HEMU -FCHJU)

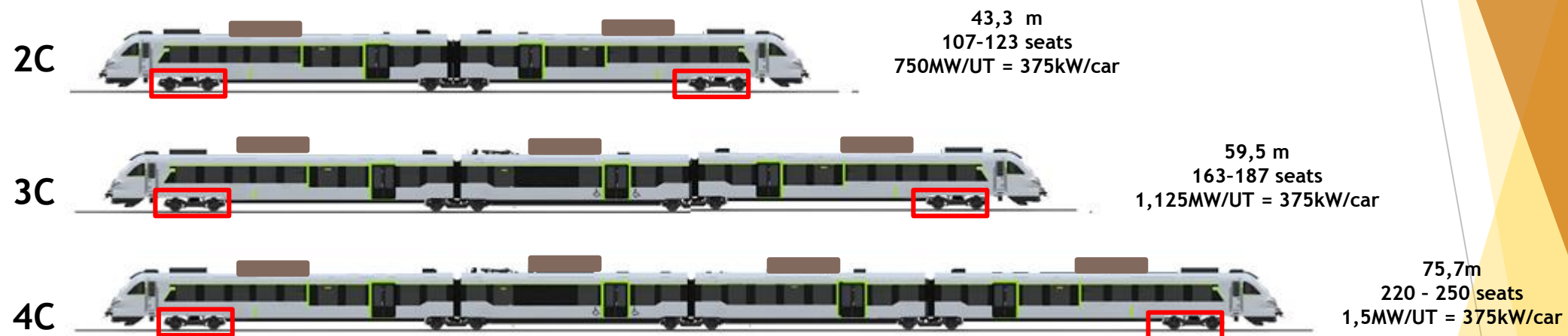


## 5. Soluzioni Civity BIMODE (DEMU)

Characteristic	Design
Max. Vehicle width	2.880 mm
Floor height	
Low floor area	800 or 600 mm
Access	770 or 570 mm
High floor area	1.170 mm
Bogie pivot distance	16.200 mm
Maximum speed	140 km/h -160km/h
Traction system	Diesel & Elettric
Traction PP	Three traction systems defined: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ PWP 375kW (Roof installation)</li><li>▪ PWP 500kW (Dedicated car)</li><li>▪ PWP 700kW (Underframe installation)</li></ul>

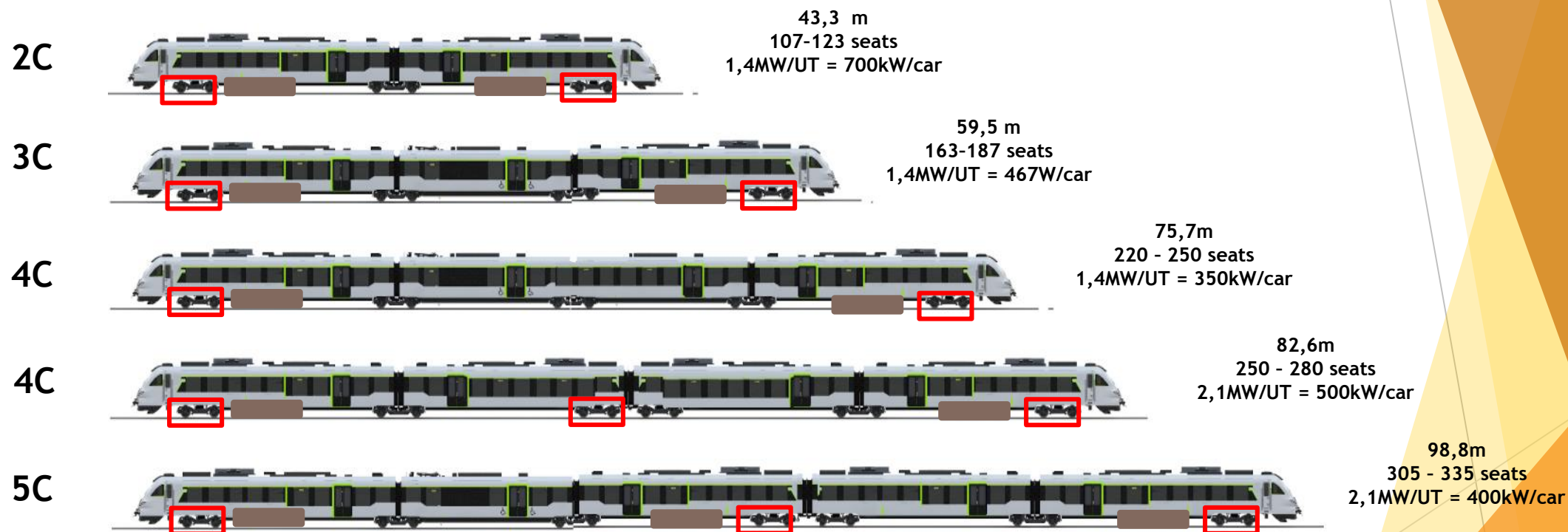
# 5. Soluzioni Civity BIMODE (DEMU)

Configurazioni Installazione sull'imperiale




# 5. Soluzioni Civity BIMODE (DEMU)

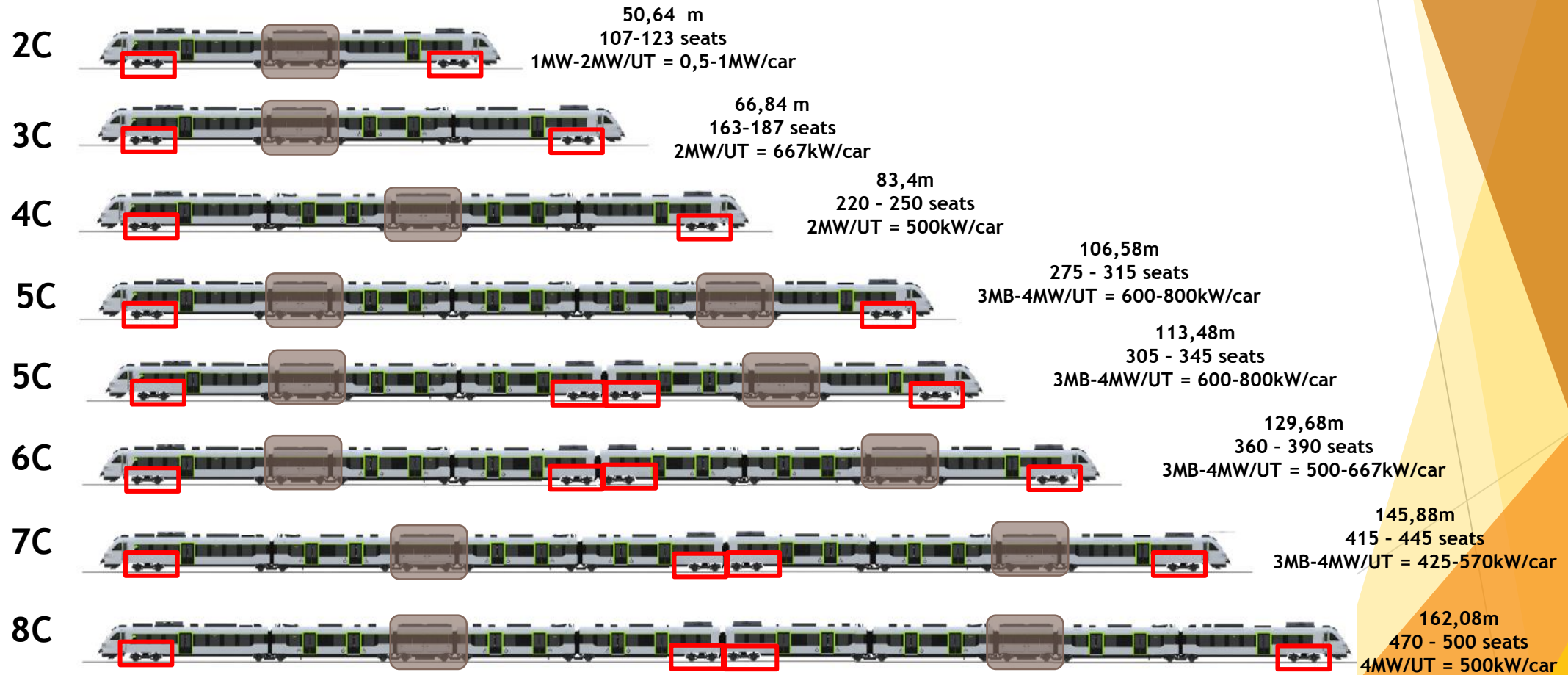
Configurazioni Installazione sotto cassa



# 5. Soluzioni Civity BIMODE (DEMU)

Configurazioni Installazione in carrozino dedicato

 Dedicated Car (up to 4x500kW)

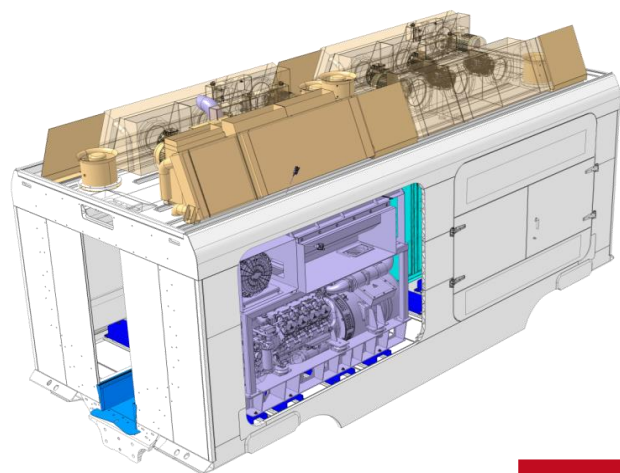


## 5. Soluzioni Civity BIMODE (DEMU)

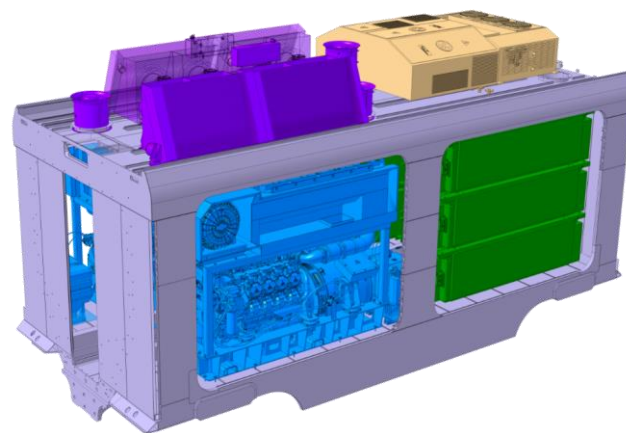
Configurazioni Installazione in carrozino dedicato

La configurazione con carrozino dedicato è adattabile e pronta per consentire la transizione verso soluzioni più ecosostenibili:

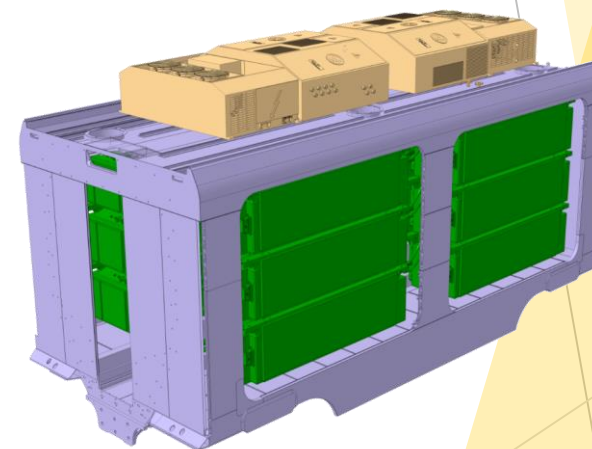
- possibilità di integrazione o sostituzione del motore a combustione interna con altre fonti di alimentazione
- possibilità di trasformare un DEMU in BEMU e HEMU



Full Diesel



Diesel & Batteries



Full Batteries

## 6. Soluzioni Civity IPEMU

### Trazione su linee parzialmente elettrificate

Sulla spinta delle istanze di decarbonizzazione e riduzione delle emissioni, nel prossimo futuro l'uso dei treni DMU, basato esclusivamente su motore diesel, sarà abbandonato e sostituito da altre tipologie di treni con modalità alternative di trazione e con capacità di marcia autonoma a prescindere dalla presenza della catenaria.

CAF è impegnata nello sviluppo di alcune diverse soluzioni di trazione per introdurre tecnologie alternative all'utilizzo del motore diesel.

Due sono le soluzioni tecniche preferibili:

- ▶ treni **BEMU** con accumulatori a batterie (OESS -Onboard Energy Storage System)
- ▶ treni **HEMU** con celle a idrogeno (FCH -Fuel Cell Hydrogen).

# 6. Soluzioni Civity IPEMU

Characteristic	Design
Max. Vehicle width	2.830 mm
Floor height	
Low floor area	800 or 600 mm
Access	760 or 570 mm
High floor area	1.200 mm
Bogie pivot distance	Approx. 18 m
Maximum speed	160km/h (EMU) and 140 km/h (IPEMU)
Traction system	Electrical & batteries ( <b>BEMU</b> ) / Fuel cells ( <b>HEMU</b> )
Onboard ESS Technology	Ion-Li batteries (LTO)

# 6. Soluzioni Civity IPEMU

BEMU

## Trazione su linee parzialmente elettrificate

Il treno BEMU nasce per estendere l'esercizio su tratti di linea privi di catenaria e connessi a linee elettrificate, con l'obiettivo di fornire un servizio senza rottura di carico.

Al pari di altre tipologie di treni bi/multimodali, consente la marcia autonoma e quindi anche l'esercizio in tratte di linea prive di alimentazione elettrica:

- ▶ dove non è possibile, o conveniente, la realizzazione della catenaria
- ▶ nell'ultimo miglio, all'interno di impianti di manutenzione non elettrificati
- ▶ in caso di deviazione su linee secondarie non elettrificate
- ▶ in caso di guasto dell'alimentazione elettrica





## 6. Soluzioni Civity IPEMU

### BEMU

Il treno BEMU rappresenta una soluzione a ‘zero emissioni’ basata sull’utilizzo di una sorgente di potenza alternativa, consolidata nelle applicazioni e pur in costante evoluzione.

Le tecnologie di batterie attualmente più adatte per soddisfare i requisiti che pone il mercato sono **LTO** e **LFP**, entrambe con un buon bilancio equilibrato tra densità di energia, sicurezza, ciclabilità e potenza.

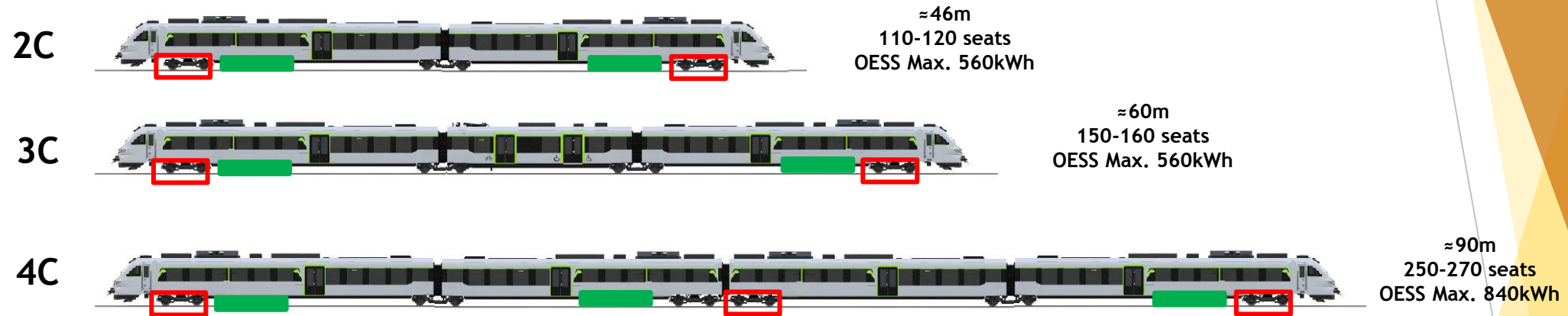
Gli sviluppi tecnologici sono orientati al miglioramento di specifiche caratteristiche, innanzitutto densità di energia e di potenza: se pur attualmente i progressi per entrambe procedono di pari passo, tuttavia in realtà, in termini generali, il miglioramento su un fronte avviene a discapito dell’altro.

In linea di massima, come riferimento orientativo nel lungo termine (2030), a giudizio di CAF per un BEMU 2 casse si può prevedere una autonomia di marcia fino a 400 km , senza ricarica intermedia.

# 6. Soluzioni Civity IPEMU



BEMU

## Configurazioni



Autonomia di marcia senza catenaria:

- 2C: approx 80-90km (\*)
- 3C/4C: approx 60-70km (\*)

 Motor bogies  
 Ion-Li Batteries

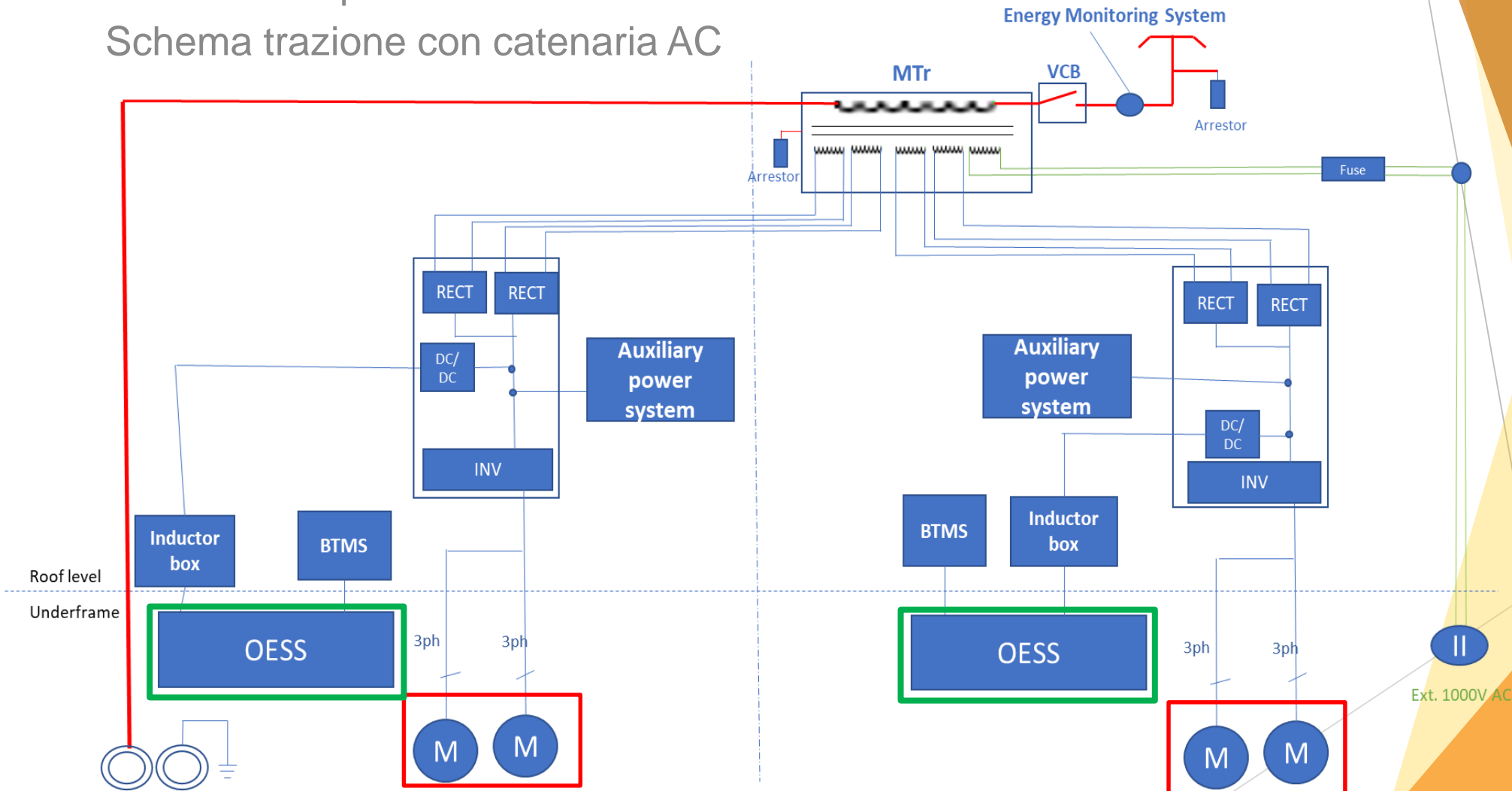
(\*) in funzione delle condizioni operative (carico passeggeri, potenza ausiliari, velocità max, numero fermate, programma esercizio...)

# 6. Soluzioni Civity IPEMU

BEMU concept: 2/3 casse

Schema trazione con catenaria AC


BEMU



# 6. Soluzioni Civity IPEMU

## BEMU

Configurazioni Installazione in carrozino dedicato  
High performances

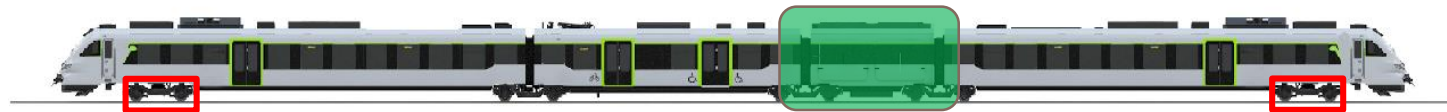
 Dedicated Car (up to 4x530kW)

2C



56,44 m  
146-156 seats  
1000kW & 530kWh

3C

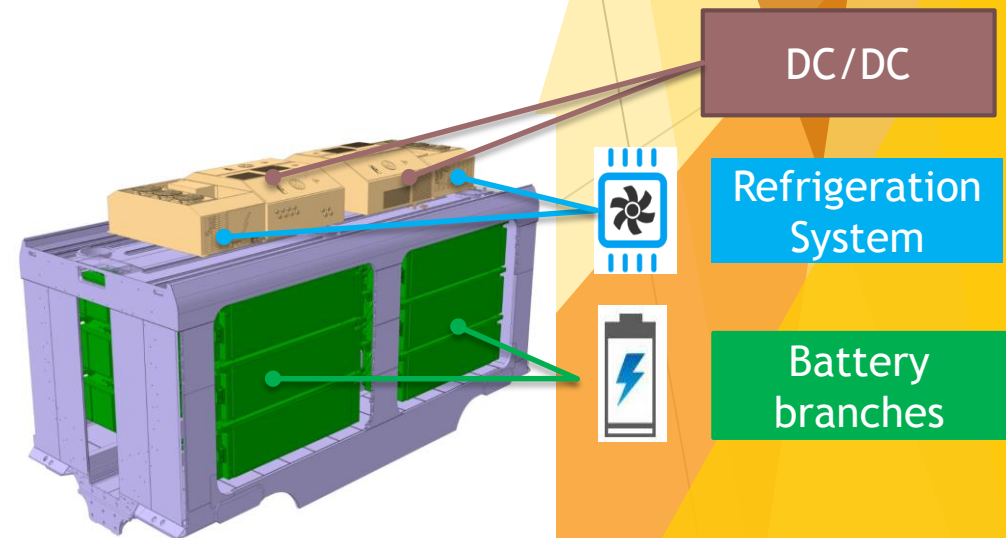


70,04 m  
200-220 seats  
1000kW & 850kWh

4C



83,64 m  
260-280 seats  
1000kW & 850kWh



## 6. Soluzioni Civity IPEMU

### BEMU

Per validare il dimensionamento di uno specifico progetto BEMU sono necessarie simulazioni di trazione che tengano conto del profilo di linea, delle caratteristiche del percorso, del tipo di servizio, del numero di fermate, dei tempi di sosta nelle stazioni intermedie e terminali (con eventuale possibilità di ricarica).

Nel caso in cui budget di energia richiesto sia molto elevato, occorre valutare la possibilità di includere nelle stazioni intermedie e/o terminali dei punti di ricarica tempi di sosta prolungati (es. 7-12 minuti).

Se questo non fosse operativamente possibile, sarebbe necessario esplorare l'utilizzo di soluzioni di trazione alternative, quali:

- ✓ Treno BIMODE (DEMU con pantografo)
- ✓ Treno BIMODE ibrido (DEMU con pantografo e batteria)
- ✓ Treno HEMU ad idrogeno, soluzione a 'zero emissioni' con maggior autonomia senza catenaria, ancora in fase di perfezionamento anche sul fronte della generazione dell'idrogeno verde

# 6. Soluzioni Civity IPEMU

## HEMU

Configurazioni Installazione in carrozino dedicato

Generator car



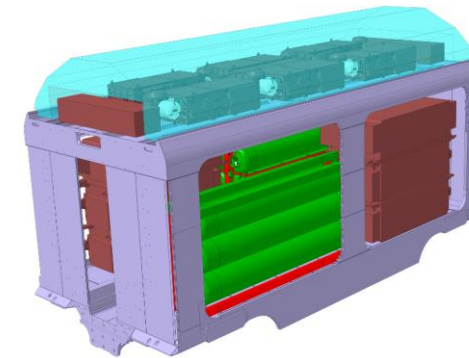
≈ 54m  
110-120 seats  
OESS Max. 300 kWh/1200kW  
H2: max 600kW



≈ 68m  
150-160 seats  
OESS Max. 300 kWh/1200kW  
H2: max 600kW

Autonomia di marcia senza catenaria  
intorno a 600-800 km (\*)

(\*) in funzione delle condizioni operative (carico passeggeri, potenza ausiliari, velocità max, numero fermate, programma esercizio...)



- Hydrogen: Fuel cells, DC/DC converters, cooling system and H2 tanks
- OESS: battery branches, BTMS and DC/DC

## 6. Soluzioni Civity IPEMU

HEMU

Nel 2020 il consorzio **FCH2RAIL**, guidato da CAF, è stato selezionato dalla Commissione Europea per realizzare un treno prototipo con celle combustibile ad idrogeno e batterie, per definire le norme di prova e omologazione, quindi le condizioni necessarie alla diffusione di questa tecnologia nella rete ferroviaria europea.

Oltre a CAF, il consorzio include anche: RENFE, TME (Toyota Motor Europe), DLR (German Aerospace Center), ADIF, IP, CNH2 (Centro Nacional de Hidrógeno) e Stemmann Technik (Wabtec).

Obiettivo del progetto è realizzare veicolo a 'zero emissioni' con prestazioni operative competitive rispetto ai treni diesel, con soluzione tecnologica applicabile sia su nuovi progetti che su treni esistenti in revamping.

Test funzionali e corse prova saranno svolti sulla rete spagnola, portoghese e in un altro paese europeo.

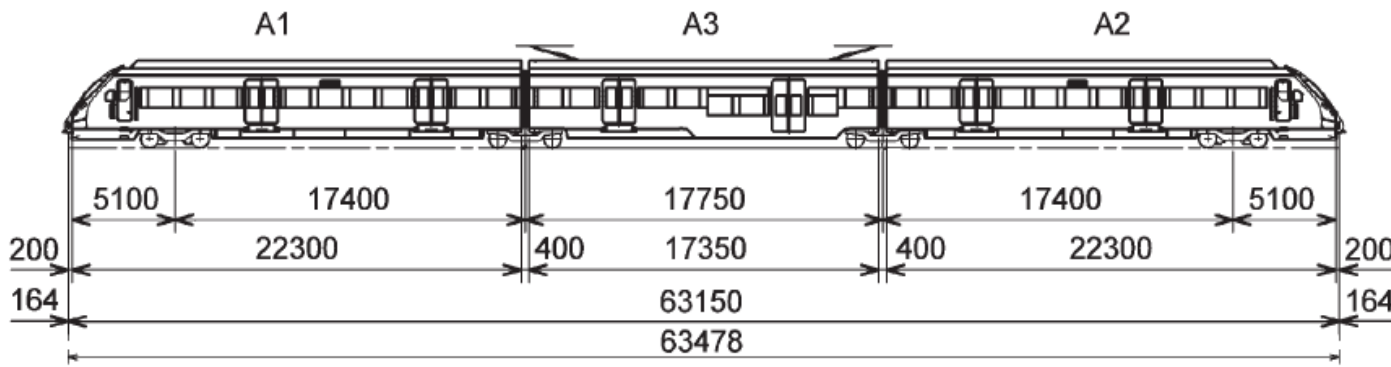
# 6. Soluzioni Civity IPEMU

## HEMU

Il prototipo sarà realizzato mediante refurbishment del treno Class 463.199 di RENFE, un modello **EMU CIVIA a tre casse di produzione CAF**, già in uso per servizio pendolari sulla rete ADIF 3kVdc. Il treno potrà trazione utilizzando sia l'alimentazione della catenaria, sia -anche in maniera indipendente- il power pack ibrido costituito dalle Fuel Cell a idrogeno accoppiate con le batterie LTO.

I moduli Fuel Cell sono forniti da Toyota mentre moduli batteria, convertitori e logica di controllo sono a cura di CAF, con un sistema innovativo di gestione dell'energia per minimizzare il consumo di energia e la potenza richiesta.

Il progetto include la sperimentazione di soluzioni per utilizzare il calore generato dalle Fuel Cell per l'impianto HVAC del treno, in modo da migliorare l'efficienza del complesso.



Traction performance Requirements		
	Catenary Section	Non – catenary section
Starting acceleration	0.80 - 0.95 m/s <sup>2</sup>	0.80 - 0.95 m/s <sup>2</sup>
Average acceleration from 0 to 40 km/h	0.80 - 0.95 m/s <sup>2</sup>	0.65 - 0.85 m/s <sup>2</sup>
Average acceleration from 0 to 100 km/h	0.50 - 0.60 m/s <sup>2</sup>	0.30 – 0.40 m/s <sup>2</sup>
Residual acceleration	>= 0.05 m/s <sup>2</sup>	>= 0.05 m/s <sup>2</sup>
Braking Performance Requirements		
Service deceleration	1.1 m/s <sup>2</sup>	
Reference load	braking performance independent from load conditions	



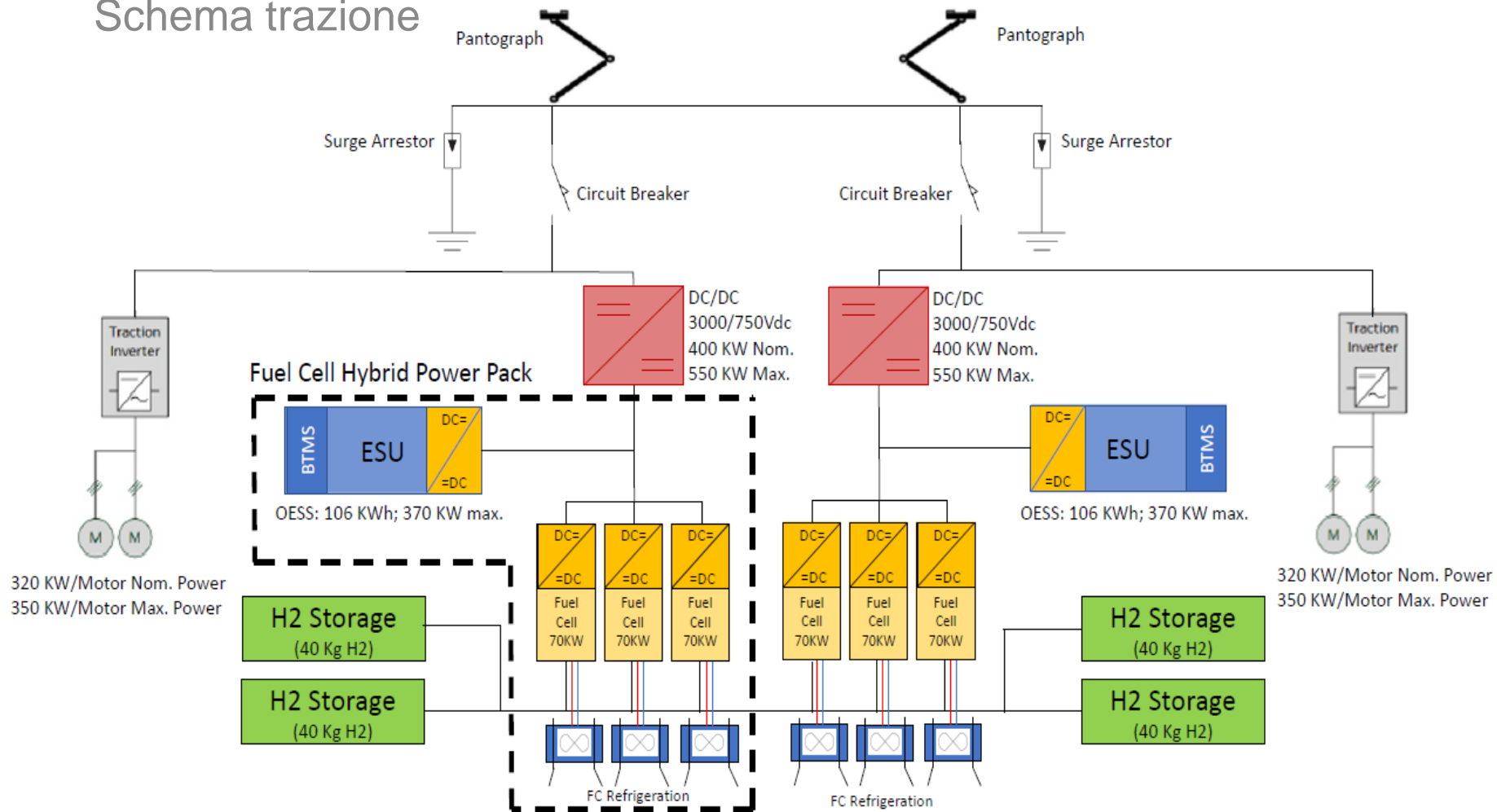
# 6. Soluzioni Civity IPEMU

HEMU

CIVIA DEMONSTRATOR

Schema trazione

3.000 Vdc Overhead line

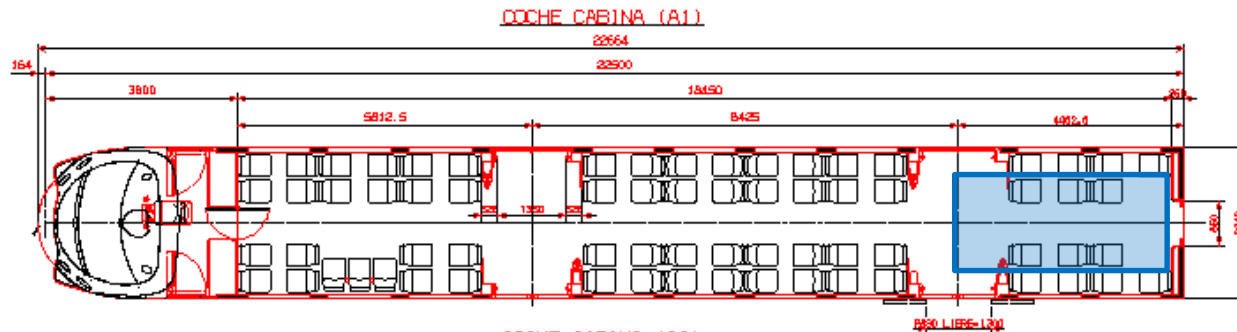


# 6. Soluzioni Civity IPEMU

HEMU

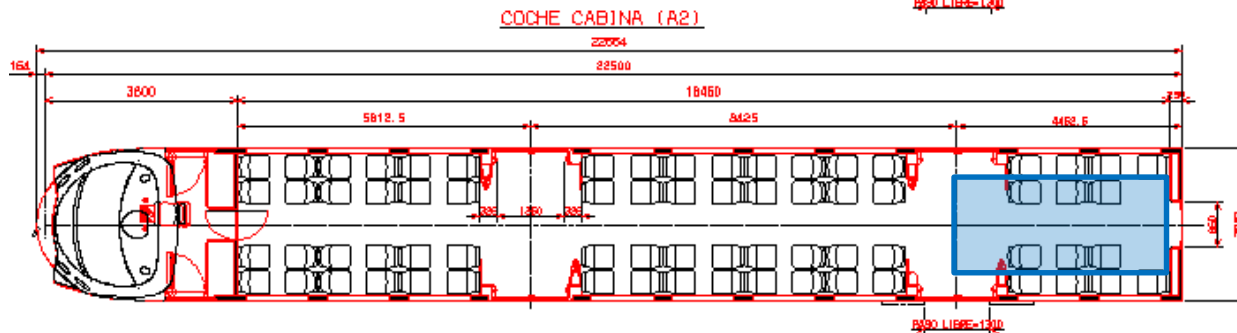
CIVIA DEMONSTRATOR – Layout apparati

Coche A1



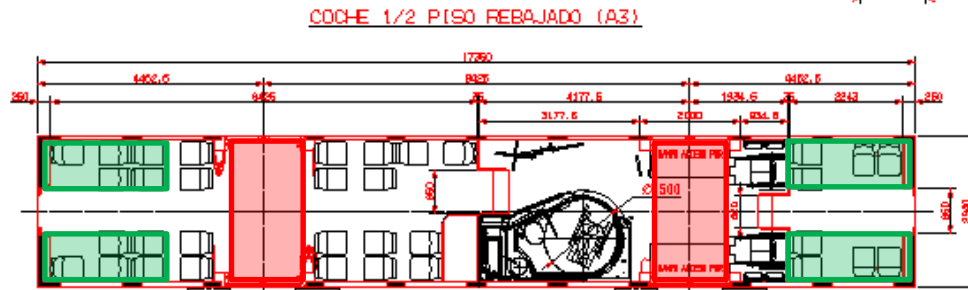
OESS (Battery)

Coche A2



OESS (Battery)

Coche A3



DC/DC 3000/750

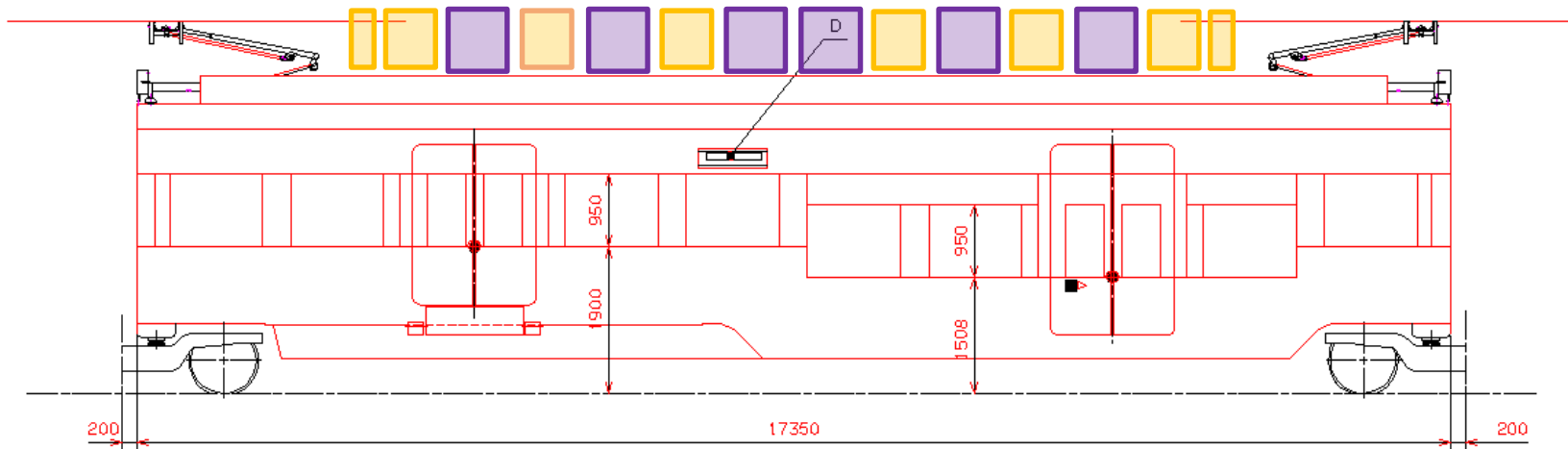
H2 Storage

# 6. Soluzioni Civity IPEMU

HEMU

CIVIA DEMONSTRATOR – Layout apparati

Coche A3



Fuel Cell Cooling System

Fuel Cells

# 7. Conclusioni

La transizione energetica è un processo che risponde in modo dinamico e progressivo alle necessità legate alla crisi del cambiamento climatico.

Diverse sono le istanze ormai imprescindibili:

- ▶ Efficienza energetica
- ▶ Fonti rinnovabili
- ▶ Decarbonizzazione e riduzione CO2
- ▶ Economia circolare....

Nei diversi settori del trasporto pubblico, non solo ferroviario, abbiamo soluzioni disponibili ed adattabili alle differenti esigenze progettuali, ma la ricerca è in continua evoluzione, con obiettivi sempre più elevati.

La sinergia nello sviluppo di tutte le aree della mobilità elettrica è indispensabile per assicurare un efficiente processo di decarbonizzazione del trasporto.

La tecnologia delle celle ad idrogeno è complementare all'utilizzo delle batterie, non in competizione.



# LA TRANSIZIONE TECNOLOGICA DALLA TRAZIONE DIESEL AI NUOVI TRENI A BATTERIA E IDROGENO

*Mercoledì 29 settembre 2021  
Convegno Webinar  
in occasione di Expo Ferroviaria*



**Stefano Ragazzini**  
Sales Manager Italia - CAF

Contatti: [sragazzini@caf.net](mailto:sragazzini@caf.net)  
[www.caf.net](http://www.caf.net)



CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES S.A.