

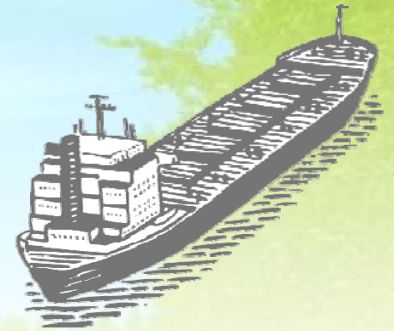
Energia e Trasporti



Ing. Gianosvaldo Fadin
Ing. Paolo Umiliacchi



Parte 2



07-03-2017



ENERGY MANAGEMENT NEL TRASPORTO PUBBLICO E IN CAMPO FERROVIARIO

Parte 2 – Tecnologie e Applicazioni





Programma – Parte 2

- **Tecnologie per la gestione dell'energia**
 - Misura e contabilizzazione dell'energia consumata/restituita
 - Tecnologie di accumulo
 - Reversibilità delle sottostazioni di alimentazione
 - Tecnologie di trazione elettrica e ibrida
- **Applicazioni per il risparmio energetico**
 - Gestione dell'energia a bordo dei rotabili
 - Sistemi di guida assistita (DAS)
 - Recupero dell'energia di frenata
 - Gestione centralizzata dell'energia a bordo e ottimizzazione
- **Gestione dell'energia nelle installazioni fisse**
 - Produzione di energie rinnovabili
 - Accumulo dell'energia
 - Ottimizzazione dei consumi
- **Cenni sul Total Energy Management (misure, verifiche, azioni di miglioramento)**
- **Domande e risposte**
- **Questionario**



Programma – Parte 2

- **Tecnologie per la gestione dell'energia**
 - Misura e contabilizzazione dell'energia consumata/restituita
 - Tecnologie di accumulo
 - Reversibilità delle sottostazioni di alimentazione
 - Tecnologie di trazione elettrica e ibrida
- **Applicazioni per il risparmio energetico**
 - Gestione dell'energia a bordo dei rotabili
 - Sistemi di guida assistita (DAS)
 - Recupero dell'energia di frenata
 - Gestione centralizzata dell'energia a bordo e ottimizzazione
- **Gestione dell'energia nelle installazioni fisse**
 - Produzione di energie rinnovabili
 - Accumulo dell'energia
 - Ottimizzazione dei consumi
- **Cenni sul Total Energy Management (misure, verifiche, azioni di miglioramento)**
- **Domande e risposte**
- **Questionario**



Misura e contabilizzazione dell'energia

Un problema generale

Puoi ottimizzare solo quello che puoi misurare

Scenario nel caso del ferroviario:





Misura e contabilizzazione dell'energia

Tipicità del mondo dei trasporti

Differenti fasi:

Catenaria

Energia
Trasferita



Accelerazione



Marcia normale

Coasting



Frenatura





Misura e contabilizzazione dell'energia

Liberalizzazione del Mercato nel settore ferroviario e dell'energia

- **Caratteristiche:**

- Ingresso sul mercato di nuovi attori
- Incremento del traffico tra paesi diversi
- Competitività
- Trasparenza nell'addebitare i costi
- Necessità di interoperabilità

- **Soluzione:**

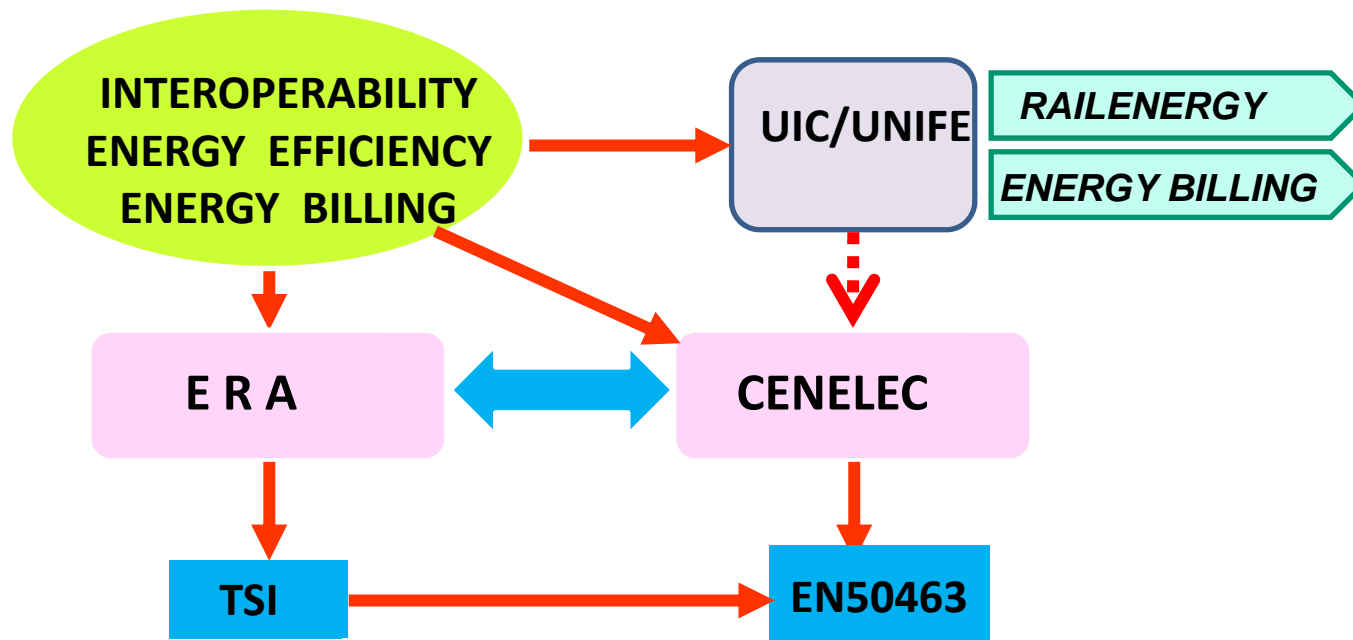
- Adeguare gli standard alla nuova situazione



Misura e contabilizzazione dell'energia

Collaborazione tra varie organizzazioni

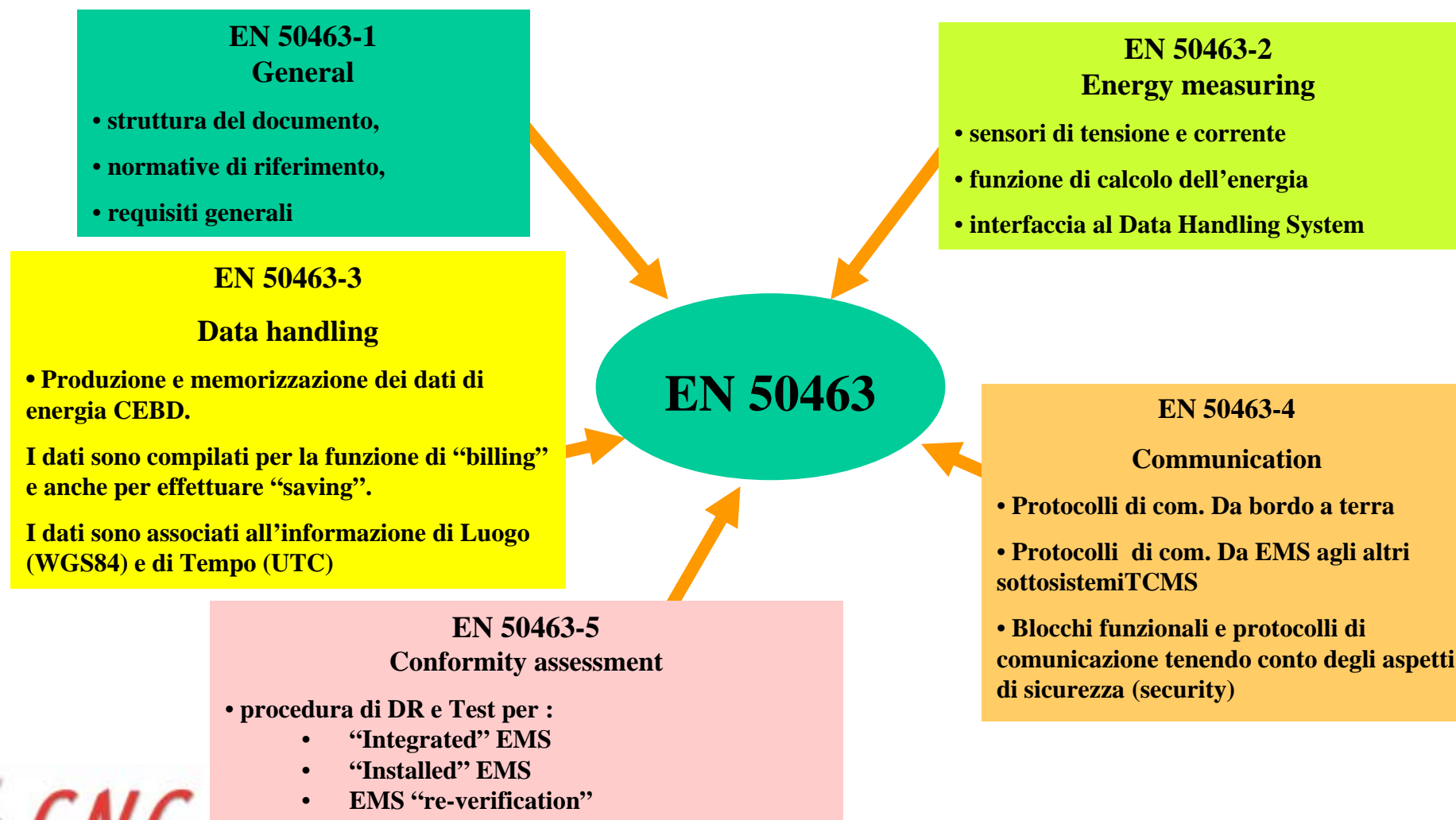
CO-OPERATION and HARMONIZATION FLOW CHART





Misura e contabilizzazione dell'energia

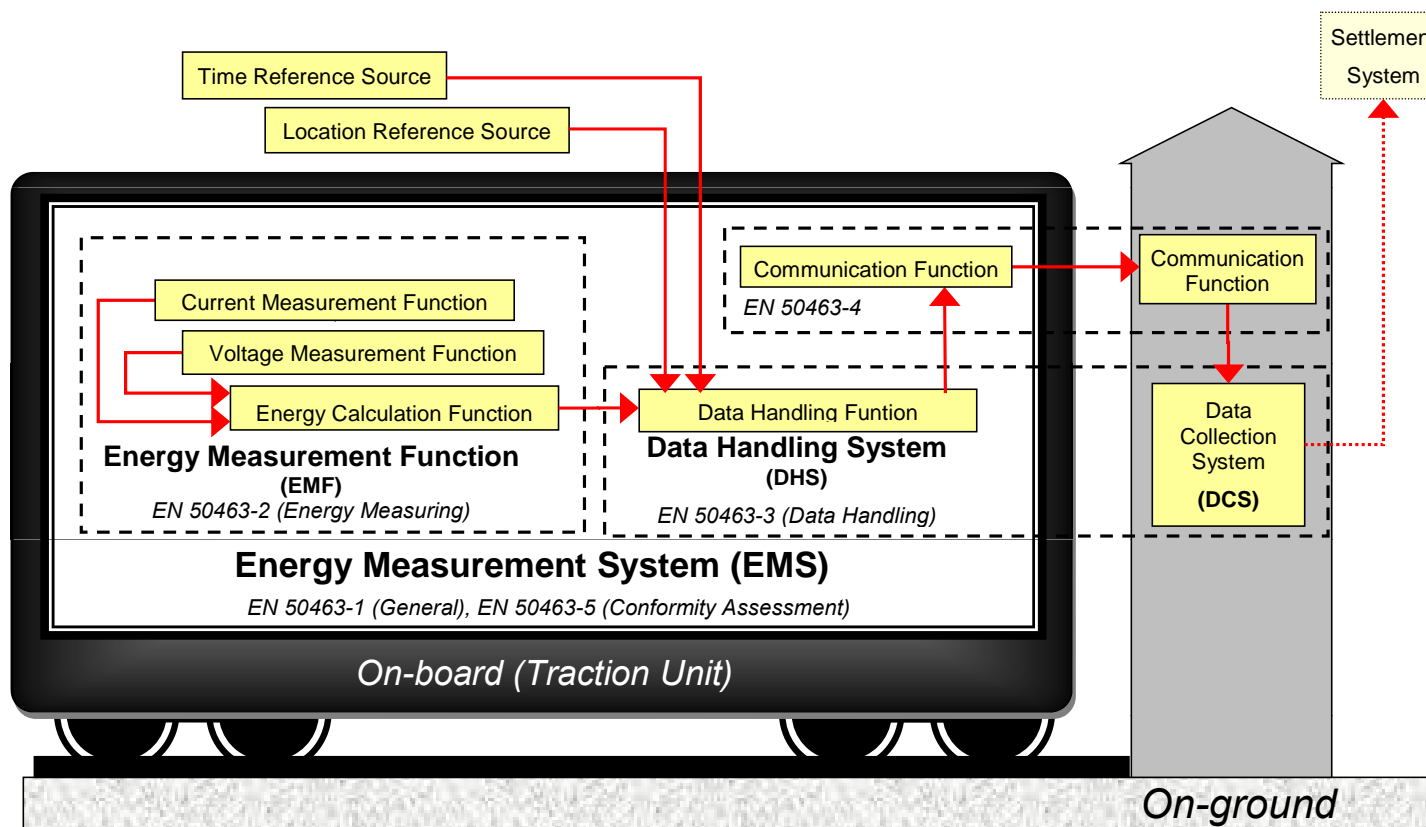
La serie di standard EN 50463





Misura e contabilizzazione dell'energia

Architettura del sistema di misura dell'energia





Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- **Parte 1: Generalità**

- Requisiti a livello di sistema validi per l'intero EMS e suoi componenti:
 - I sensori e trasduttori (analogici o digitali) possono essere di vario tipo e classe di precisione; un sensore può svolgere diverse funzioni
 - Il Misuratore deve essere operativo entro 60 s dall'accensione
 - Il Misuratore deve poter gestire i cambi di sistema di trazione (tensione di alimentazione) e registrarli
 - Il Misuratore deve essere associato a un CIPD (Consumption Point Identification)
 - Il flusso dati deve essere sicuro per tutte le interfacce
 - I Dati per la Fatturazione (CEBD: Compiled Energy Billing Data) devono essere protetti da ogni cambiamento accidentale o volontario
 - Tutti i componenti del Misuratore debbono avere contenitori a prova di manomissione, apribili solo con l'aiuto di utensili
 - RAMS: in accordo con EN 50155 e accordi cliente/fornitore

$$\varepsilon_{EMF} = \sqrt{(\varepsilon_{VMF})^2 + (\varepsilon_{CMF})^2 + (\varepsilon_{ECF})^2}$$



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

• Parte 2: Misura dell'Energia

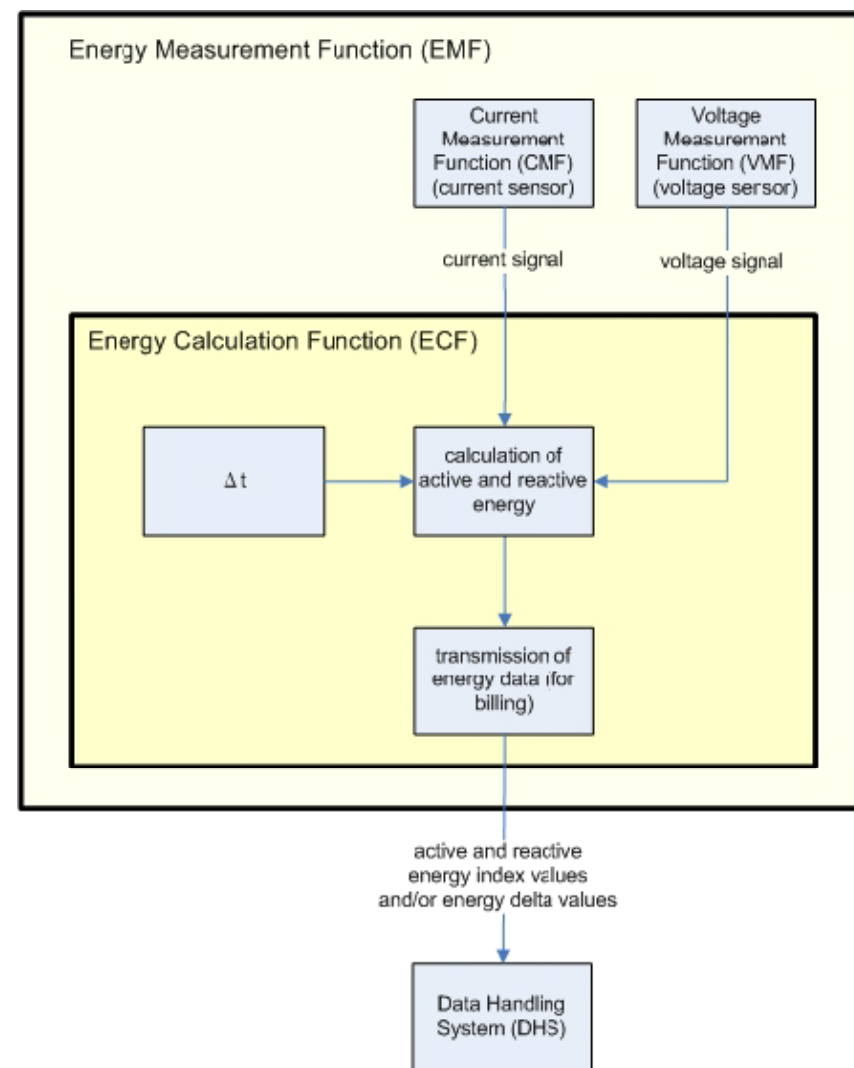
- La Funzione di Misura dell'Energia deve misurare **l'energia attiva** consumate o generata dall'unità di trazione. Nel caso di sistemi in alternata, deve essere misurata anche **l'energia reattiva**

- Sotto-funzioni: misura tensione, misura corrente, calcolo energia

- Requisiti di precisione (classi):

$$\varepsilon_{EMF} = \sqrt{(\varepsilon_{VMF})^2 + (\varepsilon_{CMF})^2 + (\varepsilon_{ECF})^2}$$

- Test di conformità della funzione e di ogni sotto-funzione





Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

• Parte 3: Elaborazione dei dati

- Il sistema di elaborazione riceve i dati di misura dell'energia e produce i dati necessari per la fatturazione (CEBD) registrandoli localmente e rendendoli disponibili per la comunicazione

CEBD = Tempo; Energia; Localizzazione; Punto di Consumo; Codice di Qualità

- Tempo: periodi consecutivi di 5 minuti
- Energia: misure in kWh e kvarh
- Localizzazione: WGS 84 con una precisione di almeno 250 m
- Punto di Consumo: CIPD come memorizzato localmente
- Codice di Qualità: qualità dei dati utilizzati
- Registrazione dei dati relativi agli ultimi 60 giorni
- Test di conformità del sistema di elaborazione dei dati



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- **Parte 3: Elaborazione dei dati**

- Sistema di raccolta dei dati a terra (DCS)

- Il DCS è messo in relazione con il rispettivo EMS tramite opportuno scambio di parametri (effettuato tramite il sistema di Comunicazione)
- Il DCS riceve, verifica e memorizza i dati CEBD, così come assemblati dal DHS, esportandoli poi verso uno o più ESS (Energy Settlement System)



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- **Parte 4: Comunicazione**

- Specifiche relative alla comunicazione tra:

- Le funzioni che costituiscono il sistema di misura dell'energia
- Le funzioni del sistema di misura e altri sistemi di bordo
- Il sistema a bordo e servizi a terra

- La Comunicazione deve assicurare l'interoperabilità a livello europeo

- Le specifiche si basano su tecnologie esistenti, ad esempio:

- Rete a bordo: EN 61375-3-1, EN 61375-3-4, EN 62375-3-3, ISO/IEC 8802
- Radio: IEEE 802.11 b/g, GSM(-R), GPRS, EDGE, UMTS, LTE
- Protocollo EMS-DCS: EN 61375-2-6 oppure Dedicated Solution in mancanza di rete a bordo conforme alla serie EN 61375

- Test di conformità del sistema di comunicazione



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- **Parte 4: Comunicazione**

- **Protocolli applicativi:**

- HTTP
- FTP with mailbox

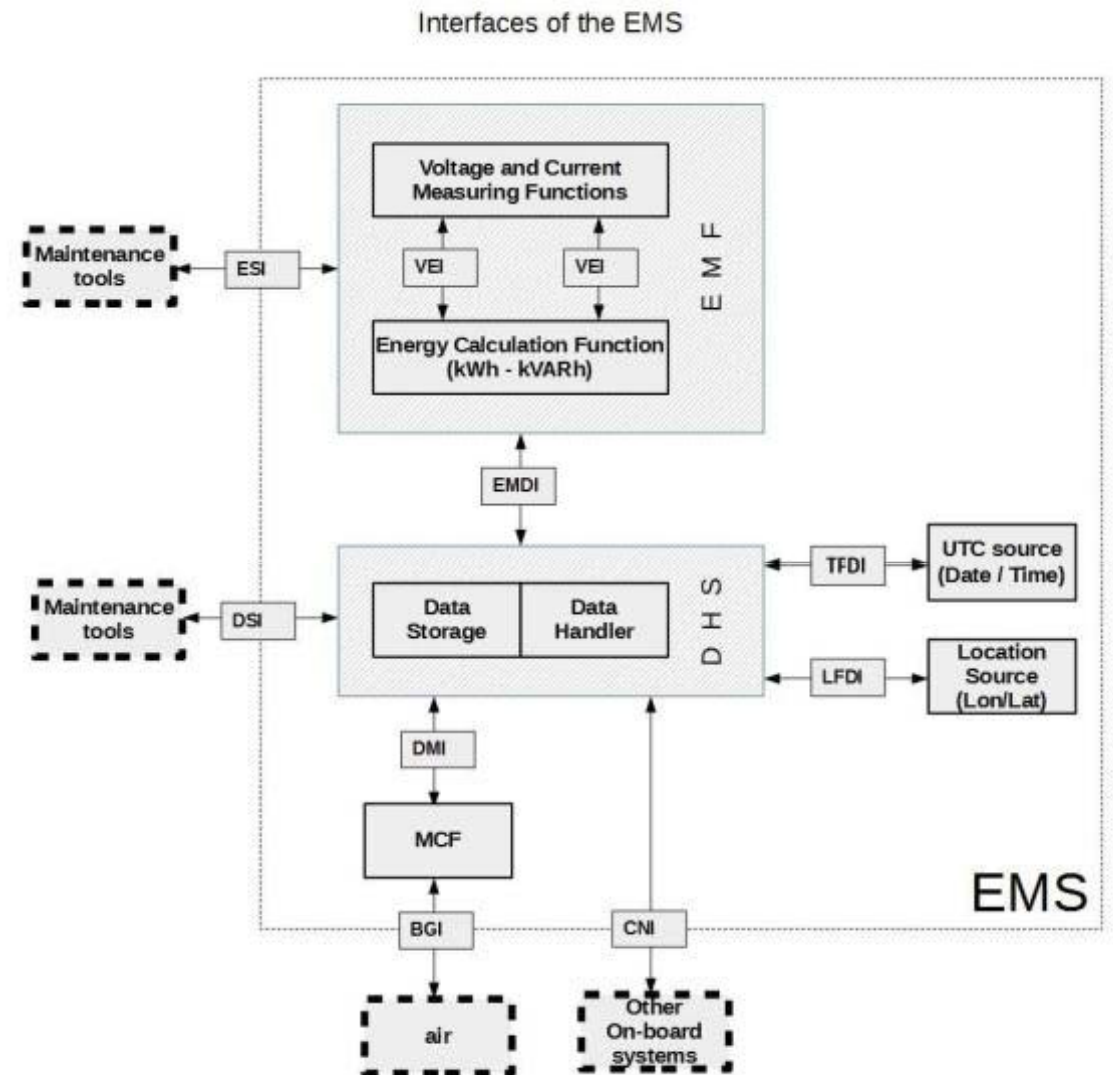
- **Sicurezza**

- **Architettura:**

- Basata su 61375-2-6
- Dedicata

- **XML Schema:**

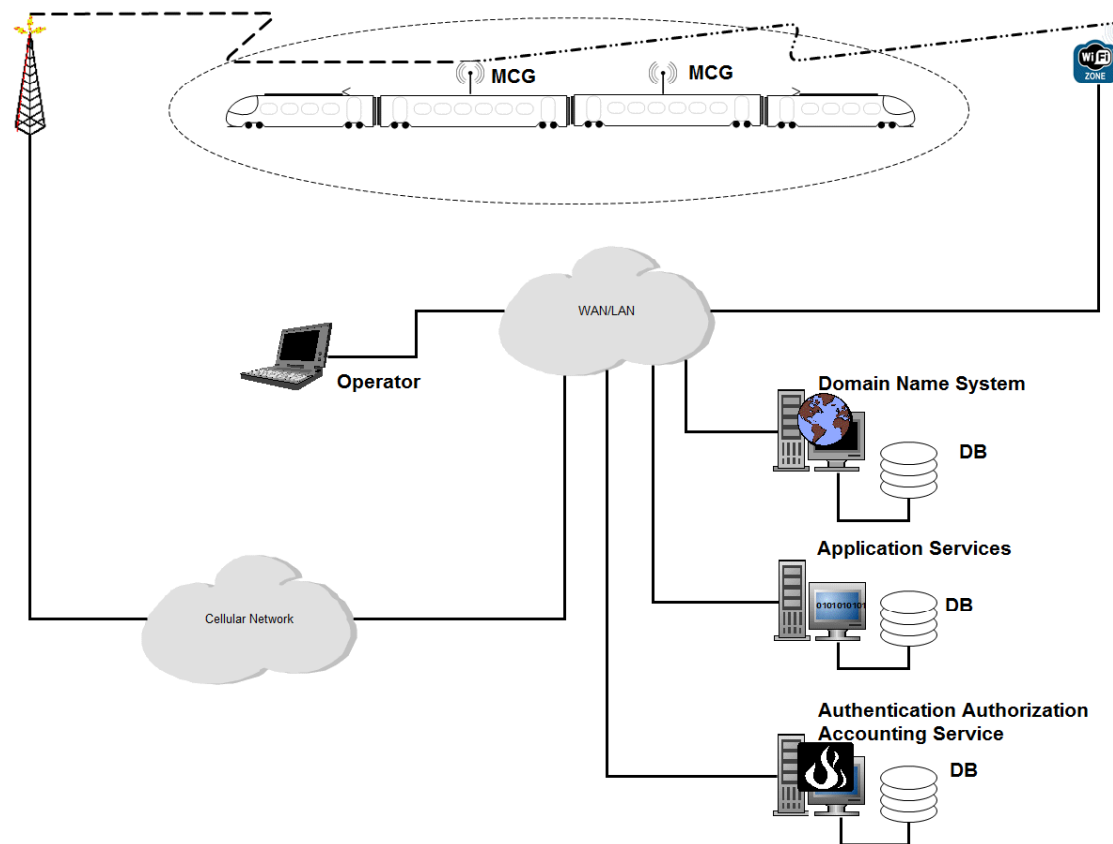
- Allegati D, E, F



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- **Parte 4: Comunicazione**
 - Visione generale





Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- **Parte 5: Verifica di Conformità**

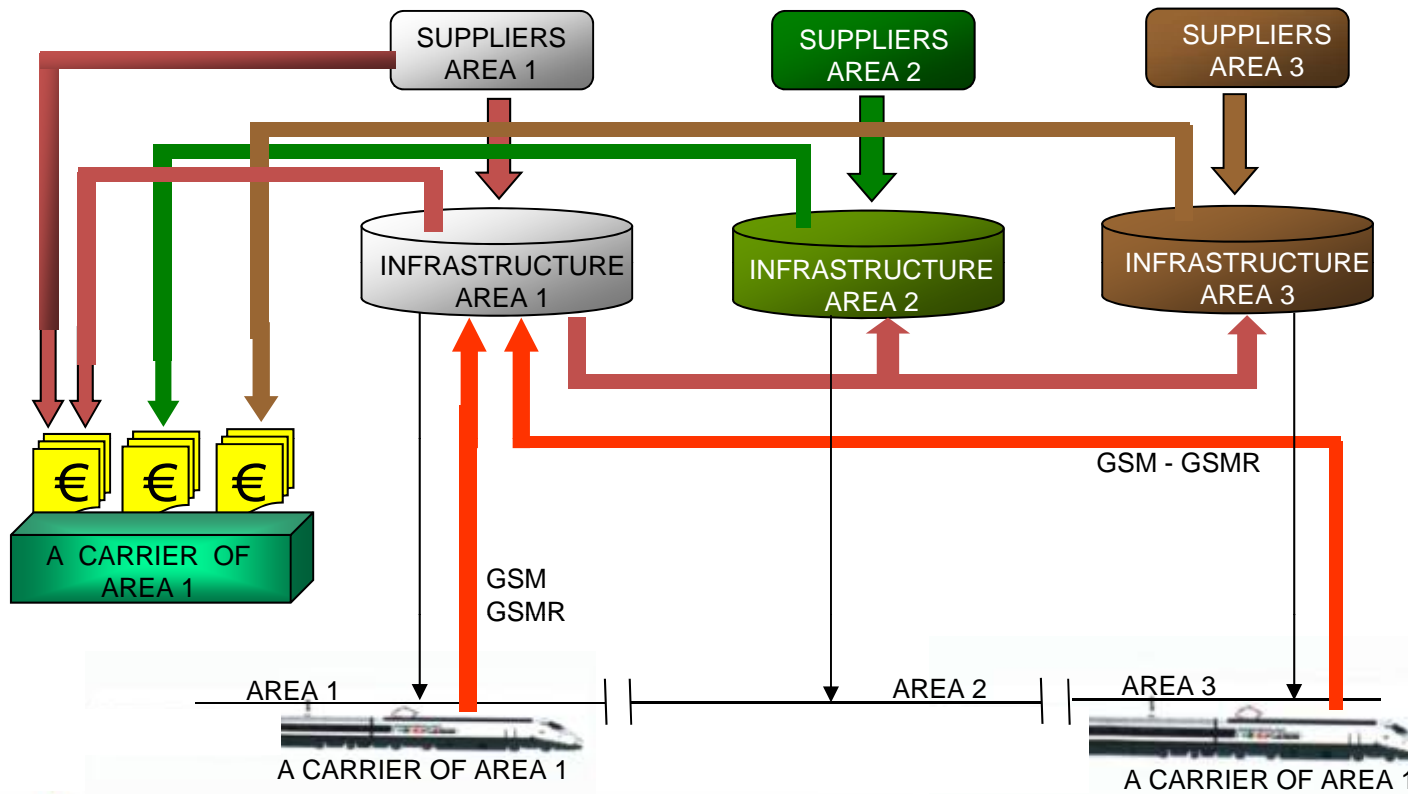
- Specifica dei test di conformità del Sistema di Misura dell'Energia completo ai requisiti definiti nello standard
 - E' complementare ai test di conformità definiti per i singoli componenti (o funzioni)
 - Considera il sistema nel suo complesso, inclusa l'installazione a bordo
 - Comprende le attività di riverifica e di test nel caso di sostituzione di un componente del sistema
 - Particolarmente utile ai NoBo (Notified Bodies – Enti Notificati) come riferimento per la verifica dei requisiti precisati dalle STI



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- Aspetti implementativi: Energy borders



Confine energetico

Il confine energetico è il luogo ove esiste un cambio di fornitore e/o distributore di energia.

Nella figura tale luogo si trova tra:

- AREA 1 e AREA 2
- AREA 2 e AREA 3.

Riconciliazione

E' la validazione dei dati di localizzazione, la attribuzione dei consumi alle AREE e la stima dei dati errati o perduti.



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari


- **Aspetti implementativi: sensori di tensione e corrente**

V,I Range of Sensors

INDOOR SOLUTIONS


DC 3000VDC, 1500VDC, 750VDC

DC Shunt



DC Voltage and Current

AC 25kVAC 50Hz, 15kVAC 16 $\frac{2}{3}$ Hz



AC Current



ROOF MOUNTED SOLUTIONS

DC 3000VDC, 1500VDC



DC Voltage and Current

AC 25kVAC 50Hz, 15kVAC 16 $\frac{2}{3}$ Hz



AC Voltage and Current Dual output AC Voltage/Current



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- **Aspetti implementativi: Sicurezza (safety)**
- EMS è un apparato elettronico installato su un veicolo ferroviario e collegato con la batteria del veicolo e/o una fonte di alimentazione a bassa tensione con o senza una connessione diretta al sistema di contatto (trasformatore, dispositivo potenziometrico, alimentazione ausiliaria).
- Non è un dispositivo/apparecchiatura/sistema di sicurezza e non produce o consuma dati inerenti la sicurezza.
- I soli elementi di un EMS che sono interessati da aspetti di sicurezza sono quelli che possono entrare in contatto con la tensione di linea, quali ad esempio i sensori di tensione e corrente e l'antenna di comunicazione.
- Occorre garantire con varie tecniche che l'isolamento della parte a bassa tensione di un EMS sia isolata da quella ad alta tensione.



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- **Aspetti implementativi: Sicurezza (security)**
- Il software di funzionamento EMF non ha impatti sulla sicurezza intesa come safety, ma ha impatti sulla sicurezza intesa come security.
- Il software che opera il calcolo dei cosiddetti CEBD (Compiled Energy Billing Data) dovrà garantire che questi non possano essere affetti da azioni volontarie o involontarie che ne possano causare la modificazione.
- EMS produce dati legali (quelli metrologici) e sensibili (quelli diagnostici, quelli utilizzabili per valutare le prestazioni dell'unità di trazione e quelli per eseguire funzioni DAS) che vanno protetti dall'accesso non autorizzato.
- I dati metrologici necessitano inoltre di autenticazione al fine di non poter essere ripudiati.



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- **Verifica e Riverifica: aspetti di certificazione**
- La certificazione per EMS è ottenuta rispetto alle STI Energia, STI materiale rotabile, serie EN 50463 e le altre norme europee applicabili secondo lo schema seguente:
 - Funzionalità (inclusi i requisiti metrologici, i parametri di base e i requisiti essenziali), interfacce, canali e protocolli di comunicazione, software: secondo **TSI e EN 50463-2/3/4**;
 - Aspetti di sicurezza (safety): secondo le EN50126, EN 50128 and EN 50129;
 - Affidabilità, disponibilità, manutenibilità: secondo la EN 50155;
 - EMC: secondo la EN 50121;
 - La verifica di conformità è effettuata:
 - A livello componente secondo la clausola 5 delle EN 50463-2/3/4
 - A livello sistema secondo la EN 50463-5
 - A livello installazione secondo la EN 50463-5



Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

Verifica e Riverifica: accuratezza

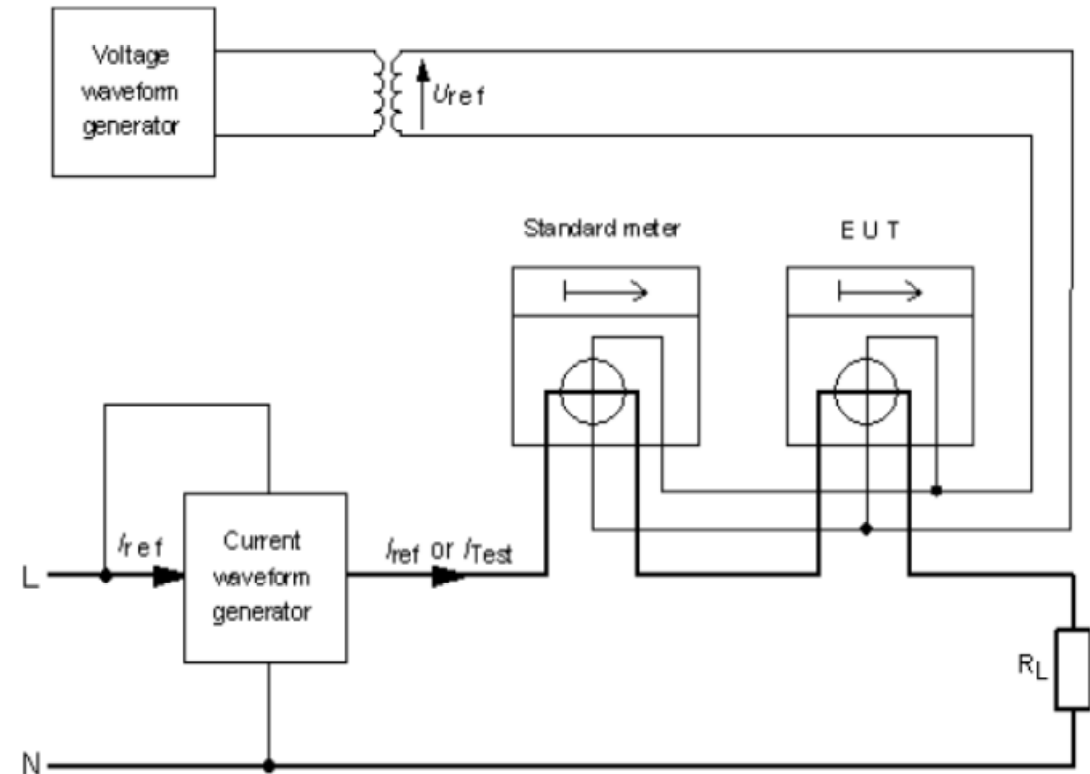
Principio della prova di “Total Accuracy”

Secondo la EN 50463 l'accuratezza totale è verificata con un calcolo e non con una misura di confronto con un campione come esemplificato nelle figura a fianco.

La formula di calcolo dell'errore massimo ammissibile è:

$$\varepsilon_{EMF} = \sqrt{(\varepsilon_{VMF})^2 + (\varepsilon_{CMF})^2 + (\varepsilon_{ECF})^2}$$

La metrologia richiede che l'errore massimo ammissibile ovvero l'accuratezza totale sia determinata per confronto con un campione (tuttora un punto aperto e quindi delegato alle legislazioni nazionali).





Misura e contabilizzazione dell'energia

EN 50463 – Misura dell'energia a bordo di rotabili ferroviari

- **Verifica e Riverifica: verifica periodica**

Modalità di prova in laboratorio

Richiede lo smontaggio del misuratore, installazione di un misuratore preventivamente verificato, riverifica del misuratore smontato che verrà rimontato su un'altra unità di trazione.

E' richiesta la riconfigurazione durante l'installazione.

Modalità di prova in deposito

Non richiede lo smontaggio e rimontaggio del misuratore, né la riconfigurazione.

Alimentazione apparecchiatura: 230 Vac 50 Hz

Potenza massima assorbita: 6 kVA

Gamma del generatore di tensione di prova:

- DC: da 250 a 5000 Volts

- AC: da 2.5kV a 32 kV (50Hz – 16Hz)

Gamma del generatore di corrente di prova:

- DC: da 0 a 1500 Amps

- AC: da 0 a 500 Amps





Tecnologie di accumulo

Le principali tecnologie di accumulo usate in campo ferroviario sono:

- **Supercondensatori**

1. EDLC: Electric double-layer capacitor
2. Pseudocapacitor (ad es. Ioni di Litio)
3. Hybrid capacitor

- **Batterie**

1. • Lithium-ion battery
2. • Nickel metal hydride

- **Volani (Flying-wheel)**



Tecnologie di accumulo

- **Supercondensatori**

Hanno valori oltre i 5000 F.

Rispetto agli accumulatori con tecnologia chimica presentano i seguenti vantaggi:

- carica e scaricati quasi istantanea,
- elevatissima potenza specifica,
- numero di cicli molto più elevato rispetto agli accumulatori tradizionali.

Hanno lo svantaggio di una minore energia specifica immagazzinata.

I supercondensatori presentano due diversi principi di carica: static double-layer capacitance (fisicamente simile a quello dei classici condensatori) ed electrochemical pseudocapacitance (simile a quello degli accumulatori chimici).

EDLC: Electric double-layer capacitor

Usano il principio di carica static double-layer capacitance

Pseudocapacitor

Usano il principio di carica electrochemical pseudocapacitance

Hybrid capacitor

Usano entrambi i principi di carica



Tecnologie di accumulo

• Batterie

In ambito ferroviario vengono usate tipicamente le 4 tecnologie riportate in tabella per le seguenti applicazioni:

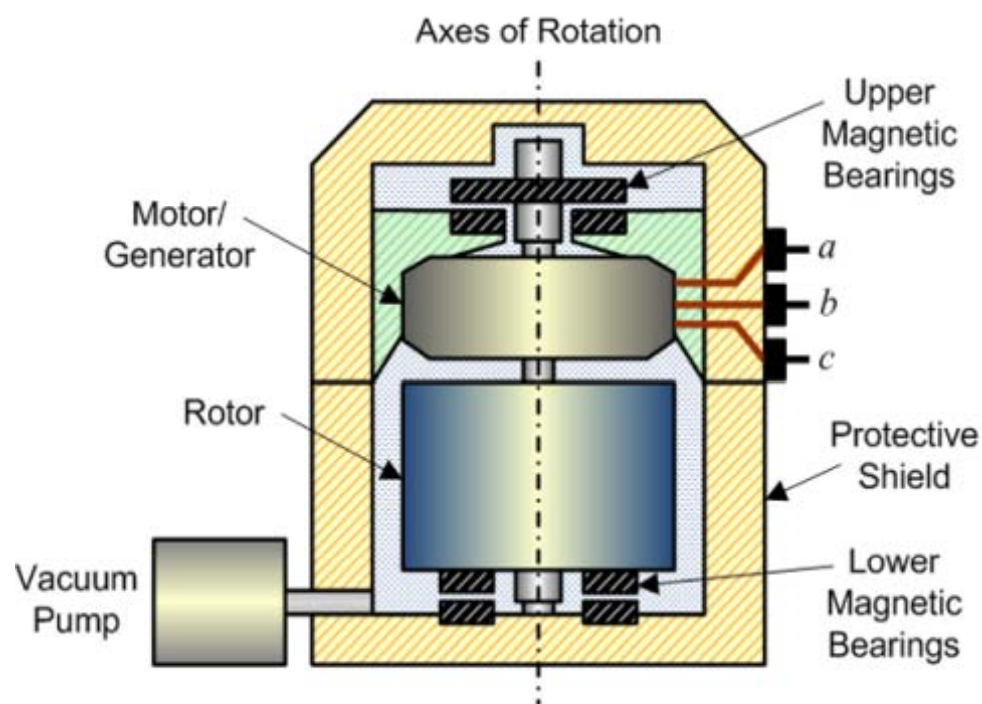
1. Accumulo energia a bordo per uso trazione
2. Accumulo energia a bordo per uso negli ausiliari
3. Accumulo di energia a terra per uso trazione

	Lead acid	Ni-Cd	Ni-MH	Lithium ion
Energy density (Wh/L)(Wh/kg)	Low			High
Environmentally hazardous substances	Lead content	Cadmium content	Lead and Cadmium free	Lead and Cadmium free
Sealed	Yes	No	Yes	Yes
Electrolyte (safety)	Aqueous	Aqueous	Aqueous	Organic solvent

Tecnologie di accumulo

• Volani (Flying wheels)

1. Un volano è un accumulatore di energia meccanico che ruota intorno al suo asse.
2. Accumula energia cinetica
3. E' costituito da una massa rotante e da un motore elettrico che la mette in rotazione. Lo stesso motore elettrico viene usato come generatore elettrico quando il volano restituisce l'energia cinetica accumulata.
4. Sono molto promettenti come sostituti degli accumulatori chimici.
5. Sono adatti a fornire energie di picco: da 100 kW a 2 MW per durate da 12 a 60 secondi.
6. Svantaggi: massa aggiuntiva ed effetto giroscopico





Reversibilità delle sottostazioni di alimentazione

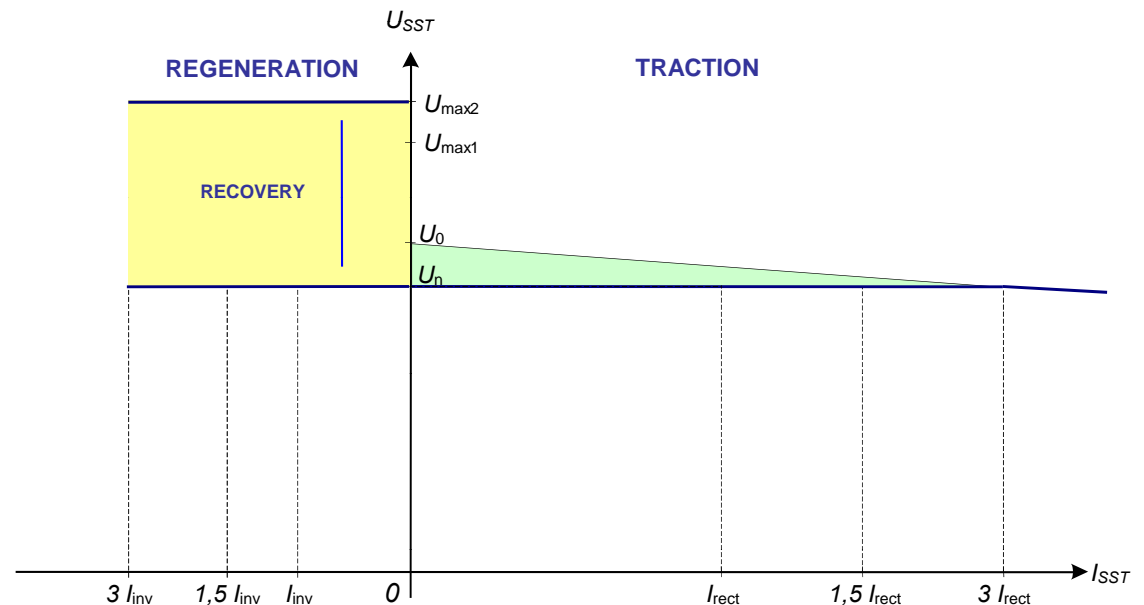
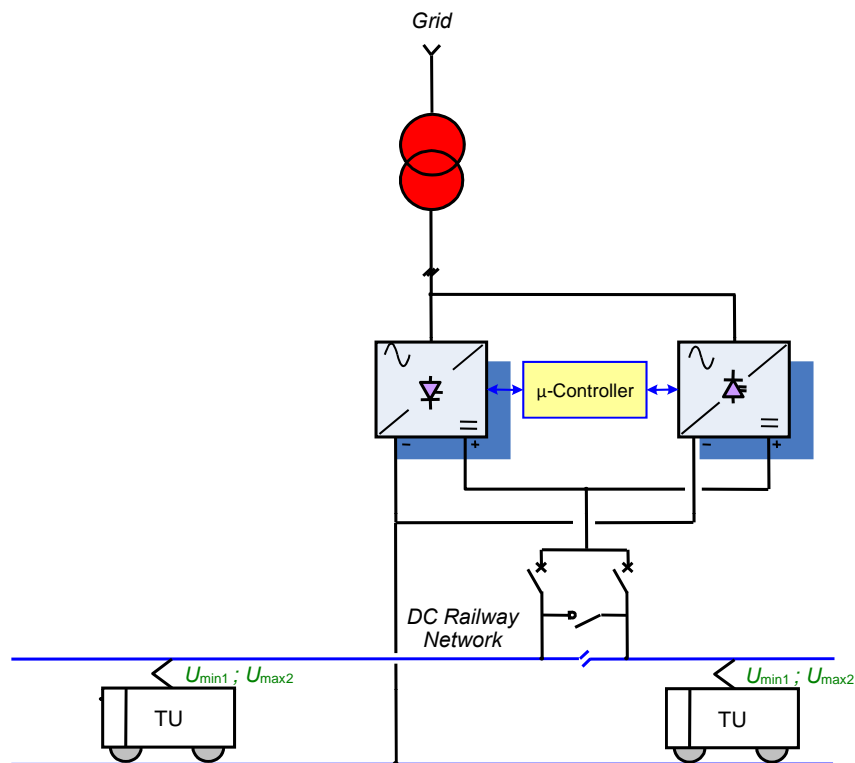
• **Necessità e utilità delle stazioni reversibili**

- Nel ferroviario, storicamente e in gran parte anche tutt'ora, l'energia dinamica di frenatura non viene recuperata, ma è dissipata da reostati posti sull'imperiale (il tetto dell'unità di trazione).
- Oggi le reti intelligenti (smart grid) permettono di vendere l'energia, recuperata in frenata, al gestore dei servizi energetici.
- Le stazioni reversibili sono realizzabili con diverso grado di difficoltà e di costi sia in DC sia in AC.
- Le stazioni reversibili non sono l'unica risposta al problema del recupero dell'energia di frenatura, altre soluzioni sono:
 - Accumulo a bordo treno
 - Accumulo nelle sottostazioni e lungo la linea
 - Alimentazione di treni in accelerazione da parte di un treno seguente in frenata (tipico del sistema "metropolitana")



Reversibilità delle sottostazioni di alimentazione

- Schema di principio di sottostazione reversibile in DC





Reversibilità delle sottostazioni di alimentazione

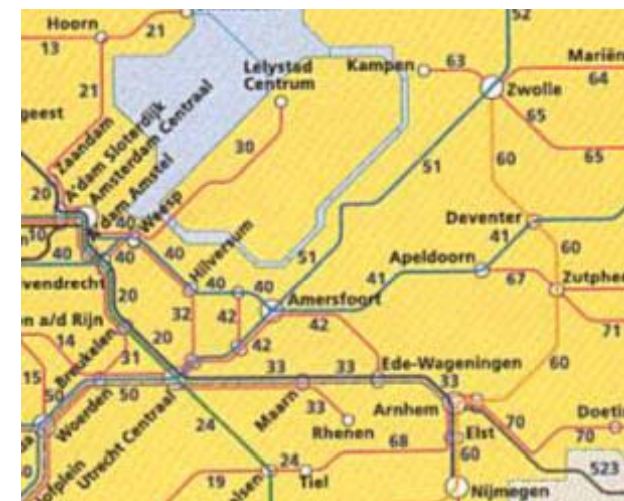
• Sperimentazione

Caratteristiche linea:

1.5 kV DC, 87 km, 15 stazioni, EMU 6-12 veicoli

Risultati

- +7%: Il risparmio di energia nella linea regionale Utrecht-Zwolle (Olanda).
- dal 77% al 99%: il trasferimento di energia netta alla rete.
- Eliminazione dell'uso dei reostati con effetto secondario positivo di riduzione della massa del veicolo.





Tecnologie di trazione elettrica ibrida

- **Aspetti generali**

La trazione elettrica ibrida prevede due sistemi di propulsione che operano in coordinamento: propulsione da motore termico e propulsione da motore elettrico.

Il sistema di propulsione elettrica è dotato della capacità di immagazzinamento di energia elettrica (recupero dell'energia cinetica di frenata).

La trazione ibrida ha dimostrato la sua capacità di ridurre i consumi di carburante e quindi di emissione di CO₂ sia in campo automobilistico sia in campo ferroviario.

Nel primo caso le applicazioni sono principalmente in traffico urbano e nel secondo caso sono per le locomotive di manovra.

In entrambi i casi si tratta di utilizzo del veicolo con frequenti partenze e frenate.

Si dimostra che possono essere ottenuti risparmi fino al 50% per il consumo del carburante.

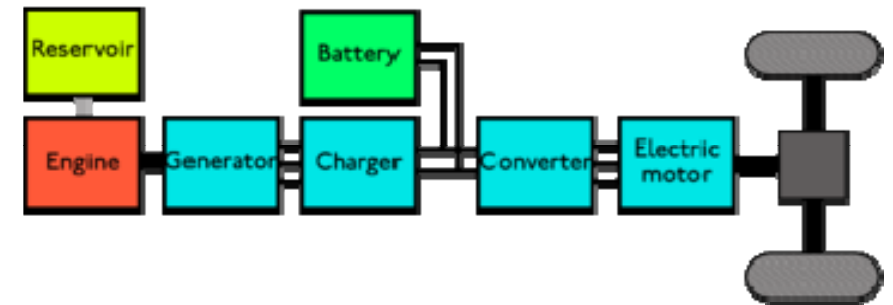


Tecnologie di trazione elettrica ibrida

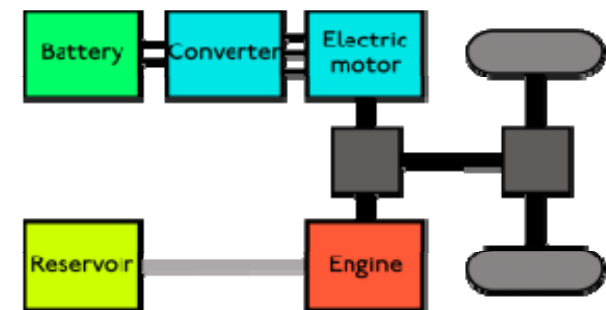
• Configurazioni

Sono possibili due configurazioni:

Ibrido serie: Tale configurazione è tra le più usate nelle locomotive. Il motore termico muove un generatore che alimenta il motore di trazione elettrica e ricarica il sistema di accumulo



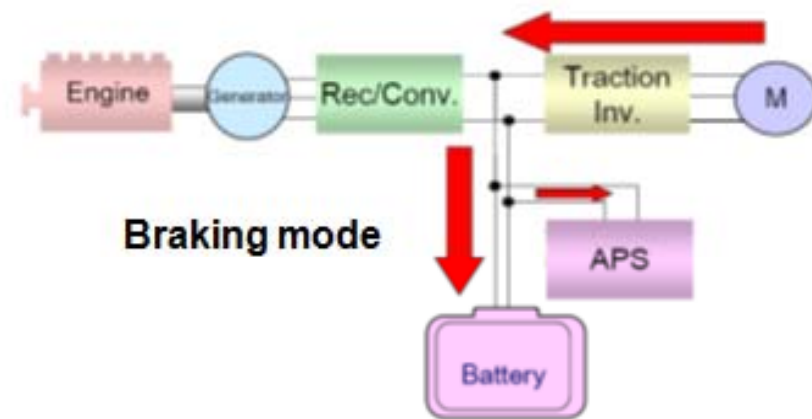
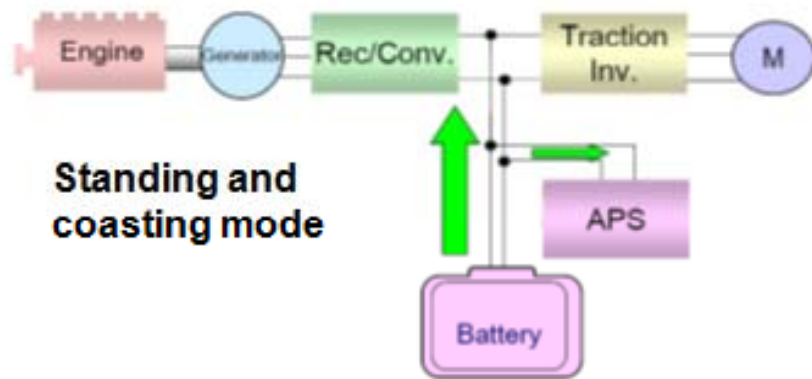
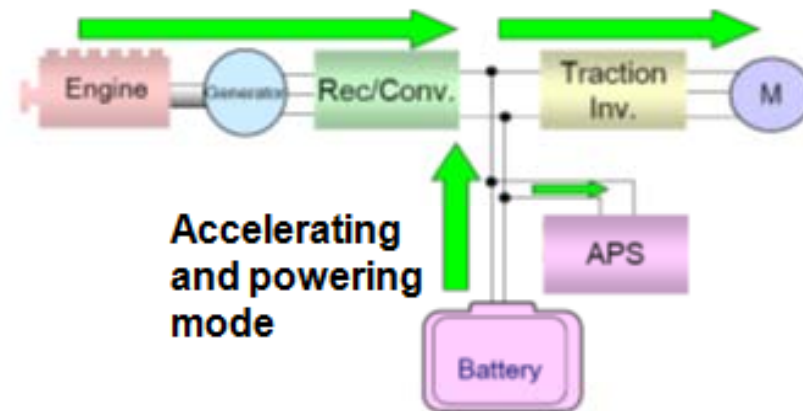
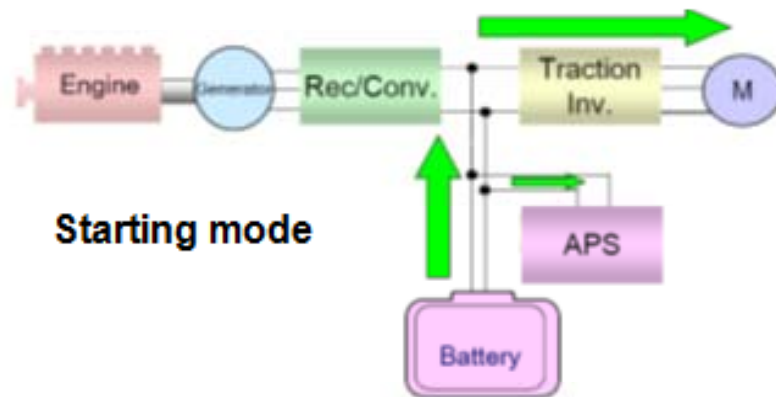
Ibrido parallelo: Tale configurazione è tra le più usate nelle auto ibride. È caratterizzata da un nodo meccanico di accoppiamento della potenza, per cui entrambi i motori (l'elettrico e il termico) forniscono coppia alle ruote. Il motore elettrico funziona in frenata da generatore per ricaricare il sistema di accumulo





Tecnologie di trazione elettrica ibrida

- Modalità di funzionamento di un sistema ibrido serie





Programma – Parte 2

- **Tecnologie per la gestione dell'energia**
 - Misura e contabilizzazione dell'energia consumata/restituita
 - Tecnologie di accumulo
 - Reversibilità delle sottostazioni di alimentazione
 - Tecnologie di trazione elettrica e ibrida
- **Applicazioni per il risparmio energetico**
 - **Gestione dell'energia a bordo dei rotabili**
 - Sistemi di guida assistita (DAS)
 - Recupero dell'energia di frenata
 - Gestione centralizzata dell'energia a bordo e ottimizzazione
 - **Gestione dell'energia nelle installazioni fisse**
 - Produzione di energie rinnovabili
 - Accumulo dell'energia
 - Ottimizzazione dei consumi
- **Cenni sul Total Energy Management (misure, verifiche, azioni di miglioramento)**
- **Domande e risposte**
- **Questionario**



Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Sistemi di Guida Assistita (DAS)

- **Motivazioni**

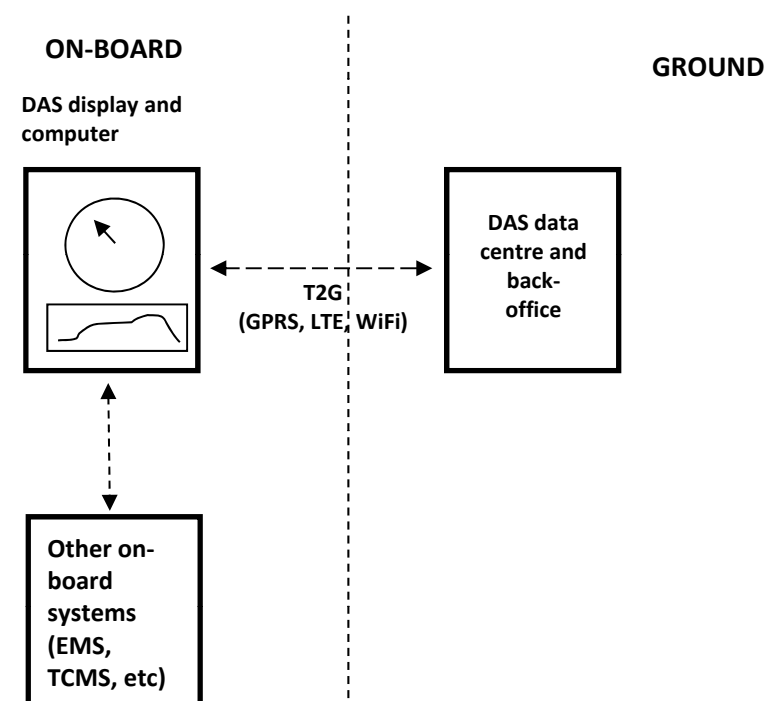
- Lo «stile di guida» può influire pesantemente sul consumo energetico di un mezzo di trasporto
- Applicando strategie di guida orientate al risparmio energetico, si possono ottenere riduzioni di consumo del 10 % o maggiori
- L'utilizzo di strumenti dedicati può facilitare l'implementazione di strategie ottimizzate alla riduzione dei consumi, con investimenti minimi
- Le stesse strategie possono portare ulteriori benefici «indiretti» come un minor consumo dei freni ed una ridotta usura della rotaia, con riduzione dei costi di manutenzione

Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Tipologie di DAS

- **S-DAS: Stand Alone DAS**

- E' il livello più semplice, basato su dati pre-registrati e disponibili a bordo (ad es. la tabella oraria). Da tali dati viene calcolato un profilo di velocità ottimizzato.
- Consente di migliorare l'efficienza energetica, ma non ha impatto su puntualità e capacità.
- Facile da applicare. Ci sono vari prodotti già disponibili.



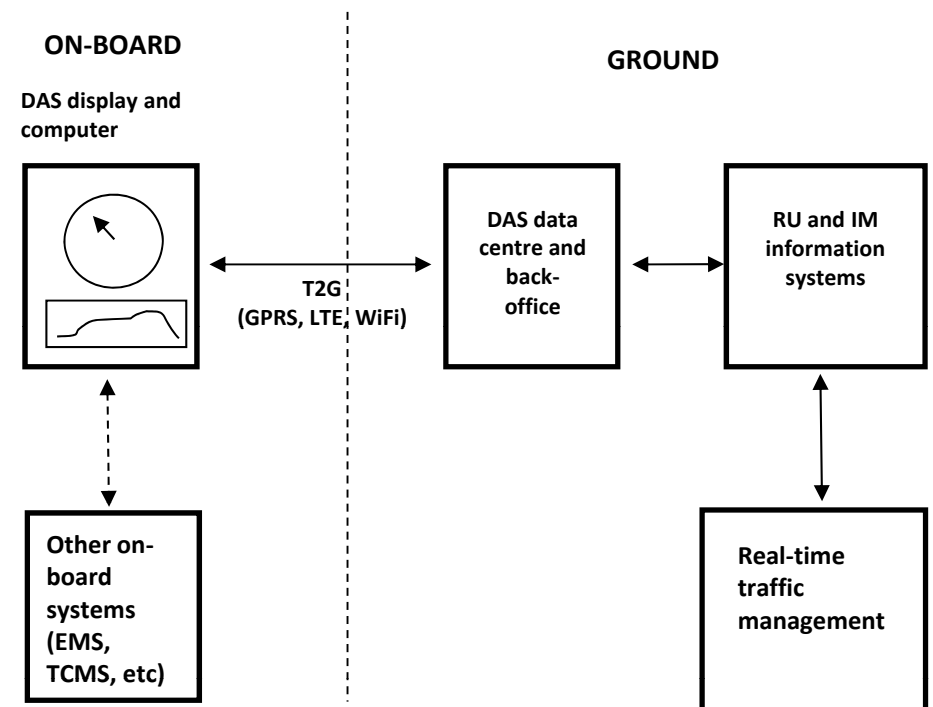


Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Tipologie di DAS

- **C-DAS: Connected DAS**

- E' collegato ai sistemi di terra: può comunicare la posizione esatta del treno, ricevere una tabella oraria aggiornata in tempo reale.
- Consente una gestione del traffico ottimizzata per tutti i treni di una flotta, minimizzando i ritardi e massimizzando la capacità
- Applicazioni ancora limitate ma rapidamente crescenti



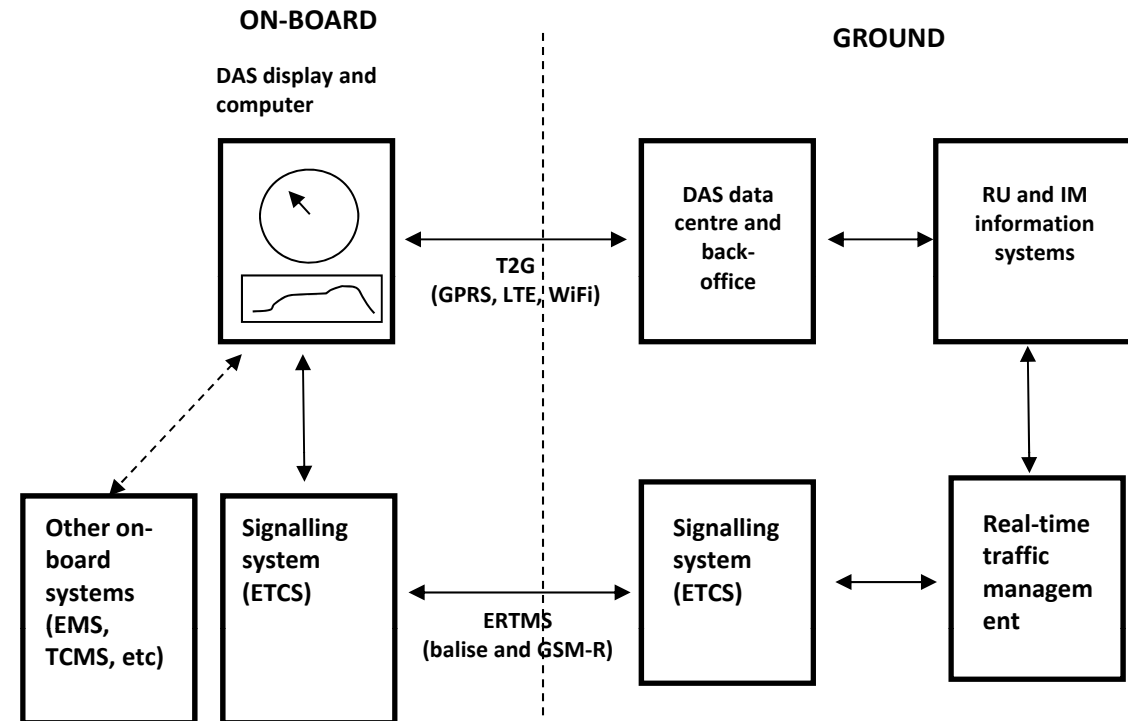


Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Tipologie di DAS

- **I-DAS: Integrated DAS**

- E' integrato con il sistema di segnalamento (in particolare ETCS) e con il sistema di guida automatica (ATO – UTO)
- Può portare il risparmio energetico fino al 20%
- Ancora in uno stadio iniziale e in parte a livello di ricerca e sviluppo





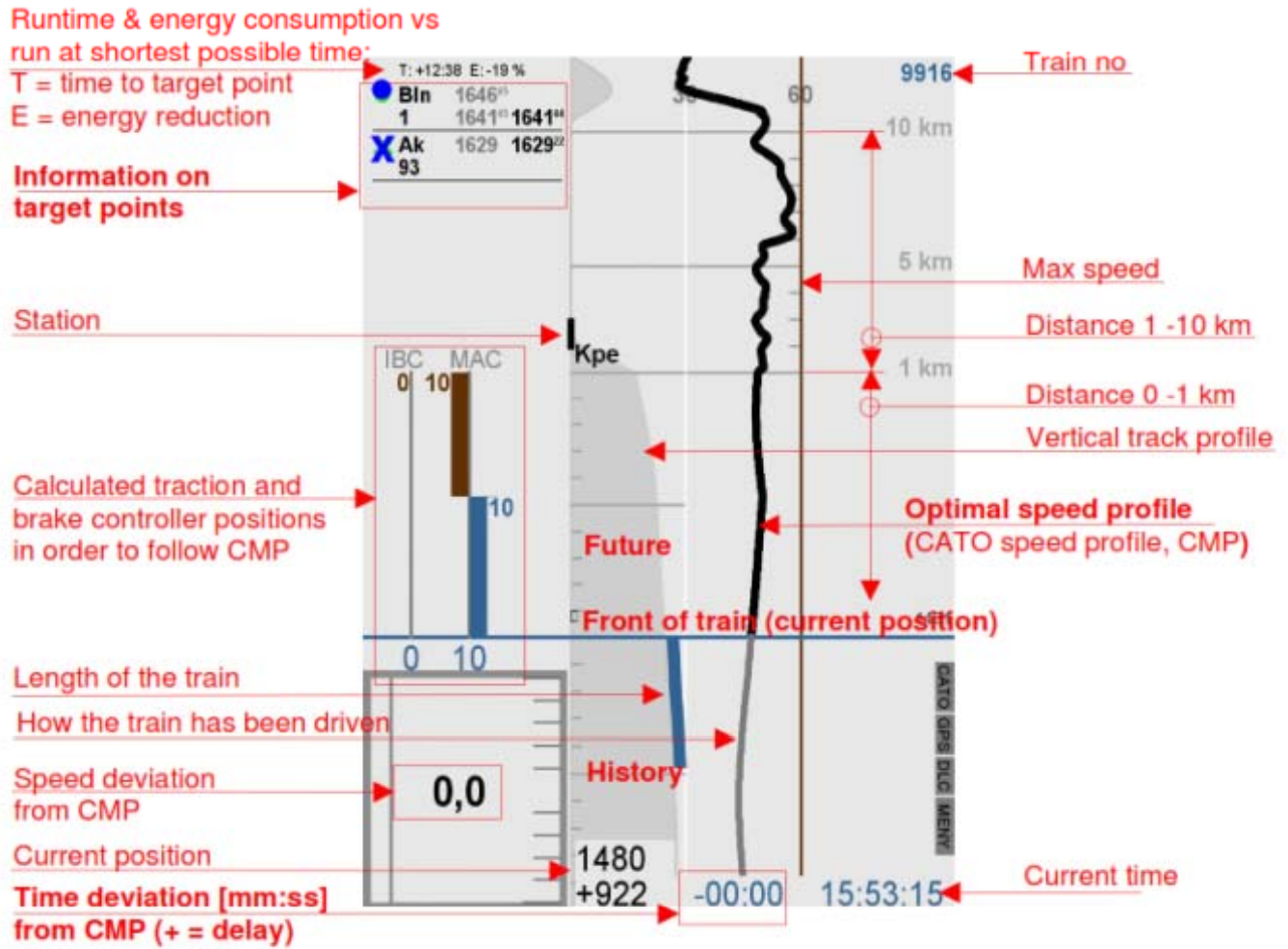
Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Esempio di C-DAS

- CATO (Transrail)



- Filmato



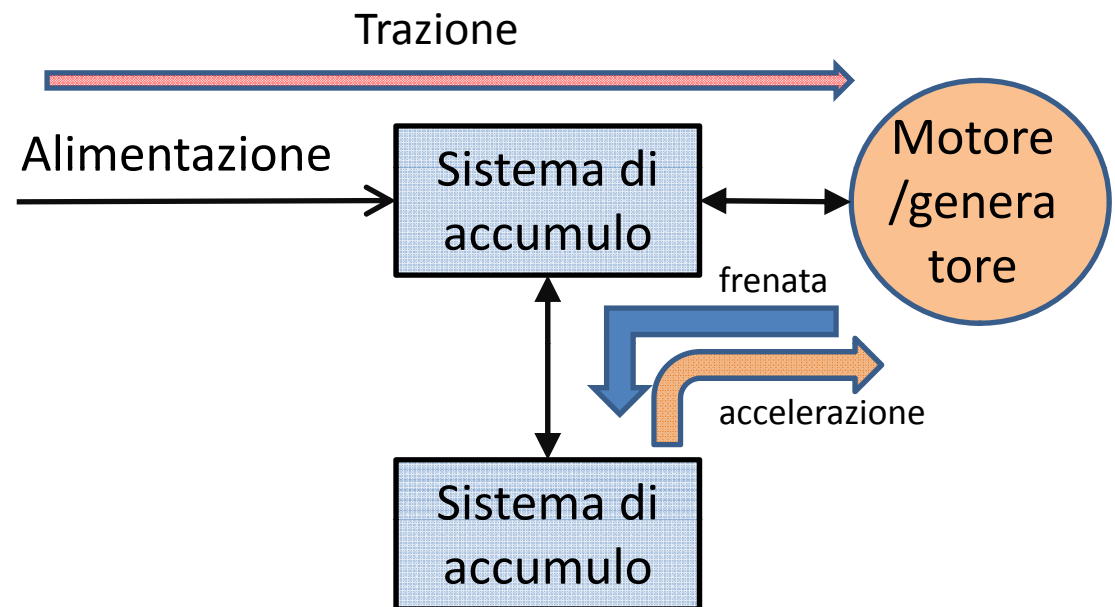


Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Recupero dell'energia di frenata

- **Accumulo a bordo**

- L'accumulo a bordo immagazzina l'energia cinetica di frenata e permette di riusarla in accelerazione.
- Il sistema di accumulo è costituito, tipicamente, da batterie (Ioni di litio, NiMH) ma ci sono esempi con supercondensatori e volani.

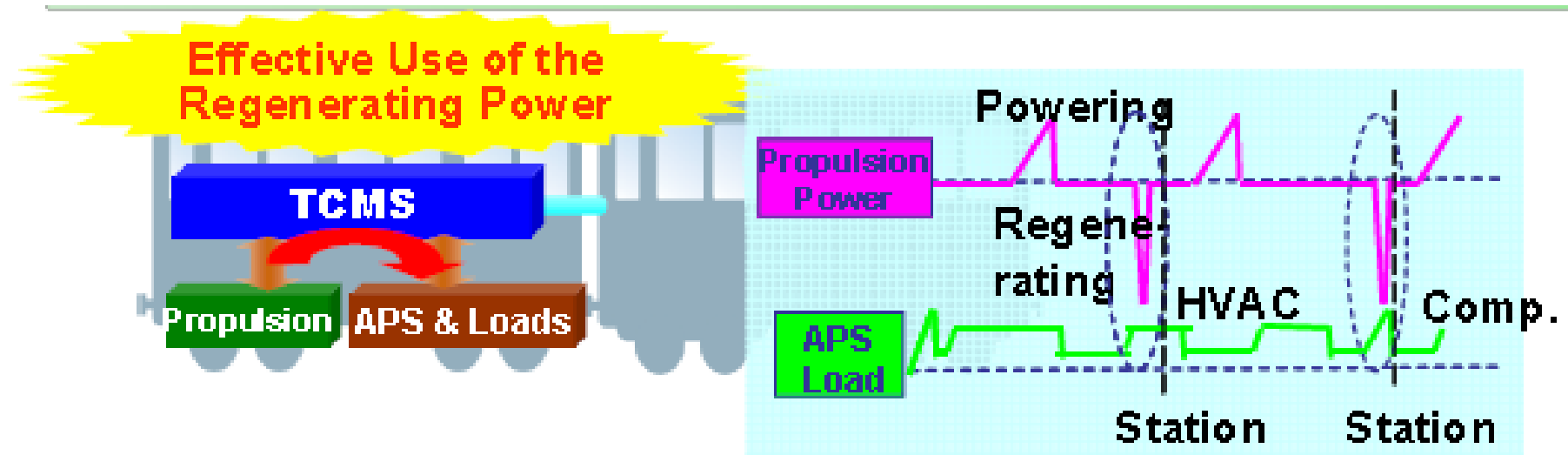




Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Recupero dell'energia di frenata

- Riuso energia a bordo

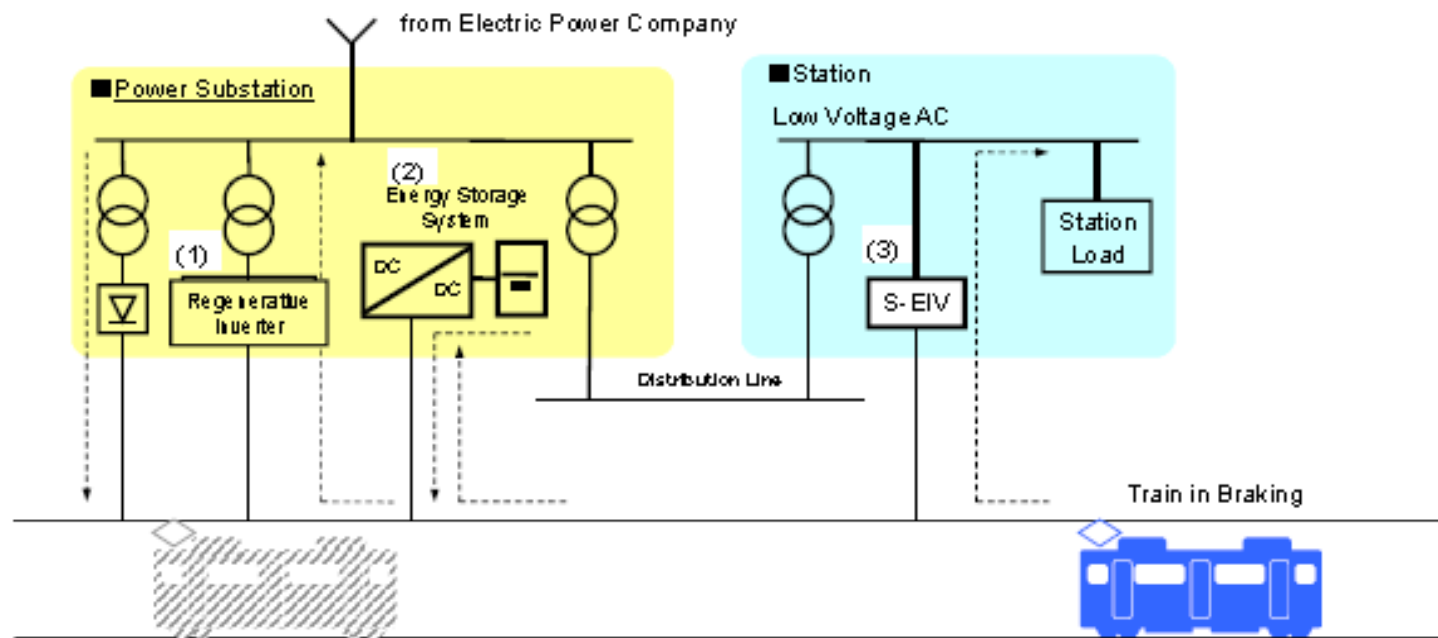




Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Recupero dell'energia di frenata

- Alimentazione di un veicolo che precede in accelerazione





Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Gestione centralizzata dell'energia a bordo e ottimizzazione

• Architettura per la gestione dell'energia (MERLIN)

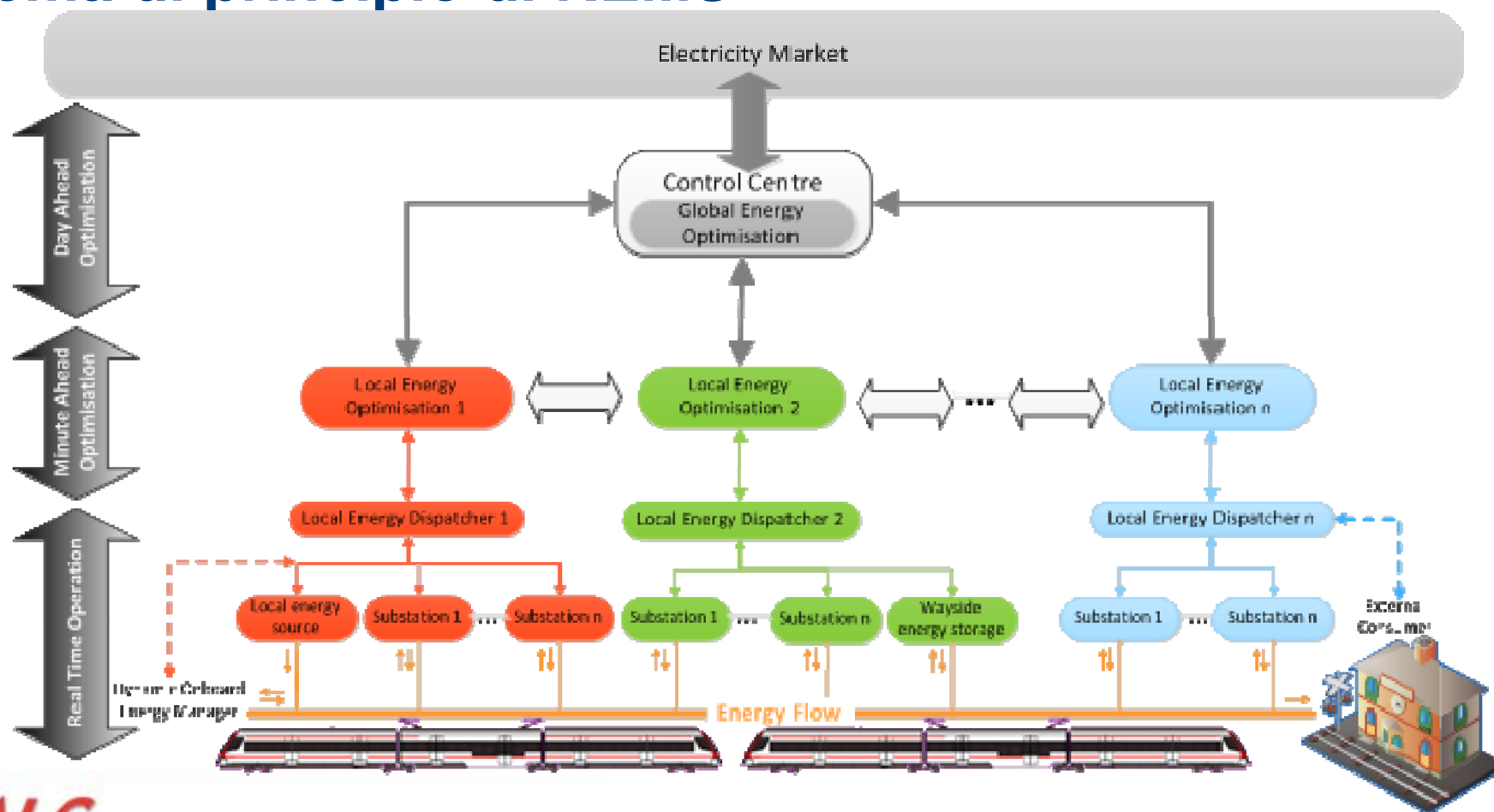
- REM-S, Railway Energy Management System, è una piattaforma generica per la gestione e il controllo di unità che svolgono funzioni di efficienza energetica e che comunicano tra di loro tramite interfacce.
- REM-S monitora lo stato della infrastruttura elettrica, lo stato dell'energia fornita dalle sottostazioni e lo stato del traffico veicolare al fine di fornire una ottimizzazione dei consumi di energia richiesti dall'operatività del sistema ferroviario sotto controllo. Di conseguenza vengono ridotti i costi per energia e le emissioni di CO₂.
- Tutte le funzioni sia di alto livello sia di dettaglio, offerte da REMS, sono eseguite secondo i seguenti modi operativi:
 - Day Ahead Optimisation (DAO)
 - Minutes Ahead Optimisation (MAO)
 - Real Time Operation (RTO)



Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Gestione centralizzata dell'energia a bordo e ottimizzazione

- Schema di principio di REMS

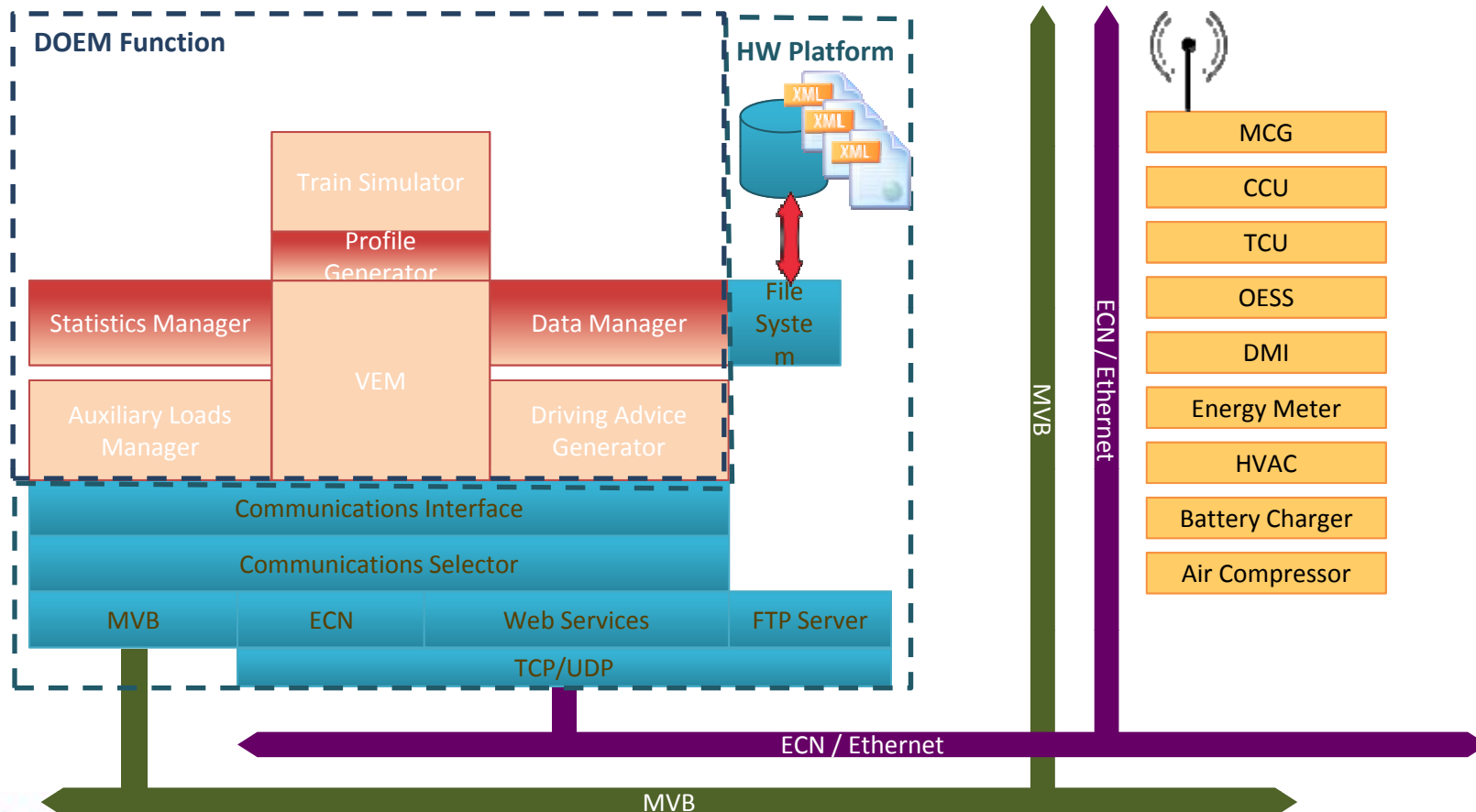




Gestione dell'energia a bordo dei rotabili

Gestione centralizzata dell'energia a bordo e ottimizzazione

- REMS – architettura di bordo





Programma – Parte 2

- **Tecnologie per la gestione dell'energia**
 - Misura e contabilizzazione dell'energia consumata/restituita
 - Tecnologie di accumulo
 - Reversibilità delle sottostazioni di alimentazione
 - Tecnologie di trazione elettrica e ibrida
- **Applicazioni per il risparmio energetico**
 - Gestione dell'energia a bordo dei rotabili
 - Sistemi di guida assistita (DAS)
 - Recupero dell'energia di frenata
 - Gestione centralizzata dell'energia a bordo e ottimizzazione
- **Gestione dell'energia nelle installazioni fisse**
 - Produzione di energie rinnovabili
 - Accumulo dell'energia
 - Ottimizzazione dei consumi
- **Cenni sul Total Energy Management (misure, verifiche, azioni di miglioramento)**
- **Domande e risposte**
- **Questionario**



Gestione dell'energia nelle installazioni fisse

Produzione di energie rinnovabili

• IMPIANTI FOTOVOLTAICI per la TRAZIONE

- A fine 2016, Terna ed RFI (Rete Ferroviaria Italiana) hanno sottoscritto un accordo secondo il quale le società cooperano per garantire a RFI un approvvigionamento di energia pulita per circa 300 GWh all'anno.
- 300 GWh all'anno corrisponde a circa il 5% del consumo totale di energia di RFI che con un consumo di circa 5400 GWh anno si pone come l'utente più energivoro d'Italia.
- L'energia verde prodotta sarà utilizzata principalmente per trazione ma anche per alimentare stazioni e impianti dell'infrastruttura di RFI.

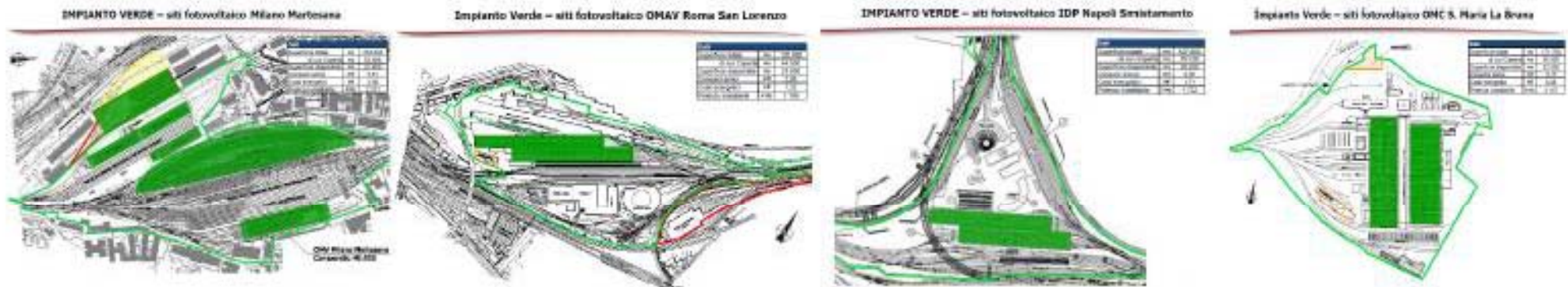


Gestione dell'energia nelle installazioni fisse

Produzione di energie rinnovabili

- **IMPIANTI FOTOVOLTAICI**

- Trenitalia sta perseguendo obiettivi di efficienza energetica e di riduzione della CO₂ emessa anche attraverso l'installazione di impianti fotovoltaici presso i depositi e le officine, quali quelli di Napoli smistamento, Milano Martesana, Roma S. Lorenzo e S. Maria La Bruna, per un totale di circa 4.000 kWp.





Accumulo dell'energia

Sistemi di accumulo dell'energia a terra

• Introduzione

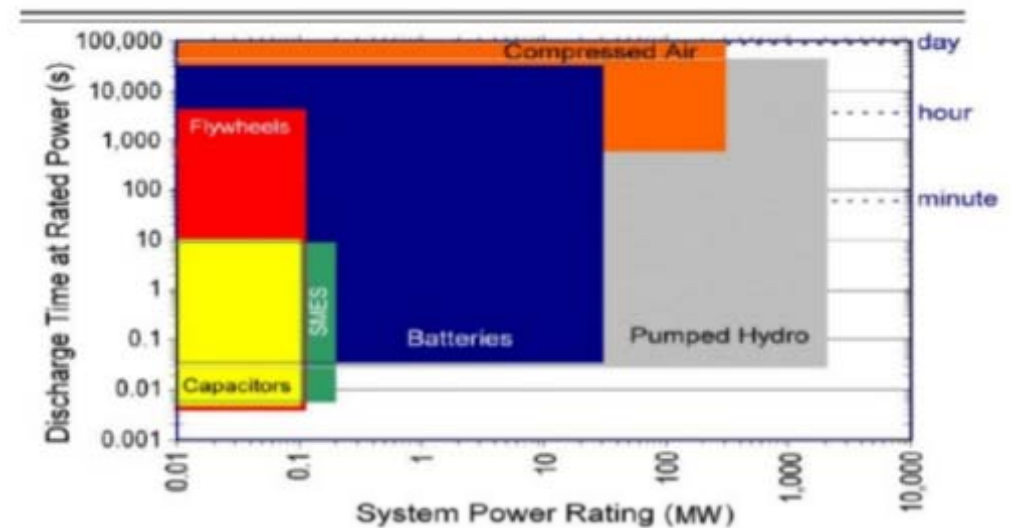
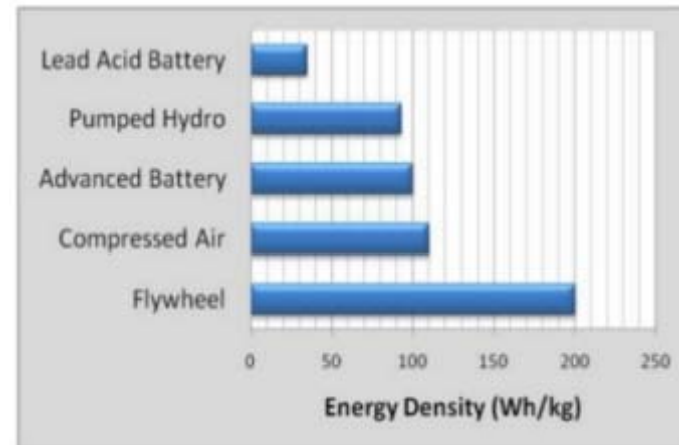
- L'accumulo di energia consente di migliorare l'efficienza della gestione energetica, permettendo di immagazzinare l'energia prodotta per un suo consumo differito nel tempo
- Le tecnologie utilizzabili sono simili a quelle impiegate a bordo dei veicoli. L'accumulo di energia a terra è semplificato rispetto a quello a bordo per i minori problemi di spazio disponibile, peso massimo, vibrazioni e rumore
- Standards applicabili: IEC 62924
- Ulteriori benefici:
 - Stabilizzazione della tensione di linea
 - Riduzione della potenza di picco



Accumulo dell'energia

Confronto tra tecnologie

- Densità energetica
- Tempo di scarica alla potenza nominale

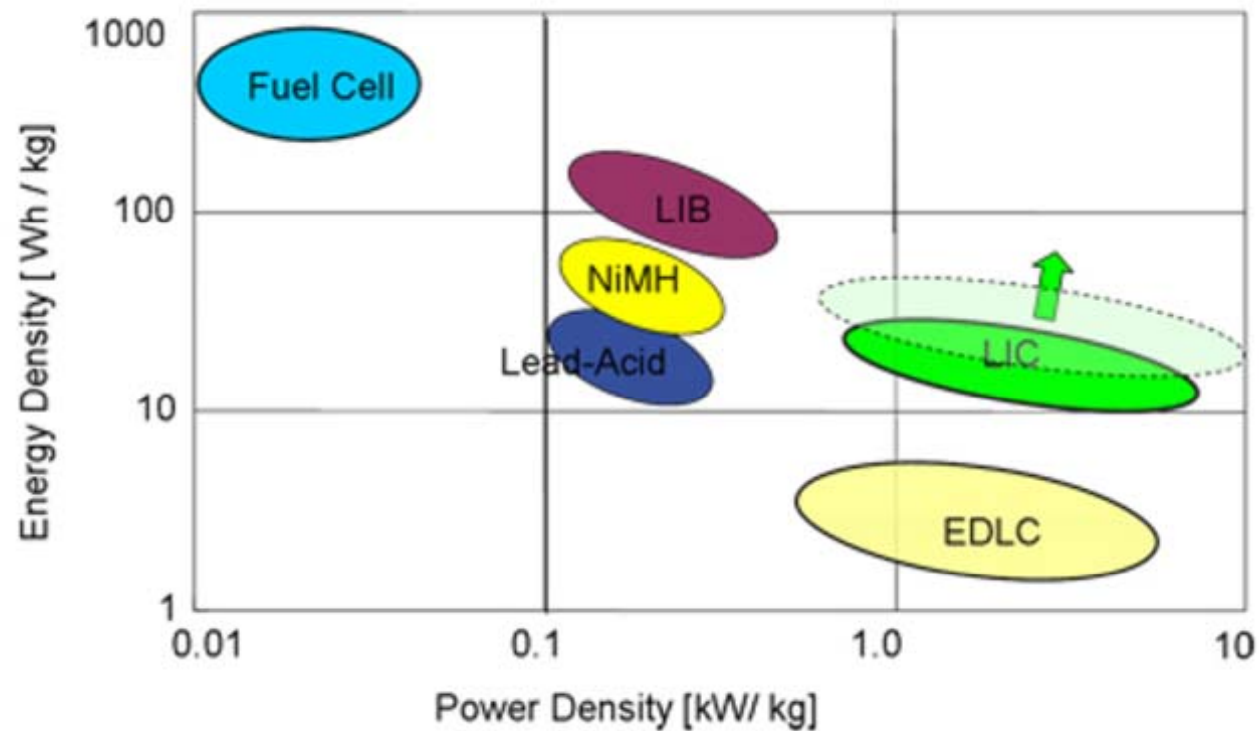




Accumulo dell'energia

Confronto tra tecnologie

- Densità energetica a confronto con densità di potenza



Accumulo dell'energia

Sistemi di accumulo dell'energia a terra

- **Batterie**

- Sono disponibili diverse tecnologie:

- Ioni di Litio, Nichel metal-idrato, piombo-acido
- Occorre considerare l'impatto ambientale

- Le applicazioni a terra (BESS = Battery Energy Storage System) non differiscono sostanzialmente da quelle a bordo, a parte il dimensionamento



Accumulo dell'energia

Sistemi di accumulo dell'energia a terra



- **Supercondensatori**

- Sono disponibili diverse tecnologie:
 - Electric double layer capacitors, Lithium-ion capacitors, ibridi
- La tecnologia LIC, rispetto a quella EDLC, presenta una maggiore densità energetica, maggiore resistenza alle alte temperature
- Rispetto alle batterie al Litio, non presentano il problema del «thermal runaway».
- Ricarica più veloce e maggior numero di cicli rispetto alle batterie. Costi elevati.
- Numerosi produttori in Europa e nel mondo.





Accumulo dell'energia

Sistemi di accumulo dell'energia a terra

- **Volani**

- Trasformano energia elettrica in energia cinetica e viceversa. Uso limitato, ma in crescita. Nessuna manutenzione periodica. Potenziali pericoli in caso di guasto.
- Esempio: volano Beacon Power in fibra di carbonio rotante nel vuoto su sospensione magnetica a 16.000 giri/min. Potenza 100 KW. Modulare.
- Esempio: sistema Siemens volano di acciaio di 260 kg rotante fino a 9000 giri/min, su sospensione magnetica, nel vuoto, può fornire 125 KW per 15 secondi.



Accumulo dell'energia

Sistemi di accumulo dell'energia a terra

- **Aria compressa**

- CAES (Compressed Air Energy Storage)
- Tecnologia non nuova, ma non molto usata.
- Potenzialmente pericolosa, richiede opportune precauzioni (con aumento dei costi).
- Efficienza ridotta dal riscaldamento dell'aria durante la compressione. Il calore può però essere recuperato.
- Pochi impianti di grandi dimensioni attualmente esistenti (usano come «bombole» delle caverne sotterranee)

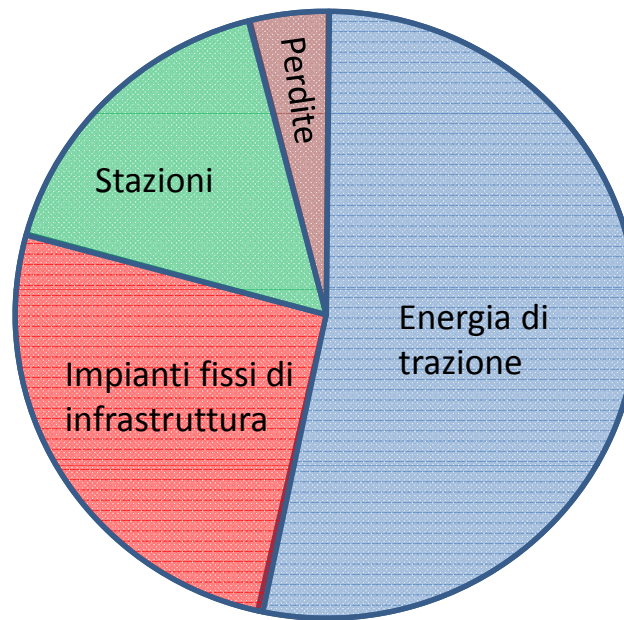




Gestione dell'energia nelle installazioni fisse

Ottimizzazione dei consumi

- **Fase di analisi**
 - Suddivisione percentuale dei consumi di un sistema ferroviario





Gestione dell'energia nelle installazioni fisse

Ottimizzazione dei consumi

- **Fase di intervento**
 - Energia di trazione
 - Ricupero energia di frenatura
 - Tecniche di guida assistita
 - Impianti fissi e stazioni
 - Pannelli fotovoltaici
 - Illuminazione con tecnologia led
 - Perdite
 - Nuove tecnologie per linee di contatto
 - Stabilizzazione della tensione di trazione



Programma – Parte 2

- **Tecnologie per la gestione dell'energia**
 - Misura e contabilizzazione dell'energia consumata/restituita
 - Tecnologie di accumulo
 - Reversibilità delle sottostazioni di alimentazione
 - Tecnologie di trazione elettrica e ibrida
- **Applicazioni per il risparmio energetico**
 - Gestione dell'energia a bordo dei rotabili
 - Sistemi di guida assistita (DAS)
 - Recupero dell'energia di frenata
 - Gestione centralizzata dell'energia a bordo e ottimizzazione
- **Gestione dell'energia nelle installazioni fisse**
 - Produzione di energie rinnovabili
 - Accumulo dell'energia
 - Ottimizzazione dei consumi
- **Cenni sul Total Energy Management (misure, verifiche, azioni di miglioramento)**
- **Domande e risposte**
- **Questionario**



Cenni sul Total Energy Management

- **Come applicare il Total Energy Management al ferroviario**
 - Il concetto di TEM applicato al ferroviario comporta una gestione ottimizzata e coordinata dei consumi energetici del materiale rotabile e i consumi energetici degli impianti fissi.
 - L'obiettivo suddetto si raggiunge con monitoraggio continuo, azioni di miglioramento e di coordinamento tra i consumi richiesti dai rotabili e dalle installazioni fisse e l'energia fornita agli stessi.
 - Gli obiettivi di dettaglio sono:
 - Aumento di efficienza nei consumi energetici totali.
 - Riduzione delle emissioni di CO₂.
 - Miglioramento delle strategie di acquisto dell'energia sul mercato libero.
 - Aumento dell'uso di energia verde (acquistata e/o prodotta).



Cenni sul Total Energy Management

- **Azioni di miglioramento per il materiale rotabile**
 - Le azioni di miglioramento riguardano la tecnologia del rotabile e la sua operatività:
 - Le aree di intervento tecnologico sono:
 - Propulsione: motori elettrici e inverter di comando (es.: motori sincroni a magneti permanenti).
 - Illuminazione con tecnologia LED e controllo automatico della intensità.
 - Sistemi di condizionamento della carrozza.
 - Sistemi ausiliari.
 - Gestione a bordo dell'energia (coordinamento delle utenze per riduzione picchi e per spegnimenti automatici).



Cenni sul Total Energy Management

- **Azioni di miglioramento per materiale rotabile e infrastruttura**
 - Le aree di intervento in ambito operatività (esercizio) devono essere applicate al rotabile e all'infrastruttura e richiedono un coordinamento centralizzato.
 - Guida assistita (assistenza al macchinista per ottimizzare i consumi garantendo l'orario percorrenza)
 - Uso di strategie per evitare gli sprechi energetici, quali recupero dell'energia cinetica in frenata :
 - con accumulo di energia nelle sottostazioni, lungo la linea e a bordo;
 - invio dell'energia in griglia tramite sotto-stazioni reversibili;
 - riduzione delle perdite in linea, ad esempio con il controllo dell'angolo di fase.
 - Gestione coordinata del traffico
 - orari di percorrenza flessibili per ridurre i picchi di consumo;
 - ripetibilità e prevedibilità dei consumi totali sulle 24 ore.



Cenni sul Total Energy Management

- **Declinazioni del TEM**

- Nel processo decisionale della gestione dei consumi energetici in ambito ferroviario occorre considerare le diverse declinazioni:
 - Tecnica (concezione e tecnologie implementabili delle funzioni, equipaggiamenti, dispositivi e sistemi a bordo e a terra)
 - Commerciale (misura dell'energia, fatturazione, politiche di acquisto)
 - Ambientale (produzione gas serra, sostenibilità)
 - Processi (struttura organizzativa, coordinamento)



Cenni sul Total Energy Management

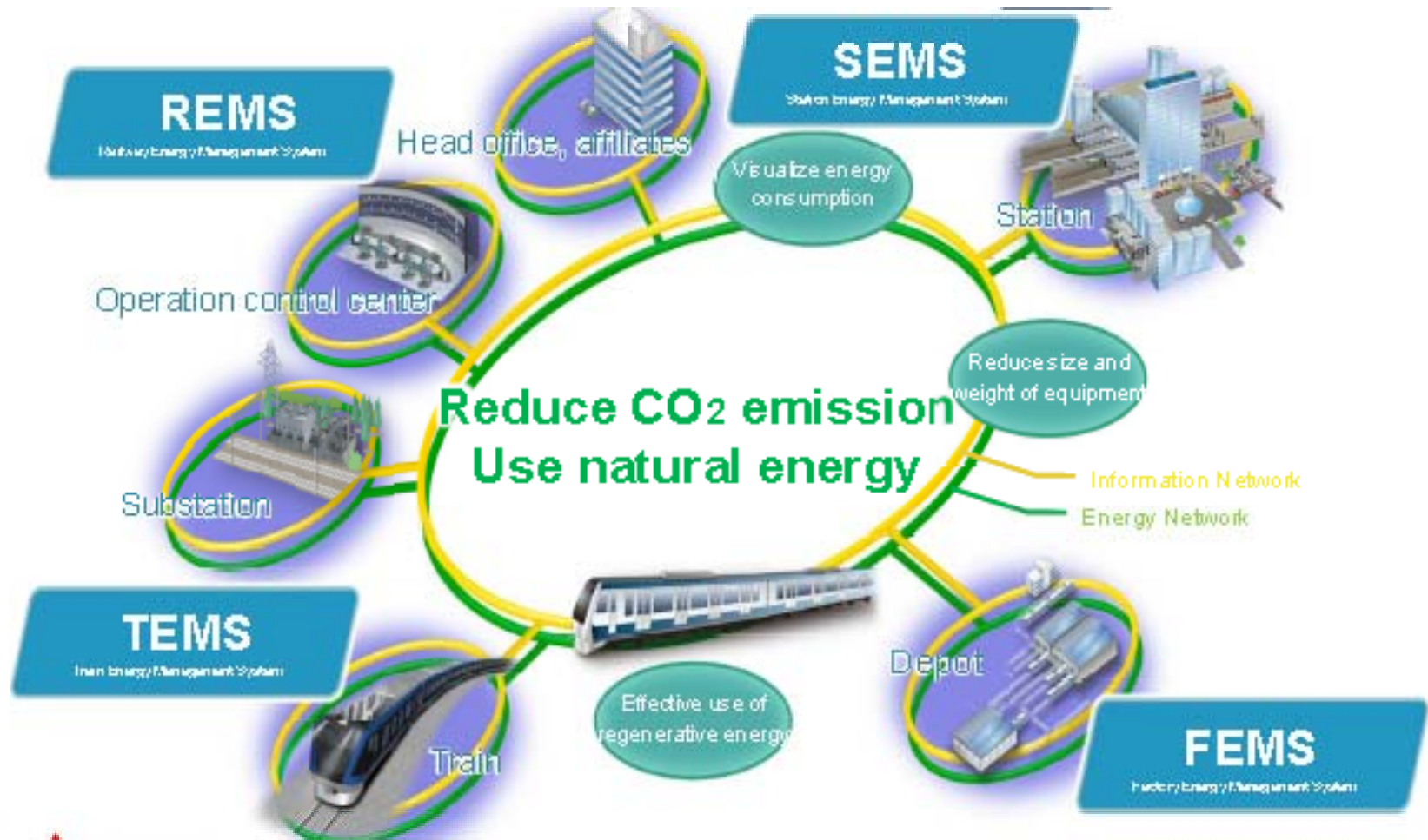
La visione delle ferrovie giapponesi

TEMS
Train Energy
Management System

SEMS
Station Energy
Management System

FEMS
Factory Energy
Management System

REMS
Railway Energy
Management System





Domande e risposte



Grazie per la cortese attenzione

Ing. Gianosvaldo Fadin: gianosvaldo.fadin@cnc.it

Ing. Paolo Umiliacchi: paolo.Umiliacchi@cnc.it