



Senato

RAGAZZI

Il Senato per i giovani

PRATI ARMATI®

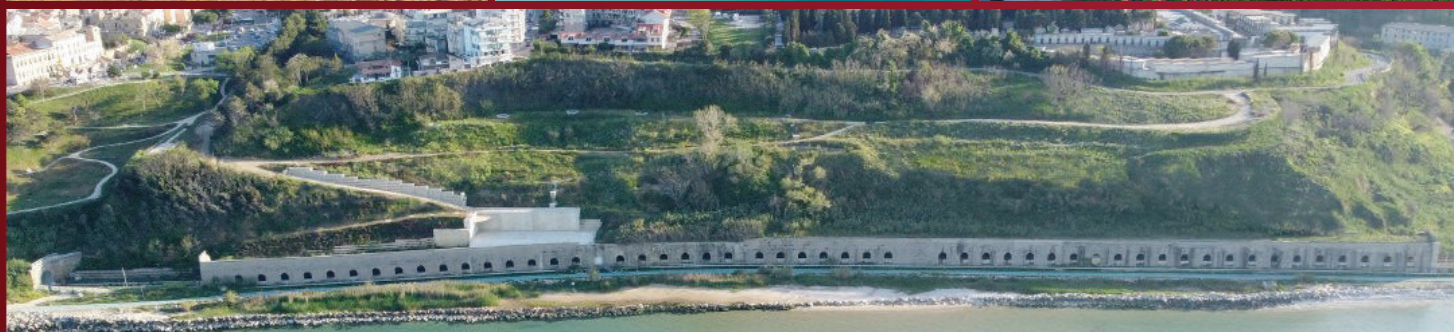
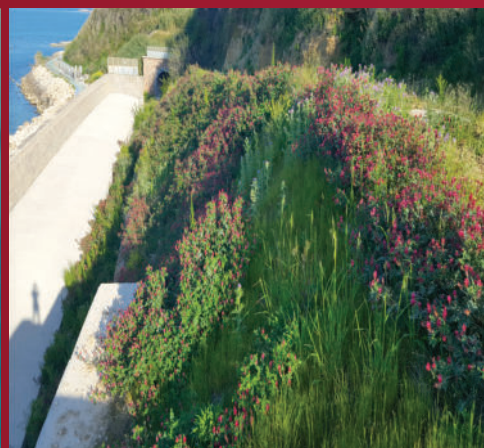
contro la desertificazione e l'erosione dei suoli



Senato della Repubblica



Gli interventi anti-erosivi di PRATI ARMATI® sul nodo di Ortona hanno contribuito all'apertura in sicurezza della linea ferroviaria Pescara - Bari e ricevuto il premio SENATO PER I GIOVANI per l'innovazione geotecnica, idraulica e ambientale.

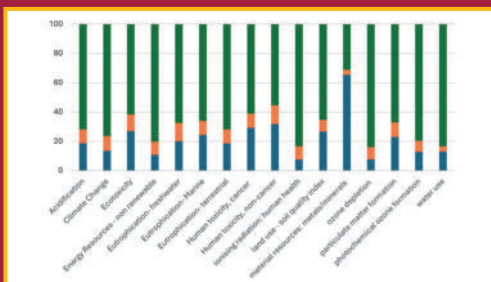


Prati Armati srl
via del Cavaliere 18
20073 Opera (MI)

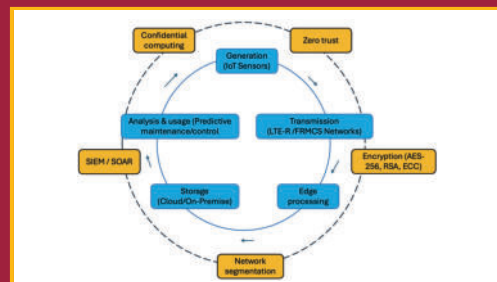
PRATI ARMATI®
contro la desertificazione e l'erosione dei suoli

tel. +39 02-57619146
info@pratiarmati.it
www.pratiarmati.it

In questo numero
In this issue



Life Cycle Assessment
su materiale rotabile
*Lyfe Cycle Assessment
of rolling stock*



Cybersecurity nella trasformazione
digitale del sistema ferroviario
*Cybersecurity in railway
digital transformation*



Costruzioni Linee Ferroviarie



Promofer
Safety Services



il futuro corre su binari sicuri dal 1945

CLF con le società controllate, Sifel, Tes e Sitec ha raggiunto, in oltre mezzo secolo di storia, un elevato grado di specializzazione nella progettazione, manutenzione e realizzazione di nuove linee ferroviarie, tranviarie e metropolitane in Italia e all'estero.

La forza che spinge CLF verso lo sviluppo è la conoscenza di tutto il processo sia nel campo delle infrastrutture che nel settore del materiale rotabile.



Strukton
Rail



ISO 9001=ISO 14001
OHSAS 18001

I SOCI COLLETTIVI DEL COLLEGIO INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI

A.M.T. - GENOVA
A.N.I.A.F. - ASSOCIAZIONE NAZIONALE IMPRESE ARMAMENTO FERROVIARIO - ROMA
A.N.M. S.p.A. - NAPOLI
A.T.M. S.p.A. - MILANO
AET S.r.l. - NAPOLI
AET S.r.l. - APPLICAZIONI DI INGEGNERIA S.r.l. - BARI
AIAS - ASS.NE ITALIANA AMBIENTE E SICUREZZA - SESTO SAN GIOVANNI (MI)
AKKODIS ITALY S.r.l. - BOLOGNA
ALLEGRI S.r.l. - ROMA
ALPINA S.p.a. - MILANO
ALSTOM FERROVIARIA S.p.A. - SAVIGLIANO (CN)
ALTEN ITALIA S.p.A. - MILANO
ANCEFERR - ROMA
ANGELSTAR S.r.l. - MOLA DI BARI (BA)
ANSFISA - FIRENZE
ANTFERR - ASS.NE NAZIONALE TECNOL. DEL SETTORE FERROVIARIO - ROMA
ARMAFER S.r.l. - LECCE
ARST S.p.A. - TRASPORTI REGIONALI DELLA SARDEGNA - CAGLIARI
ASS. TRA - ASSOCIAZIONE TRASPORTI - ROMA
ASSIFER - ASSOCIAZIONE INDUSTRIE FERROVIARIE - MILANO
ASSIFIDI S.p.A. - ROMA
ASTRAL S.p.A. - ROMA
ATAC S.p.A. - ROMA
AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO ORIENTALE - TRIESTE
B. & C. PROJECT S.r.l. - SAN DONATO MILANESE (MI)
BITECNO S.r.l. - BOLOGNA
BONIFICA S.p.A. - ROMA
BONOMI EUGENIO S.p.A. - MONTICHIARI (BS)
BOSCH SECURITY SYSTEMS S.p.A. - MILANO
BRESCIA INFRASTRUTTURE S.r.l. - BRESCIA
BRUNO S.r.l. - BRESCIA
BTP INFRASTRUTTURE - ROMA
BUREAU VERITAS ITALIA S.p.A. - MILANO
C.E.F.I. S.r.l. - NAPOLI
C.E.M.E.S. S.p.A. - PISA
C.L.F. COSTRUZIONI LINEE FERROVIARIE S.p.A. - BOLOGNA
C ENGINEERING S.r.l. - ARIANO IRPINO (AV)
CAD CONNECT S.a.s. DI SIMONE SPINACI
CARROZZERIA NUOVA S. LEONARDO S.r.l. - SALERNO
CAVUOTO INGEGNERIA DELLE STRUTTURE S.p.A. - NAPOLI
CEMBRE S.p.A. - BRESCIA
CEPRINI COSTRUZIONI S.r.l. - ORVIETO (TR)
CIRCET ITALIA S.p.A. - SAN GIOVANNI TEATINO (CH)
COET S.r.l. - SAN DONATO MILANESE (MI)
COGESIRM S.r.l. - NAPOLI
COMESVIL S.p.A. - VILLARICCA (NA)
COMMEL S.r.l. - ROMA
CONSORZIO SATURNO - ROMA
CZ LOKO ITALIA S.r.l. - PORTO MANTOVANO (MN)
D&T S.r.l. - MILANO
D'ADDETTA S.p.A. - BERCETO (PR)
D'ADIUTORIO COSTRUZIONI S.p.A. - MONTORIO AL VOMANO (TE)
DINAZZANO PO - REGGIO NELL'EMILIA
DITECFER - PISTOIA
DUCATI ENERGIA S.p.A. - BOLOGNA
DYNASTES S.r.l. - ROMA
ELEN MACHINES S.r.l. - ALBANO LAZIALE (RM)
E.L.U.S. S.r.l. - VENEZIA MESTRE (VE)
EMMEFER SRL - MONTEMELETTO (AV)
ENTE AUTONOMO VOLTURNO S.r.l. - NAPOLI
EREDI GIUSEPPE MERCURI S.p.A. - NAPOLI
ESERCIZIO RACCORDI FERROVIARI DI PORTO MARGHERA S.p.A. - VENEZIA
ESIM S.r.l. - BARI
ESIN S.p.A. - NAPOLI
ESPERIA S.r.l. - PAOLA (CS)
ETS SRL SOCIETA' DI INGEGNERIA - LATINA
EUROS S.r.l. - NAPOLI
FADEP S.r.l. - NAPOLI
FAIVELEY TRANSPORT ITALIA S.p.A. - PIOSSASCO (TO)
FER S.r.l. - FERROVIE EMILIA ROMAGNA - FERRARA
FERONE PIETRO & C. S.r.l. - NAPOLI
FERROTRAMVIARIA ENGINEERING S.p.A. - NAPOLI
FERROTRAMVIARIA S.p.A. - BARI
FERROVIE APPULO LUCANE S.r.l. - BARI
FERROVIE DEL GARGANO S.r.l. - BARI
FERROVIE DEL SUD EST E SERV. AUTOMOBILISTICI S.r.l. IN LIQUIDAZIONE - BARI
FERROVIE DELLO STATO S.p.A. - ROMA
FERROVIENORD S.p.A. - MILANO
FIBRE NET S.p.A. - PAVIA DI UDINE (UD)
FIDA S.r.l. - BRUGHERIO (MB)
FONDAZIONE FS ITALIANE - ROMA
FOR.FER S.r.l. - ROMA
FRAUSCHER SENSOR TECHNOLOGY GMBH - ZAGREB CROATIA
G.B.M. COMPAGNIA FINANZIARIA COMMERCIALE S.P.A. - MILANO
G.C.F. GEN.LE COSTRUZIONI FERROVIARIE S.p.A. - ROMA
G.C.F.E. S.p.A. - SAN DONATO MILANESE (MI)
GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO BBT SE - BOLZANO
GECO S.r.l. - GALLIATE (NO)
GEISMAR ITALIA S.p.A. - POVIGLIO (RE)
GEMATICA S.r.l. - NAPOLI
GEOSEC S.r.l. - PARMA
GEOSINTESI S.p.A. - GOZZANO (NO)
GESTIONE GOVERNATIVA FERROVIA CIRCUMETNEA - ROMA
GETZNER WERKSTOFFE GmbH - BURS - AUSTRIA
GILARDONI S.p.A. - MANDELLO DEL LARIO (LC)
GOLDSCHMIDT ITALIA S.r.l. - RHO (MI)
GRANDI STAZIONI RAIL S.p.A. - ROMA
HARPACEAS S.r.l. - MILANO
HILTI ITALIA S.r.l. - SESTO SAN GIOVANNI (MI)
HIMA ITALIA - MILANO
HITACHI RAIL GTS ITALIA S.r.l. - SESTO FIORENTINO (FI)
HITACHI RAIL STS S.p.A. - NAPOLI
HUPAC S.p.A. - BUSTO ARSIZIO (VA)
I.C.E.P. S.p.A. - INDUSTRIA CEMENTI PREFABBRICATI - BUCCINO (SA)
IKOS CONSULTING ITALIA S.r.l. - MILANO
IMAF S.r.l. - NAPOLI
IMPRESA LUIGI NOTARI S.p.A. - MILANO
IMPRESA SILVIO PIEROBON S.r.l. - BELLUNO
IMPRESA SIMEONE E FIGLI S.r.l. - (NA)
IN PROGRESS S.r.l. - CESA (CE)
INFRARAIL FIRENZE S.r.l. - FIRENZE
INFRASTRUTTURE VENETE S.r.l. - PIOVE DI SACCO (PD)
INRAIL S.p.A. - GENOVA
ISALAB S.r.l. - GENOVA
ISOLGOMMA S.r.l. - ALBETTONO (VI)
ITALCERTIFER S.p.A. - FIRENZE
ITALFERR S.p.A. - ROMA
ITALO - N.T.V. S.p.A. - MILANO
IVECOS S.p.A. - COLLE UMBERTO (TV)
KNORR-BREMSE RAIL SYSTEMS ITALIA S.r.l. - CAMPI BISENZIO (FI)
KNOUX GmbH - MONACO DI BAVIERA (GERMANIA)
KRAIBURG STRAIL GMBH & CO KG - TITTMONING (GERMANIA)
LA FERROVIARIA ITALIANA S.p.A. - AREZZO
LATERLITE S.p.A. - MILANO
LEF S.r.l. - FIRENZE
LOTRAS S.r.l. - FOGGIA
LUCCHINI RS S.p.A. - LOVERE (BG)
M. PAVANI SEGNALEMENTO FERROVIARIO S.r.l. - CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO)
M2 RAILTECH S.r.l. - LA VALLE - BOLZANO
MARGARITELLI FERROVIARIA S.p.A. - PONTE SAN GIOVANNI (PG)
MARINI IMPIANTI INDUSTRIALI S.p.A. - CISTERNA DI LATINA (LT)
MATISA S.p.A. - SANTA PALOMBA (RM)
MB PROGETTI S.r.l. - ROMA
MEDTEC S.r.l. - PAOLA (CS)
MERCITALIA SHUNTING & TERMINAL S.r.l. - GENOVA
MER MEC S.p.A. - MONOPOLI (BA)
MICOS S.p.A. - LATINA
MM METROPOLITANA MILANESE S.p.A. - MILANO
MONT-ELE S.r.l. - GIUSSANO (MI)
MORFU' S.r.l. - ROSSANO (CS)
MOSDORFER RAIL S.r.l. - RHO (MI)
NET ENGINEERING S.r.l. - VERONA
NET INTEGRA CONSULTING S.r.l. - SCANDIANO (RE)
NICCHERI TITO S.r.l. - AREZZO
NIER INGEGNERIA S.p.A. SOCIETA' BENEFIT - CASTEL MAGGIORE (BO)
NORD ING S.r.l. - MILANO
NOTARI SRL - ACQUI TERME - AL
PLASSER ITALIANA S.r.l. - VELLETRI (RM)
PRATI ARMATI S.r.l. - OPERA (MI)
PROGETTO BR S.r.l. - COSTA DI MEZZATE (BG)
PROGRESS RAIL SIGNALING S.p.A. - SERRAVALLE PISTOIESE (PT)
PROJECT AUTOMATION S.p.A. - MONZA (MI)
PTF S.r.l. - CARINI (PA)
RAIL TRACTION COMPANY - VERONA
RAILWAY ENTERPRISE S.r.l. - ROMA
RAVA - REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA - POLLEIN (AO)
RINA CONSULTING S.p.A. - GENOVA
ROMA METROPOLITANE S.r.l. - ROMA
R.F.I. S.p.A. - RETE FERROVIARIA ITALIANA - ROMA
S.I.C.E. - CHIUSI (PI)
S.I.I.P. S.r.l. - NAPOLI
S.T.A. S.p.A. - STRUTTURE TRASPORTO ALTO ADIGE - BOLZANO
S.T.E.L. S.r.l. - COLLESALVETTI (LI)
SADEL S.p.A. - CASTEL MAGGIORE (BO)
SAFECERTIFIEDSTRUCTURE INGEGNERIA S.r.l. - ROMA
SAGA S.r.l. - RAVENNA (RA)
SAIPEM S.p.A. - MILANO
SALCEF GROUP S.p.A. - ROMA
SATFERR S.r.l. - FIDENZA (PR)
SCALA VIRGILIO & FIGLI S.p.A. - MONTEVARCHI (AR)
SCHAEFFLER ITALIA S.r.l. - NOVARA
SENAF S.r.l. - MILANO
SICURFERR S.r.l. - CASORIA (NA)
SIE-FER S.r.l. - MILITELLO IN VAL DI CATANIA (CT)
SIEMENS S.p.A. SETTORE TRASPORTI - MILANO
SILSUD S.r.l. - FERENTINO (FR)
SIMPRO S.p.A. - TORINO
SINERGO S.p.A. - BOLOGNA
SINTAGMA S.r.l. - SAN MARTINO IN CAMPO (PG)
SO.CO.FER S.p.A. - ROMA
SPEKTRA S.r.l. A TRIMBLE COMPANY - VIMERCATE (MB)
SPERI S.p.A. - ROMA
SPH S.p.A. - SARONNO (MI)
SPITEK S.r.l. - PRATO
STAMPERIA CARCANO GIUSEPPE S.p.A. - ALBESE CON CASSANO (CO)
STUDIO LEGALE ASS.TO LANIANCA & LOIACONO - BARI
STUDIO 'TECHNE' S.r.l. - FIRENZE
SVECO S.p.A. - BORGIO PIAVE (LT)
SVI S.p.A. - FIRENZE
SYSTRA S.p.A. - ROMA
T BRIDGE S.p.A. - GENOVA
T&T S.r.l. - NAPOLI
T.M.C. S.r.l. - TRANSPORTATION MANAGEMENT CONSULTANT - POMPEI (NA)
TE.SI.FER S.r.l. - FIRENZE
TEAM ENGINEERING S.p.A. - ROMA
TEB S.p.A. - TRAMVIE ELETTRICHE BERGAMASCHE SPA - RANICA (MI)
TECNOSISTEM S.p.A. - NAPOLI
TEKFER S.r.l. - BEINASCIO (TO)
TEKNO KONS INNOVATION S.r.l. - AVERSA (CE)
TELEFIN S.p.A. - VERONA
TELIT SAS - TORINO
TERMINALI ITALIA - VERONA
TESMEC RAIL S.r.l. - MONOPOLI (BA)
TPER S.p.A. - TRASP. PASS.RI EMILIA ROMAGNA - BOLOGNA
TRAINING S.r.l. - VERONA
TRENITALIA S.p.A. - ROMA
TRENITALIA TPER - BOLOGNA
TRENORD S.r.l. - MILANO
TRENTO TRASP. S.p.A. - TRENTO
TTF S.r.l. - TECNOLOGIE TUNNEL FERROVIARI SRL - VADO LIGURE (SV)
TUA - SOCIETA' UNICA ABRUZZESE DI TRASPORTO S.p.A. - CHIETI
TX LOGISTIK TRANSALPINE GMBH - BOLZANO
ULIXES S.r.l. UNIPERSONALE - FROSINONE
URETEK ITALIA S.p.A. - BOSCO CHIESANUOVA (VR)
VALSECCHI ARMAMENTO FERROVIARIO S.r.l. - MILANO
VALTELLINA S.p.A. - GORLE (BG)
V.I.D.R. S.r.l. - CATENANUOVA (EN)
VOITH TURBO S.r.l. - REGGIO EMILIA
VOSSLOH SISTEMI S.r.l. - CESENA
VTG RAIL EUROPE GmbH - SARONNO (VA)
WEGH GROUP S.p.A. - FORNOVO DI TARO (PR)
Z LAB S.r.l. - VERONA

INDICE DEGLI ANNUNZI PUBBLICITARI

PRATI ARMATI - Milano	I copertina
CLF – Costruzioni Linee Ferroviarie S.p.A. – Bologna	II copertina
PLASSER Italiana S.r.l. – Velletri (RM)	pagina 321
KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. – Tittmoning (Germania)	pagina 322
PLASTIROMA S.r.l. – Guidonia Montecelio (RM)	pagina 358
CIFI Servizi S.r.l. – Roma	III copertina
SALCEF GROUP S.p.A. – Roma	IV copertina

CONDIZIONI DI ASSOCIAZIONE AL CIFI

QUOTE SOCIALI ANNO 2026

- Soci Ordinari e Aggregati **85,00 €/anno** con distribuzione di entrambe le riviste periodiche (cartaceo oppure online)
- Soci Under 35 Ordinari e Aggregati **60,00 €/anno** con distribuzione di entrambe le riviste periodiche (cartaceo oppure online)
- Soci Juniores **25,00 €/anno** con distribuzione di entrambe le riviste periodiche (solo online)
- Soci Collettivi **600,00 €/anno** con distribuzione di entrambe le riviste in formato cartaceo e in formato elettronico (si può richiedere anche il solo recapito delle riviste in formato cartaceo oppure solo in formato elettronico)

Tutti i Soci hanno diritto ad avere uno sconto del 20% sulle pubblicazioni edite dal CIFI, ad usufruire di eventuali convenzioni con Enti esterni ed a partecipare alle varie manifestazioni (convegni, conferenze, corsi) organizzati dal Collegio e da CIFI Servizi s.r.l.

Il modulo di associazione è disponibile sul sito internet www.cifi.it alla voce "COME ASSOCIARSI" e l'iscrizione decorre dopo il versamento tramite le seguenti modalità:

- Conto corrente postale n.31569007 intestato a Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani - Via Giolitti Giovanni, 46 - 00185 Roma specificando nella causale **quota associativa anno 2026** ed inviando una copia della ricevuta via e-mail ad areasoci@cifi.it
- Bonifico bancario sul conto: Codice IBAN: IT 29 U 02008 05203 000101180047 - Codice BIC/SWIFT: UNCRITM1704, intestato a Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani, presso UNICREDIT BANCA - Ag. 704 - ROMA ORLANDO specificando nella causale **quota associativa anno 2026** ed inviando una copia della ricevuta via e-mail ad areasoci@cifi.it
- Eseguendo il pagamento on-line collegandosi al sito <https://www.cifi.it/shop/>

Per il personale FSI, RFI, TRENITALIA, FERSERVIZI e ITALFERR è possibile versare la quota annuale, con trattenuta a ruolo compilando il modulo per la delega disponibile sul sito.

Il rinnovo della quota va effettuato entro i termini previsti dallo Statuto ovvero entro il 31 dicembre dell'anno precedente.

Per ulteriori informazioni: Segreteria Generale - tel. 06/4882129 - FS 26825 - E mail: areasoci@cifi.it

Contatti - ContactsTel. 06.4742987
E-mail: redazioneif@cifi.it - notiziari.if@cifi.it - direttore.if@cifi.it**Servizio Pubblicità - Advertising Service**Roma: 06.47307819 - areasoci@cifi.it
Milano: 02.63712002 - 339.1220777 - segreteria@cifimilano.it**Direttore - Editor in Chief**

Stefano RICCI

Vice Direttore - Deputy Editor in Chief

Valerio GIOVINE

Comitato di Redazione - Editorial BoardBenedetto BARABINO
Massimiliano BRUNER
Maurizio CAVAGNARO
Giuseppe CAVALLERI
Federico CHELI
Maria Vittoria CORAZZA
Biagio COSTA
Bruno DALLA CHIARA
Massimo DEL PRETE
Salvatore DI TRAPANI
Anders EKBERG
Alessandro ELIA
Luigi EVANGELISTA
Carmen FORCINITI
Attilio GAETA
Federico GHERARDI
Ingo HANSEN
Virginia INFANTE
Marino LUPI
Adoardo LUZI
Gabriele MALAVASI
Giampaolo MANCINI
Vito MASTRODONATO
Elena MOLINARO
Francesco NATONI
Umberto PETRUCCELLI
Luca RIZZETTO
Stefano ROSSI
Dario ZANINELLI**Consulenti - Consultants**Giovannino CAPRIO
Paolo Enrico DEBARBIERI
Giorgio DIANA
Antonio LAGANÀ
Emilio MAESTRINI
Mauro MORETTI
Silvio RIZZOTTI
Giuseppe SCIUTTO**Redazione - Editorial Staff**Massimiliano BRUNER
Ivan CUFARI
Francesca PISANOAssociazione NO PROFIT con personalità giuridica (n. 645/2009)
iscritta al Registro Nazionale degli Operatori della Comunicazione
(ROC) n. 33553 - Poste Italiane SpA - Spedizione in abbonamento
postale - d.l. 353/2003
(conv. In l. 27/02/2004 n. 46) art. 1 - DBC Roma
Via Giovanni Giolitti, 46 - 00185 Roma
E-mail: info@cifi.it - u.r.l.: www.cifi.it
Tel. 06.4742986
Partita IVA 00929941003
Orario Uffici: lun.-ven. 8.30-13.00 / 13.30-17.00
Biblioteca: lun.-ven. 9.00-13.00 / 13.30-16.00

Indice

Anno LXXXI | **Aprile 2026** | 4**Condizioni di Associazione al CIFI** **298****LIFE CYCLE ASSESSMENT SU MATERIALE
ROTABILE: METODOLOGIA E APPLICAZIONE**
*LIFE CYCLE ASSESSMENT ON ROLLING STOCK:
METHODOLOGY AND APPLICATION*Flavio CAPPELLI
Paolo GROSSO
Bruno DALLA CHIARA**301****LA CYBERSECURITY NEI PROCESSI DI TRASFORMAZIONE
DIGITALE DEL SISTEMA FERROVIARIO:
ESIGENZE ATTUALI E PROSPETTIVE EVOLUTIVE**
*CYBERSECURITY IN RAILWAY DIGITAL TRANSFORMATION:
CURRENT NEEDS AND FUTURE PERSPECTIVES*Marzia DE BARTOLOMEO
Antonio DE NICOLA
Antonio LUGARÀ**323****Notizie dall'interno** **349****Notizie dall'estero***News from foreign countries* **359****IF Biblio** **371****Condizioni di Abbonamento a IF - Ingegneria Ferroviaria**
*Terms of subscription to IF - Ingegneria Ferroviaria***372****Elenco di tutte le Pubblicazioni CIFI** **376****Fornitori di prodotti e servizi** **378**La pubblicazione totale o parziale di articoli o disegni è permessa citando la fonte.
The total or partial reproduction of articles or figures is allowed providing the source citation.

LINEE GUIDA PER GLI AUTORI

(Istruzioni su come presentare un articolo per la pubblicazione su "IF - Ingegneria Ferroviaria")

La collaborazione è aperta a tutti.

Gli articoli possono essere proposti per la pubblicazione in lingua italiana e/o inglese. La pubblicazione è comunque bilingue.

L'ammissione di uno scritto alla pubblicazione non implica, da parte della Rivista, riconoscimento o approvazione delle teorie sviluppate o delle opinioni manifestate dall'Autore.

La Direzione della rivista si riserva il diritto di utilizzare gli articoli ricevuti anche per la loro pubblicazione su altre riviste del settore edite da soggetti terzi, sempre a condizione che siano indicati la fonte e l'autore dell'articolo.

Al fine di favorire la presentazione degli articoli, la loro revisione da parte del Comitato di Redazione e di agevolare la trattazione tipografica del testo per la pubblicazione, si ritiene opportuno che gli Autori stessi osservino gli standard di seguito riportati.

- 1) L'articolo dovrà essere necessariamente fornito in formato WORD per Windows, via e-mail, CD-Rom, DVD o pen-drive.
- 2) Tutte le figure (fotografie, disegni, schemi, ecc.) devono essere fornite complete di didascalia, numerate progressivamente e richiamate nel testo. Queste devono essere fornite in formato elettronico (e-mail, CD-Rom, DVD o pen-drive) e salvate in formato TIFF o EPS ad alta risoluzione (almeno 300 dpi). E' inoltre richiesto l'invio delle stesse immagini in formato compresso JPG (max. 50 KB/immagine). E' inoltre possibile includere, a titolo di bozza d'impaginazione, una copia cartacea che comprenda l'inserimento delle figure nel testo.
- 3) Nei testi presentati dovranno essere utilizzate rigorosamente le unità di misura del Sistema Internazionale (SI) e le relative regole per la scrittura delle unità di misura, dei simboli e delle cifre.
- 4) Tutti i riferimenti bibliografici dovranno essere richiamati nel testo con numerazione progressiva riportata in [].

All'Autore di riferimento è richiesto di indicare un indirizzo di posta elettronica per lo scambio di comunicazioni con il Comitato di Redazione e, a tutti gli autori, di sottoscrivere una dichiarazione liberatoria riguardo al possesso dei diritti di pubblicazione.

Per eventuali ulteriori informazioni sulle modalità di presentazione degli articoli contattare la Redazione della Rivista. – Tel: +39.06.4742986 – e-mail: redazioneif@cifi.it

GUIDELINES FOR THE AUTHORS

(Instructions on how to present a paper for the publications on "IF - Ingegneria Ferroviaria")

The collaboration is open to everyone.

The articles can be presented both in English and/or Italian language. The publication is anyway bilingual. The admission of a paper does not imply acknowledgment or approval by the journal of theories and opinions presented by the Authors.

The Direction of the journal reserves the right to use the received papers for the publication on other journals under condition to provide the source citation.

In order to simplify the papers' presentation, their review by the Editorial Board and their typographic handling for the publication, the Authors are required to comply with the standards below.

- 1) *The paper must be presented in WORD for Windows, by e-mail, CD-Rom, DVD or pen-drive.*
- 2) *All figures (pictures, drawings, schemes, etc.) must include a caption, must be progressively numbered and recalled in the text. They must be presented in a high resolution (min. 300 dpi) electronic format (TIFF or EPS) by e-mail, CD-Rom, DVD or pen-drive). Moreover, it is required to send them in a compressed JPG format (max. 50 kB/figure). It is additionally possible to include a printed draft copy as an editorial example.*
- 3) *In the texts must be rigorously used the SI units only.*
- 4) *All the bibliographic references must be recalled in the text with progressive numbering in [].*

It is required to the corresponding Author to provide with a reference e-mail address for the communications with the Editorial Board and, to all Authors, to sign a discharge declaration concerning the rights of publication.

For any further information about the paper presentation, you can contact the editorial staff. – Phone: +39.06.4742986 – e-mail: redazioneif@cifi.it



Life Cycle Assessment su materiale rotabile: metodologia e applicazione

Life Cycle Assessment on rolling stock: methodology and application

Flavio CAPPELLI^(*)

Paolo GROSSO^(**)

Bruno DALLA CHIARA^(***)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.04.2026.ART.1>)

Sommario - La ricerca di sistemi di trasporto sempre più attenti alla sostenibilità e alla transizione energetica esercita una spinta verso una progettazione accurata, che punti alla minimizzazione di consumo di risorse e di energia, allo scopo di ridurre l'impronta ambientale dei sistemi stessi. Tra le diverse modalità di trasporto, quella ferroviaria è capace - per le sue caratteristiche intrinseche - di un'elevata efficienza energetica e un basso impatto ambientale, soprattutto per il numero di passeggeri che riesce a spostare. Emerge, quindi, la necessità di quantificare tale impatto, in modo da evidenziare il beneficio, in primo luogo, in termini di consumo energetico ed emissioni di agenti climalteranti delle scelte progettuali applicate al sistema ferroviario; per di più, per un sistema come quello ferroviario, occorre prestare attenzione ai dettagli per poter apprezzare variazioni di tale beneficio, rendendo questa necessità ancora più forte.

Entra quindi in gioco l'analisi del ciclo di vita del sistema ferroviario, che in questo articolo verrà applicata al materiale rotabile, in un servizio di trasporto interregionale notturno.

Attraverso la scomposizione del processo che conduce alla produzione del materiale rotabile e considerando l'uso, la manutenzione e lo smaltimento, diventa possibile quantificare l'impatto e mettere in evidenza quali sono le componenti del processo che concorrono in misura maggiore al valore finale.

1. Introduzione

Il settore ferroviario riveste da tempo un ruolo chiave nella transizione ecologica della mobilità, grazie alle sue caratteristiche strutturali che lo rendono intrinsecamente

Summary - The search for transport systems that have sustainability and energy transition as their main objectives requires careful design that aims to minimise resource and energy consumption in order to reduce the environmental footprint of the systems themselves. Among the different transport modes, the railway is capable - due to its intrinsic characteristics - of high energy efficiency and low environmental impact, especially for the number of passengers it is able to move. There emerges, therefore, the need to quantify this impact, so as to highlight the benefit, first of all, in terms of energy consumption and emissions of climate-altering agents of the design choices applied to the railway system; moreover, for a system such as the railway, attention to detail is required in order to be able to appreciate variations in this benefit, making this need even stronger.

This brings into play the Life Cycle analysis of the railway system, which in this article will be applied to the Rolling Stock in an interregional overnight transport service.

By breaking down the process that leads to the production of Rolling Stock and considering use, maintenance and disposal, it becomes possible to quantify the impact and highlight which process components contribute most to the final value.

1. Introduction

The railway sector has long played a key role in the ecological transition of mobility, due to its structural characteristics that make it inherently more efficient and less impactful than other transport systems. The high load capacity, the possibility of having the power supplied from renewable sources, the optimised use of infrastructure and the long-lasting life of rail vehicles make them one of the most

^(*) Autore corrispondente: flavio.cappelli@polito.it - Politecnico di Torino, Dip. DIATI - Trasporti, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino (TO).

^(**) grossopaolo27@gmail.com.

^(***) Politecnico di Torino, Dip. DIATI - Trasporti, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino (TO).

^(*) Corresponding author: flavio.cappelli@polito.it - Politecnico di Torino, Dept. DIATI - Transport system, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino (TO).

^(**) grossopaolo27@gmail.com.

^(***) Politecnico di Torino, Dept. DIATI - Transport systems, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129, Torino (TO).

più efficiente e meno impattante rispetto ad altri sistemi di trasporto. L'elevata capacità di carico, la possibilità di alimentazione elettrica da fonti rinnovabili, l'utilizzo ottimizzato dell'infrastruttura e la durabilità dei veicoli ferroviari ne fanno una delle soluzioni più promettenti per ridurre il consumo energetico e le emissioni climalteranti nel settore dei trasporti.

A livello europeo, l'attenzione istituzionale verso il trasporto ferroviario è andata consolidandosi negli ultimi anni, soprattutto con l'introduzione del Green Deal Europeo e della strategia *Fit for 55*, che mirano a ridurre del 90% le emissioni del settore trasporti entro il 2050 [1]. Il comparto ferroviario, già oggi responsabile di una quota molto contenuta delle emissioni complessive, è chiamato ad assumere un ruolo ancora più centrale, non solo come alternativa sostenibile, ma come sistema da ottimizzare ulteriormente attraverso soluzioni tecnologiche e progettuali innovative.

In questo scenario, emerge con forza la necessità di valutare l'intero ciclo di vita del materiale rotabile, superando l'approccio limitato alla sola fase operativa. Infatti, se da un lato l'esercizio ferroviario risulta tra i più virtuosi in termini di emissioni specifiche di CO₂ per passeggero o per tonnellata trasportata, dall'altro, le fasi di produzione, manutenzione e fine vita dei veicoli possono incidere in modo significativo sull'impronta ambientale complessiva del sistema. Ignorare questi contributi significherebbe sottovalutare il reale impatto ambientale e perdere opportunità di ottimizzazione nelle fasi a monte e a valle dell'utilizzo del treno.

L'Analisi del Ciclo di Vita (*Life Cycle Assessment* – LCA) rappresenta oggi lo strumento più completo per affrontare questa complessità. Conforme agli standard ISO 14040 e 14044 [2][3], l'LCA consente di valutare in modo oggettivo e comparabile gli impatti ambientali generati lungo tutte le fasi della vita di un prodotto: dalla produzione delle materie prime, all'assemblaggio, all'uso, fino allo smaltimento o riciclo finale. Applicare tale approccio al materiale rotabile permette di individuare le fasi a maggiore impatto, di quantificare i benefici di interventi a favore dell'efficienza o generando maggiore riciclo, e di supportare scelte progettuali realmente orientate alla sostenibilità ambientale.

A rafforzare questa esigenza interviene il nuovo Regolamento (UE) 2024/1781, che stabilisce un quadro normativo per la progettazione ecocompatibile dei prodotti e introduce strumenti operativi come il passaporto digitale del prodotto [4]. Tale passaporto conterrà informazioni ambientali, energetiche e di composizione dei prodotti, inclusi treni e loro sottosistemi, e richiederà dati verificabili e strutturati secondo criteri di trasparenza e tracciabilità. È chiaro, dunque, che l'approccio *life-cycle* e le Dichiarazioni Ambientali di Tipo III (EPD) diventeranno strumenti fondamentali non solo per la comunicazione ambientale, ma anche per la conformità normativa e la competitività industriale.

Nel contesto della competitività industriale si evidenzia il sistema delle commesse, per cui i costruttori si trovano a progettare materiale rotabile cercando di contenerne

promising solutions for reducing energy consumption and climate-changing emissions in the transport sector.

At European level, the institutional focus on rail transport has been consolidated in recent years, especially with the introduction of the European Green Deal and the Fit for 55 strategy, which aim to reduce transport sector emissions by 90% by 2050 [1]. The railway sector, already responsible for a very small share of overall emissions, is asked to assume an even more central role, not only as a sustainable alternative, but as a system to be further optimised through innovative technological and design solutions.

In this scenario, the need to evaluate the entire life cycle of Rolling Stock emerges strongly, going beyond the approach limited to the operational phase alone. In fact, while railway operations are among the most virtuous in terms of specific CO₂ emissions per passenger or per tonne transported, the production, maintenance and end-of-life phases of vehicles can significantly affect the system's overall environmental footprint. Ignoring these contributions would mean underestimating the real environmental impact and missing optimisation opportunities in the upstream and downstream phases of train use.

Today, Life Cycle Assessment (LCA) is the most comprehensive tool to address this complexity. Compliant with ISO standards 14040 and 14044 [2][3], LCA makes it possible to objectively and comparably assess the environmental impacts generated throughout all phases of a product's life: from the production of raw materials, through assembly and use, to final disposal or recycling. Applying such an approach to Rolling Stock makes it possible to identify the phases with the greatest impact, to quantify the benefits of interventions to improve efficiency or generate more recycling, and to support design choices that are truly oriented towards environmental sustainability.

Reinforcing this need is the new Regulation (EU) 2024/1781, which establishes a regulatory framework for the eco-design of products and introduces operational tools such as the digital product passport [4]. This passport will contain the environmental, energy and composition information on products, including trains and their sub-systems, and will require verifiable and structured data according to criteria of transparency and traceability. It is clear, therefore, that the life-cycle approach and Type III Environmental Declarations (EPDs) will become key tools not only for environmental communication, but also for regulatory compliance and industrial competitiveness.

In the context of industrial competitiveness, the order system is highlighted, whereby manufacturers have to design Rolling Stock while trying to keep costs down in order to win supply for rail transport operators. A detailed analysis of the environmental impact of one's product and its communication with a standardised and harmonised tool allows one to add a further element of value to one's product.

In the light of this technical, environmental and regulatory context, this article aims to:

- *apply a detailed LCA analysis to a railway carriage used*

i costi, al fine di vincere la fornitura per gli operatori del trasporto ferroviario. L'analisi dettagliata dell'impatto ambientale del proprio prodotto e la sua comunicazione con uno strumento standardizzato e armonizzato consentono di aggiungere un ulteriore elemento di valorizzazione del proprio prodotto.

Alla luce di questo contesto tecnico, ambientale e regolatorio, il presente articolo si propone di:

- applicare un'analisi LCA dettagliata a una carrozza ferroviaria adibita a servizio notturno;
- identificare le fasi più impattanti del suo ciclo di vita e valutarne il contributo relativo;
- eseguire un'analisi di sensitività in base all'area geografica di produzione;
- discutere il ruolo delle EPD e del Regolamento (UE) 2024/1781 come strumenti per l'adozione strutturata dell'LCA nel settore ferroviario.

Obiettivo ultimo è offrire un modello metodologico chiaro e replicabile, utile sia per gli operatori del settore sia per le autorità normative, in vista di una progettazione ferroviaria sempre più sostenibile, misurabile e conforme alle future richieste europee, per quanto possibile in modo oggettivo e soprattutto condivisibile.

Nella maggior parte delle analisi correnti il focus è ancora centrato quasi esclusivamente sulla fase di esercizio, trascurando l'influenza significativa delle fasi a monte (estrazione delle materie prime, produzione e assemblaggio dei componenti) e a valle (manutenzione, dismissione, riciclo): questa lacuna metodologica rende difficile la definizione di benchmark ambientali condivisi per il materiale rotabile e limita le possibilità di progettazione migliorativa basata su dati oggettivi.

Le ricerche disponibili includono il materiale rotabile in un sistema composto anche dall'infrastruttura, mostrando che, per alcuni rotabili moderni, la loro fase di produzione può rappresentare fino al 20% delle emissioni complessive su tutto il ciclo di vita, mentre il fine vita, se ben gestito, può addirittura generare crediti ambientali significativi grazie al recupero di materiali ad alto valore [5]. Tuttavia, tali risultati derivano da casi studio molto eterogenei per metodologia, perimetro di analisi e qualità dei dati, rendendo difficile una comparazione sistematica tra veicoli diversi. Inoltre, sono ancora pochi i costruttori che rilasciano dichiarazioni ambientali di tipo EPD complete e verificabili per le proprie piattaforme ferroviarie, a differenza di quanto avviene in altri settori industriali, come l'edilizia o l'automotive.

Alla luce di queste considerazioni, l'obiettivo principale di questo lavoro è contribuire a colmare il divario tecnico-metodologico nella valutazione ambientale del materiale rotabile, proponendo un caso studio rappresentativo realizzato secondo gli standard internazionali della metodologia LCA (ISO 14040 e ISO 14044). La scelta è ricaduta su carrozze ferroviarie adibite a servizio notturno, destinata a percorrenze medio-lunghe e caratterizzata da

for night service;

- *identify the phases that impact most within its life cycle and assess their relative contribution;*
- *perform a sensitivity analysis according to the geographical area of production;*
- *discuss the role of EPDs and Regulation (EU) 2024/1781 as tools for the structured adoption of LCA in the railway sector.*

The ultimate goal is to offer a clear and replicable methodology, useful for both industry players and regulatory authorities, in view of an increasingly sustainable, measurable and compliant railway design in line with future European requirements, as far as possible in an objective and, above all, shareable manner.

In most current analyses the focus is still centred almost exclusively on the operational phase, neglecting the significant influence of the upstream (extraction of raw materials, production and assembly of components) and downstream (maintenance, decommissioning, recycling) phases: this methodological shortcoming makes it difficult to define shared environmental benchmarks for Rolling Stock and limits the possibilities for improved design based on objective data.

Available research includes Rolling Stock in a system composed also of infrastructure, showing that, for some modern Rolling Stock, their production phase can account for up to 20 per cent of total emissions over their entire life cycle, while their end-of-life, if well managed, can even generate significant environmental credits through the recovery of high-value materials [5]. However, these results are derived from case studies that are very heterogeneous in terms of methodology, scope of analysis and data quality, making a systematic comparison between different vehicles very challenging. Furthermore, there are still few manufacturers issuing comprehensive and verifiable EPD-type environmental declarations for their railway platforms, unlike in other industrial sectors such as construction or automotive.

In the light of these considerations, the main objective of this paper is to contribute to bridging the technical-methodological gap in the environmental assessment of Rolling Stock, by proposing a representative case study carried out according to the international standards of the LCA methodology (ISO 14040 and ISO 14044). The choice fell on railway carriages for night service, intended for medium-long distances and characterised by a modular interior composition (with comfort, economy and deluxe configurations), which well represent the constructive and functional complexity of a modern passenger vehicle. The analysis was conducted with the OpenLCA software, using the Ecoinvent database for modelling the elementary processes and considering all the main phases of the life cycle: upstream (production of materials and components), core (assembly at the manufacturer's premises) and downstream (use, maintenance and decommissioning).

una composizione interna modulare (con configurazioni comfort, economy e deluxe), che ben rappresenta la complessità costruttiva e funzionale di un veicolo passeggeri moderno. L'analisi è stata condotta con il software OpenLCA, utilizzando il database Ecoinvent per la modellazione dei processi elementari e considerando tutte le fasi principali del ciclo di vita: upstream (produzione dei materiali e componenti), core (assemblaggio presso il costruttore) e downstream (utilizzo, manutenzione e dismissione).

Accanto all'analisi base, è stata svolta una valutazione di sensitività sulla localizzazione geografica della produzione, ipotizzando tre scenari distinti (Italia, media europea, Cina) per l'approvvigionamento energetico e industriale. Questa analisi è finalizzata a quantificare quanto le condizioni di contesto influenzino il profilo emissivo complessivo del prodotto, e a fornire indicazioni utili per le strategie di supply chain e localizzazione della produzione.

In questo articolo viene altresì discusso il ruolo delle EPD (*Environmental Product Declarations*) come strumento normato per la comunicazione degli impatti ambientali in ambito ferroviario, alla luce del nuovo Regolamento (UE) 2024/1781 che introduce, tra gli altri, il passaporto digitale del prodotto. Questo regolamento, in fase di implementazione, prevede l'obbligo di fornire dati ambientali verificabili per i prodotti complessi immessi sul mercato europeo, spingendo verso una standardizzazione della rendicontazione ambientale basata su analisi LCA complete e confrontabili. L'obiettivo è mostrare come l'approccio sviluppato in questo studio possa rappresentare un punto di riferimento per futuri sviluppi normativi, progettuali e industriali nel settore ferroviario europeo.

2. Stato dell'arte e confronto tra sistemi di trasporto

Si può effettuare un confronto tra sistemi di trasporto osservando la variazione dei consumi specifici (espressi in kWh/pkm) e delle emissioni (esprese in gCO₂/pkm) in funzione della distanza percorsa. Modi di trasporto energivori vedono ammortizzato sulla distanza percorsa e sul numero di passeggeri trasportati il loro impatto, andando a posizionarsi in una gerarchia definita in funzione della distanza percorsa [6]. Nella Fig. 1 è possibile osservare la differenza tra il consumo specifico di alcune categorie di aeromobile, il trasporto su strada e l'ETR500 nelle distanze in cui sono chiamati ad operare. La dimensione dei punti è rappresentativa del consumo specifico dei modi di trasporto in funzione della distanza. In Tab. 1 si riportano i diversi tipi di aeromobile analizzati in Fig. 1.

Per le distanze in cui si trova ad operare, il trasporto su rotaia si dimostra come la modalità di trasporto a minor consumo specifico, e conseguentemente a minor impatto emissivo, rispetto alle altre, durante l'uso. Questa valutazione comparativa rivela significative differenze in termini di impatto ambientale, misurato attraverso le emissioni di CO₂ per posto-chilometro (gCO_{2eq}/pkm) e il consumo energetico (kWh/pkm). Queste metriche sono influenzate

Alongside the core analysis, a sensitivity assessment was carried out on the geographical location of production, assuming three distinct scenarios (Italy, European average, China) for energy and industrial supply. The purpose of this analysis is to quantify how much the contextual conditions influence the overall emission profile of the product, and to provide useful indications for supply chain and production location strategies.

This article also discusses the role of EPDs (Environmental Product Declarations) as a standardised tool for communicating environmental impacts in railways, in the light of the new Regulation (EU) 2024/1781 that introduces, among others, the digital product passport. This regulation, which is currently being implemented, includes the obligation to provide verifiable environmental data for complex products placed on the European market, pushing towards a standardisation of environmental reporting based on comprehensive and comparable LCA analyses. The aim is to show how the approach developed in this study can represent a benchmark for future regulatory, design and industrial developments in the European railway sector.

2. State of the art and comparison among transport systems

A comparison between transport systems can be made by observing the variation of specific consumption (expressed in kWh/pkm) and emissions (expressed in gCO₂/pkm) as a function of distance travelled. Energy-intensive modes of transport see their impact spread over the distance travelled and the number of passengers transported, ranking in a defined hierarchy according to the distance travelled [6]. In Fig. 1 it is possible to observe the difference between the specific consumption of certain categories of aircraft, road transport and the ETR500 in the distances over which they operate. The point size is representative of the specific consumption of the transport modes as a function of distance. Tab. 1 shows the different types of aircraft analysed in Fig. 1.

For the distances over which it operates, rail transport proves to be the mode of transport with the lowest specific consumption, and consequently the lowest emission impact, compared to the others, during use. This comparative assessment reveals significant differences in terms of environmental impact, measured through CO₂ emissions per seat-kilometre (gCO_{2eq}/pkm) and energy consumption (kWh/pkm). These metrics are influenced by various factors, including vehicle efficiency, the type of fuel used, average occupancy and the national energy mix. Electrified railways, as mentioned above, are characterised by their low footprint, with average emissions of around 24 gCO_{2eq}/pkm in Europe, which can drop to 7 gCO_{2eq}/pkm in the Nordic countries due to a lower carbon energy mix [7][8]. Energy consumption for high-speed trains varies between 0.03-0.09 kWh/pkm [9], highlighting their superiority to other means of transport [10]. Electric vehicles have emissions of around 15 gCO_{2eq}/pkm in Europe, while internal combustion vehicles, such as petrol and diesel cars, emit 42 and 46 gCO_{2eq}/pkm respectively. Energy consumption for cars varies be-

Tabella 1 – Table 1

Dettaglio categorie di aeromobile analizzati
Details of aircraft categories analysed

Codice	Tipo di aeromobile	Code	Aircraft type
B1	Business jet	B1	Business jet
B2	Business jet	B2	Business jet
RTP1	Regional turboprop airliner	RTP1	Regional turboprop airliner
RTP2	Regional turboprop airliner	RTP2	Regional turboprop airliner
RTF1	Regional turbofan airliner	RTF1	Regional turbofan airliner
RTF2	Regional turbofan airliner engine option 1	RTF2	Regional turbofan airliner engine option 1
RTF3	Regional turbofan airliner	RTF3	Regional turbofan airliner
RTF4	Regional turbofan airliner engine option 2	RTF4	Regional turbofan airliner engine option 2
S1	Short to medium haul airliner	S1	Short to medium haul airliner
S2	Short to medium haul airliner	S2	Short to medium haul airliner

da vari fattori, tra cui l'efficienza del veicolo, il tipo di carburante utilizzato, l'occupazione media e il mix energetico nazionale. Le ferrovie elettrificate, come anticipato, si distinguono per la loro impronta contenuta, con emissioni medie di circa 24gCO_{2eq}/pkm in Europa, che possono

tween 0.35 and 0.47 kWh/pkm, making them less efficient than trains. Air transport remains the least decarbonised, with emissions varying between 133 gCO_{2eq}/pkm for scheduled economy class flights and 298 gCO_{2eq}/pkm for business class flights. In Europe, taking into account the use of main-

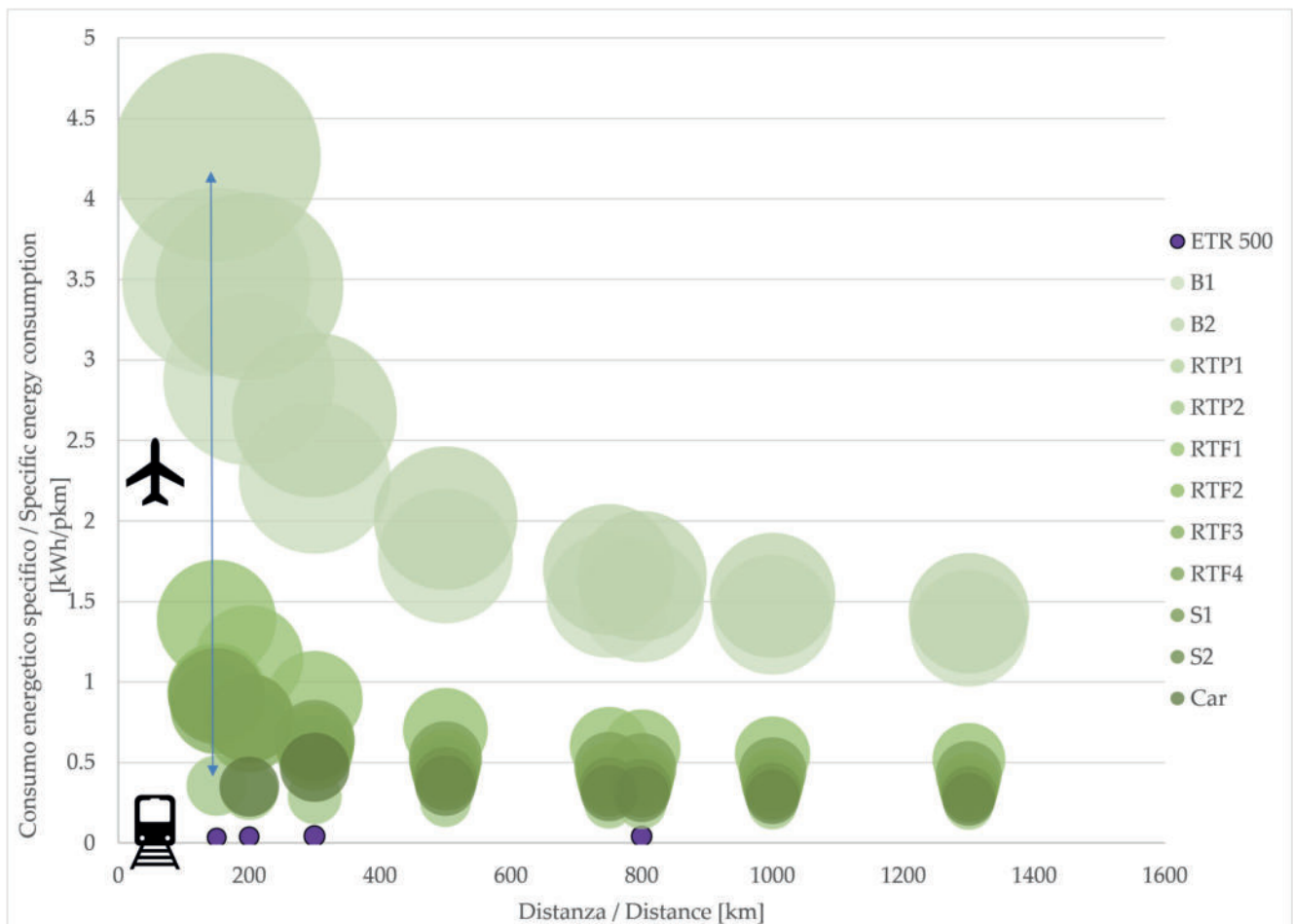


Figura 1 - Consumo energetico specifico in funzione della distanza percorsa per modo di trasporto [6].
 Figure 1 - Specific energy consumption as a function of distance travelled by transport mode [6].

scendere a $7\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{pkm}$ nei paesi nordici grazie a un mix energetico a minore tenore di carbonio [7][8]. Il consumo energetico per i treni ad alta velocità varia tra $0.03\text{-}0.09\text{ kWh/pkm}$ [9], evidenziando la loro superiorità rispetto ad altri mezzi di trasporto [10]. I veicoli elettrici presentano emissioni di circa $15\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{pkm}$ in Europa, mentre i veicoli a combustione interna, come le auto a benzina e diesel, emettono rispettivamente 42 e $46\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{pkm}$. Il consumo energetico per le auto varia tra 0.35 e 0.47 kWh/pkm , rendendole meno efficienti rispetto ai treni. Il trasporto aereo rimane il meno decarbonizzato, con emissioni che variano tra $133\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{pkm}$ per i voli di linea in classe economica e $298\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{pkm}$ per quelli in classe business. In Europa, tenendo conto dell'uso principalmente di velivoli di linea per tratte di media distanza (categoria S1, S2 della Fig. 1), il consumo energetico per gli aerei si aggira tra 0.72 e 1.98 kWh/pkm , sottolineando la loro elevata intensità energetica. I pullman a lunga percorrenza mostrano emissioni di circa $31\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{pkm}$, rendendoli una delle opzioni più ecologiche tra i veicoli motorizzati [11].

La Fig. 2 sintetizza i dati sopra menzionati, fornendo una base per la creazione di grafici comparativi.

Questi dati evidenziano l'importanza di promuovere modalità di trasporto più sostenibili, sia da un punto di vista energetico che emissivo, come il treno e i veicoli elettrici, per ridurre l'impatto ambientale del settore dei trasporti.

ly medium-distance scheduled aircraft (category S1, S2 of Fig. 1), the energy consumption for aircraft is between 0.72 and 1.98 kWh/pkm , underlining their high energy intensity. Long-distance coaches show emissions of around $31\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{pkm}$, making them one of the most environmentally friendly options among motorised vehicles [11].

Fig. 2 summarises the above data, providing a basis for creating comparative graphs.

These data highlight the importance of promoting more sustainable modes of transport, both in terms of energy and emissions, such as rail and electric vehicles, to reduce the environmental impact of the transport sector.

In fact, it can be seen that specific consumption decreases as the travelled distances increase, making rail travel extremely advantageous, even after the claimed efficiency improvements on aircrafts [12].

Although the analysis of specific consumption offers a useful insight into operational efficiency, it is necessary to extend the scope of the study to include the Well-to-Wheel analysis of the energy carrier used - divided into a part that focuses on the processes of producing the carrier and its distribution (Well-To-Tank, WTT) and a part that takes into account the specific use (Tank-To-Wheel, TTW) - and the life cycle of the system (LCA). The latter approach takes into account not only energy efficiency during operation, but the entire environmental impact associated with vehicle production, distribution and disposal, offering a comprehensive and sustainable view.

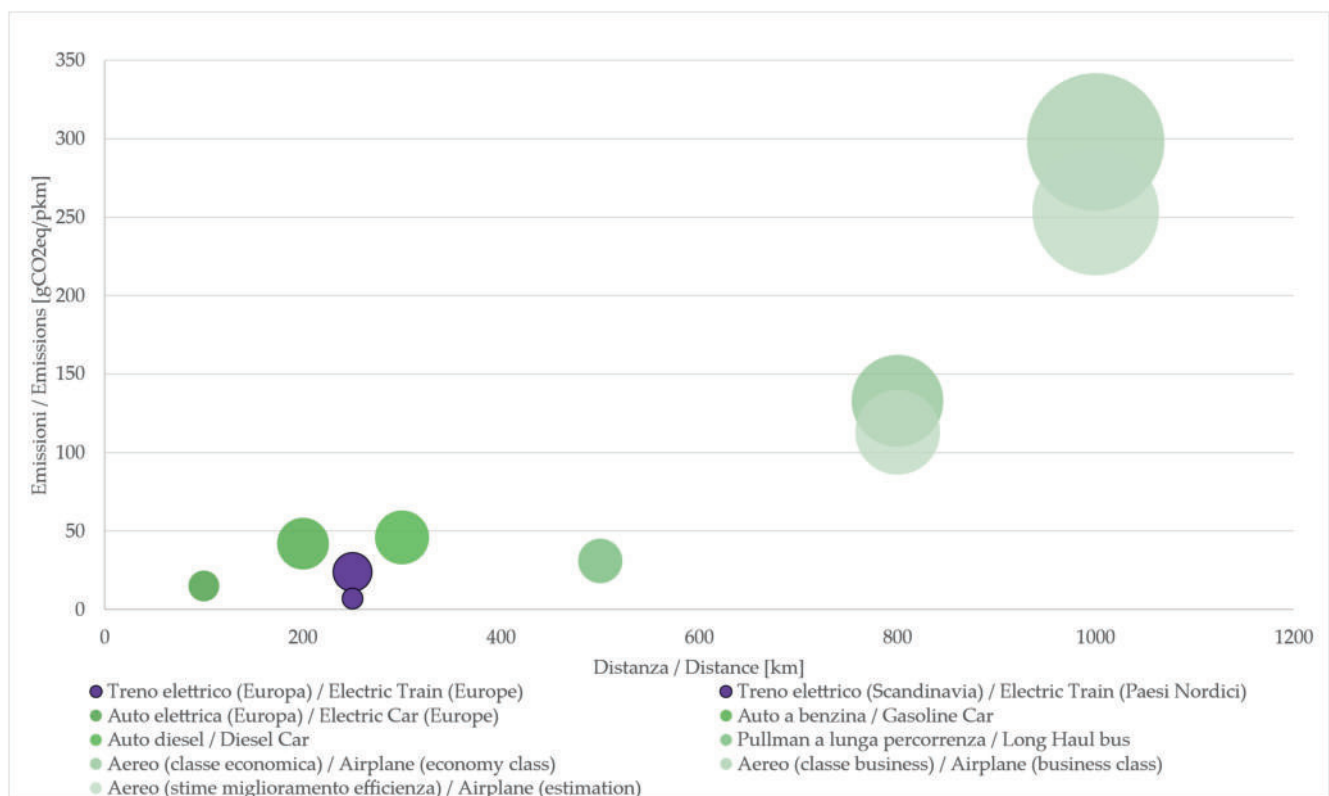


Figura 2 - Comparazione delle emissioni per unità funzionale dei principali modi di trasporto in Europa.
 Figure 2 - Comparison of emissions per functional unit of the main transport modes in Europe.

Difatti, si può vedere come il consumo specifico si riduca all'aumentare delle distanze percorse, rendendo lo spostamento su rotaia estremamente vantaggioso, anche a valle dei miglioramenti in termini di efficienza dichiarati sugli aeromobili [12].

Sebbene l'analisi del consumo specifico offra una visione utile dell'efficienza operativa, si rende necessario estendere il campo di studio includendo l'analisi Well-to-Wheel del vettore energetico utilizzato - diviso in una parte che si focalizza sui processi di produzione del vettore e della sua distribuzione (*Well-To-Tank*, WTT) e in una parte che tiene conto dell'uso specifico (*Tank-To-Wheel*, TTW) - e del ciclo di vita del sistema (LCA). Quest'ultimo approccio non tiene solo conto dell'efficienza energetica durante l'esercizio, ma l'intero impatto ambientale associato alla produzione, distribuzione e smaltimento dei veicoli, offrendo una visione complessiva e sostenibile.

Nonostante la crescente attenzione verso la sostenibilità del trasporto ferroviario, l'applicazione sistematica della metodologia LCA al materiale rotabile resta ancora relativamente poco sviluppata nella letteratura scientifica e tecnica.

In studi precedenti si è focalizzata l'attenzione sulla questione energetica relativa ai diversi sistemi di trasporto, andando a evidenziare la potenzialità dei sistemi ferroviari, e quali elementi possono contribuire al miglioramento del suo rendimento energetico [13].

I contributi esistenti si concentrano su casi specifici, spesso eterogenei per tipologia di veicolo, perimetro analizzato e approccio metodologico. Sono particolarmente diffusi studi relativi a treni metropolitani e ad alta velocità, mentre risultano più rari quelli che trattano in modo approfondito le carrozze passeggeri convenzionali o i rotabili per servizi notturni a media e lunga percorrenza.

Tra gli studi più completi si segnala l'analisi LCA del treno AZUR di Alstom, pubblicata sotto forma di EPD di Tipo III certificata esternamente. Tale documento fornisce un bilancio dettagliato degli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita del rotabile, evidenziando un'impronta complessiva di appena $0.8\text{gCO}_{2\text{eq}}$ per passeggero-km, con una durabilità ipotizzata di 40 anni e un tasso di recuperabilità dei materiali pari al 97% [14]. A motivare un'analisi che prenda in considerazione l'intero ciclo di vita del materiale rotabile, si trovano i risultati delle analisi condotte sulla linea metropolitana di Tokyo e sulla linea Douro in Portogallo, che hanno esplorato l'interazione tra materiale rotabile, infrastruttura e sistema energetico, mostrando che la fase di produzione dei veicoli può arrivare a incidere per oltre un terzo sull'impronta totale di CO_2 , specialmente in presenza di forniture elettriche a bassa quota di rinnovabili [14][8].

Gli studi comparativi internazionali, come quelli promossi da EcoPassenger, Ecoinvent e l'Agenzia Europea per l'Ambiente, confermano che l'LCA applicata al materiale rotabile può restituire impatti ambientali altamente variabili in funzione della metodologia impiegata: i principali fattori che influenzano i risultati sono il mix energetico nazionale (che incide fortemente sulla fase di esercizio), la durata ipo-

Despite the increasing focus on the sustainability of rail transport, the systematic application of LCA methodology to Rolling Stock is still relatively underdeveloped in the scientific and technical literature.

Previous studies have focused on the energy issue related to different transport systems, highlighting the potential of railway systems, and which elements can contribute to the improvement of its energy performance [13].

Existing contributions focus on specific cases, often heterogeneous in terms of vehicle type, scope and methodological approach. Studies on underground and high-speed trains are particularly widespread, while those dealing in depth with conventional passenger carriages or Rolling Stock for medium- and long-distance night services are rarer.

Among the most comprehensive studies there is the LCA analysis of the AZUR train by ALSTOM, published as an externally certified Type III EPD. This document provides a detailed balance of environmental impacts over the entire life cycle of the Rolling Stock, showing an overall footprint of just $0.8\text{gCO}_{2\text{eq}}/\text{pkm}$, with an assumed durability of 40 years and a material recoverability rate of 97% [14]. Motivating an analysis that takes into account the entire life cycle of Rolling Stock are the results of analyses conducted on the Tokyo Metro line and the Douro line in Portugal, which explored the interaction between Rolling Stock, infrastructure and the energy system, showing that the vehicle production phase can account for more than one-third of the total CO_2 footprint, especially in the presence of low renewable electricity supplies [14][8].

International comparative studies, such as those promoted by EcoPassenger, Ecoinvent and the European Environment Agency, confirm that the LCA applied to Rolling Stock can return highly variable environmental impacts depending on the methodology used: the main factors influencing the results are the national energy mix (which strongly affects the operating phase), the assumed useful life of the Rolling Stock, the average passenger load and the strategy adopted for end-of-life modelling. In particular, the latter can be approached in different ways: the first is the cut-off approach, whereby the impact due to the recycling of components and materials is allocated to the product that will use them, while the second, called the "APOS" (Allocation at the Point Of Substitution) approach, provides for the allocation of the impact to the product that generated the component, when it replaces virgin material [15][16].

Some studies show how LCA is used to test the application of recycling methods to rolling stock that would raise its sustainability score. [21].

No less relevant is the difference between studies adopting a cradle-to-gate (upstream + core) approach, stopping at the production and assembly phase, and the more comprehensive cradle-to-grave (upstream + core + downstream) studies, which also include maintenance, operation, and decommissioning. Only the latter allow a comprehensive and comparable assessment of the actual sustainability of a Rolling Stock, in line with the requirements of ISO 14040 and 14044.

tizzata di vita utile del rotabile, il carico medio di passeggeri e la strategia adottata per la modellazione del fine vita. In particolare quest'ultimo può essere approcciato in modi diversi: il primo è l'approccio cut-off, il quale prevede che l'impatto dovuto al riciclo di componenti e materiali venga allocato al prodotto che ne farà uso, mentre il secondo, chiamato approccio "APOS" (*Allocation at the Point Of Substitution*), prevede l'allocazione dell'impatto al prodotto che ha generato il componente, quando questo vada a sostituire del materiale vergine [15][16].

Alcuni studi mostrano come si faccia uso dell'analisi LCA del materiale rotabile per applicare modalità di riciclo che aumentino la sostenibilità del materiale stesso [21].

Non meno rilevante è la differenza tra gli studi che adottano un approccio *cradle-to-gate* (*upstream + core*), fermandosi alla fase di produzione e assemblaggio, e quelli più completi *cradle-to-grave* (*upstream + core + downstream*), che includono anche manutenzione, esercizio, e dismissione. Soltanto i secondi consentono una valutazione completa e comparabile dell'effettiva sostenibilità di un rotabile, in linea con le prescrizioni delle norme ISO 14040 e 14044.

Tuttavia, dalla revisione sistematica della letteratura emergono alcune criticità ricorrenti:

1. una marcata assenza di dati primari standardizzati su molti dei componenti fondamentali del materiale rotabile, come i carrelli, i cablaggi, le dotazioni interne o gli impianti di bordo. Questo obbliga spesso i ricercatori a ricorrere a dati secondari o a medie di settore, riducendo l'accuratezza delle valutazioni;
2. una scarsa disponibilità di certificati EPD per i rotabili in commercio, a differenza di quanto accade ad esempio nel settore dell'edilizia, dove le dichiarazioni ambientali sono ormai diffuse e standardizzate grazie a normative consolidate (come EN 15804). Nel ferroviario, le EPD di tipo III restano una pratica volontaria e limitata a pochi operatori, rendendo difficile la comparazione tra prodotti simili offerti da diversi costruttori;
3. la variabilità metodologica nei modelli adottati: alcuni studi utilizzano modelli di allocazione semplici, altri adottano approcci più raffinati (come l'APOS 100:100 di Ecoinvent), ma raramente si trovano confronti sistematici che valutino l'influenza di queste scelte sui risultati finali. Anche la definizione dei confini del sistema può variare significativamente da uno studio all'altro, includendo o meno la produzione di ricambi, la fase di manutenzione ordinaria, o l'energia necessaria per la gestione delle officine.

In questo scenario parziale e frammentato, il presente studio intende proporsi come contributo metodologico e pratico per rafforzare la base conoscitiva disponibile, introducendo un'analisi LCA dettagliata e verificabile su una carrozza ferroviaria reale, con dati strutturati, scenari comparabili e un approccio *cradle-to-grave* coerente con le migliori pratiche internazionali.

L'efficacia di un'analisi LCA nel settore ferroviario dipende in larga parte non solo dalla qualità dei dati, ma

However, the systematic literature review reveals some recurring criticalities:

1. *a marked absence of standardised primary data on many of the key components of Rolling Stock, such as bogies, cabling, interior equipment or on-board systems. This often forces researchers to resort to secondary data or industry averages, reducing the accuracy of assessments;*
2. *a lack of availability of EPD certificates for commercial Rolling Stock, unlike for example in the construction sector, where environmental declarations are now widespread and standardised thanks to established standards (such as EN 15804). In railways, Type III EPDs remain voluntary and limited to a few operators, making it difficult to compare similar products offered by different manufacturers;*
3. *methodological variability in the models adopted: some studies use simple allocation models, others adopt more refined approaches (such as Ecoinvent's APOS 100:100), but systematic comparisons assessing the influence of these choices on the final results are rarely found. Even the definition of system boundaries can vary significantly from one study to the next, whether or not it includes the production of spare parts, the routine maintenance phase, or the energy required to run workshops.*

In this partial and fragmented scenario, the present study intends to serve as a methodological and practical contribution to strengthen the available knowledge base by introducing a detailed and verifiable LCA analysis on a real railway carriage, with structured data, comparable scenarios and a cradle-to-grave approach consistent with international best practice.

The effectiveness of an LCA in the railway sector depends to a large extent not only on the quality of the data, but also on the software tools used to model material and energy flows. In recent years, the landscape of available tools has expanded, offering diverse solutions for both academic and industrial purposes.

The pool of tools for the development of LCA methodology is populous; among the best known commercial software, GaBi (Sphera) and SimaPro (Pré Sustainability) are worth mentioning, which provide tools tailored to the industry sector in which they will be used. Each software can be used with the various databases available, including ecoinvent, which provide secondary data.

For the development of the case at hand, it was decided to use the ecoinvent database in combination with OpenLCA, an open-source platform developed by GreenDelta, which is widely used in academia and research due to its flexibility [20] and free access.

OpenLCA allows detailed modelling of processes, with the possibility of customising flows, creating alternative scenarios and integrating geographical or temporal data. The transparency of the software and the possibility to export models make this tool particularly suitable for applications that require traceability and replicability, such as the pro-

anche dagli strumenti software utilizzati per modellare i flussi di materia ed energia. Negli ultimi anni, il panorama degli strumenti disponibili si è ampliato, offrendo soluzioni diversificate sia per scopi accademici che industriali.

Il parco degli strumenti per lo sviluppo della metodologia LCA è popoloso; tra i software commerciali più conosciuti meritano menzione GaBi (Sphera) e SimaPro (*Pré Sustainability*), i quali forniscono strumenti cuciti su misura per il settore industriale in cui verranno utilizzati. Ciascun software può essere utilizzato con i diversi database presenti, tra cui ecoinvent, che mettono a disposizione dati secondari.

Per lo sviluppo del caso in oggetto, si è deciso di utilizzare il database ecoinvent in combinazione con OpenLCA, una piattaforma open-source sviluppata da GreenDelta, largamente impiegata in ambito universitario e di ricerca, grazie alla sua flessibilità [20] e all'accesso gratuito.

OpenLCA consente una modellazione dettagliata dei processi, con possibilità di personalizzazione dei flussi, creazione di scenari alternativi e integrazione di dati geografici o temporali. La trasparenza del software e la possibilità di esportare i modelli rendono questo strumento particolarmente adatto per applicazioni che richiedono tracciabilità e replicabilità, come l'elaborazione di dichiarazioni ambientali verificate (EPD).

Alla luce di questi elementi, l'LCA applicata al materiale rotabile si configura come uno strumento fondamentale non solo per valutare il contributo ambientale intrinseco dei rotabili stessi, ma anche per posizionarli correttamente nel quadro complessivo delle opzioni di mobilità a basse emissioni.

È possibile quindi evidenziare un vuoto specifico nella letteratura tecnica: quello relativo all'analisi ambientale completa di una carrozza ferroviaria per servizio notturno, costruita in Italia, modellata con dati reali e suddivisa in fasi di vita chiaramente distinguibili. Il caso studio è stato selezionato perché rappresentativo di una categoria di rotabili che, pur essendo utilizzata regolarmente nel servizio passeggeri nazionale, è raramente oggetto di studi LCA sistematici.

Attraverso l'analisi proposta si intendono fornire risultati comparabili e utili sia per il confronto intermodale, sia per la costruzione di benchmark ambientali interni al comparto ferroviario, in un'ottica di progettazione sostenibile orientata alle nuove richieste normative europee.

3. Metodologia LCA, norme e PCR

La metodologia utilizzata per l'analisi del ciclo di vita delle carrozze ferroviarie per servizio intercity notte si basa sul quadro normativo internazionale stabilito dalle norme ISO 14040 e ISO 14044, che definiscono i principi, le fasi e i requisiti per un LCA completo e comparabile. L'approccio seguito è di tipo attributivo, che valuta l'impatto diretto dei materiali e dei processi sul ciclo di vita del prodotto, e *cradle-to-grave*, con modellazione dei flussi fisici e ambientali associati a tutte le fasi del ciclo di vita:

cessing of verified environmental declarations (EPDs).

In light of these elements, LCA applied to Rolling Stock emerges as a key tool not only to assess the inherent environmental contribution of the Rolling Stock itself, but also to position it correctly in the overall picture of low-emission mobility options.

It is therefore possible to highlight a specific gap in the technical literature: that of a complete environmental analysis of a railway carriage for night service, built in Italy, modelled with real data and divided into clearly distinguishable life phases. The case study was selected because it is representative of a category of Rolling Stock that, although regularly used in national passenger service, is rarely the subject of systematic LCA studies.

The proposed analysis is intended to provide comparable and useful results both for intermodal comparisons and for the construction of environmental benchmarks within the railway sector, with a view to sustainable design oriented towards the new European regulatory requirements.

3. LCA methodology, standards and PCR

The methodology used for the life cycle analysis of railway carriages for overnight service is based on the international regulatory framework established by ISO 14040 and ISO 14044, which define the principles, phases and requirements for a complete and comparable LCA. The approach followed is attributive, assessing the direct impact of materials and processes on the product life cycle, and cradle-to-grave, with modelling of the physical and environmental flows associated with all phases of the life cycle: from material production to end-of-life, via operation and maintenance. The entire study was implemented in the OpenLCA software, using the Ecoinvent 3.8 database as the main source of secondary data, supplemented with direct technical information obtained from industrial documentation and construction specifications of the analysed carriages.

To set up the analysis, the Rolling Stock-specific Product Category Rules (PCR 2009:05) were followed, which establish guidelines for the modelling, communication and verification of environmental information on trains, carriages and metro systems.

The first methodological phase involved defining the objective and scope of the analysis. The objective of the study is to quantify the environmental impacts associated with the production, use and decommissioning of a long-distance railway carriage in a night-time configuration, and to identify the most critical phases for sustainable design. The functional unit was defined as 'the transport of a passenger in a night train car over a distance of one kilometre (1 pkm), over a useful life of 40 years', assuming an average occupancy level consistent with operational data provided by the service operators. This definition allows normalisation of impacts with respect to actual vehicle performance and facilitates comparison with other transport systems.

The system boundaries consider all relevant activities

dalla produzione dei materiali alla fine vita, passando per la fase operativa e di manutenzione. L'intero studio è stato implementato nel software OpenLCA, utilizzando il database Ecoinvent 3.8 come fonte principale di dati secondari, integrati con informazioni tecniche dirette ottenute da documentazione industriale e specifiche costruttive delle carrozze analizzate.

Per impostare l'analisi, sono state seguite le *Product Category Rules* (PCR 2009:05) specifiche per il materiale rotabile, che stabiliscono le linee guida per la modellazione, la comunicazione e la verifica delle informazioni ambientali relative a treni, carrozze e sistemi metropolitani.

La prima fase metodologica ha riguardato la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'analisi. L'obiettivo dello studio è quantificare gli impatti ambientali associati alla produzione, all'uso e alla dismissione di una carrozza ferroviaria a lunga percorrenza in configurazione notturna, e individuare le fasi maggiormente critiche ai fini della progettazione sostenibile. L'unità funzionale è stata definita come "il trasporto di un passeggero su una carrozza ferroviaria notte per una distanza di un chilometro (1 pkm), su una vita utile di 40 anni", assumendo un livello medio di occupazione coerente con i dati operativi forniti dai gestori del servizio. Questa definizione permette di normalizzare gli impatti rispetto alla prestazione reale del veicolo e facilita il confronto con altri sistemi di trasporto.

I confini del sistema considerano tutte le attività rilevanti lungo l'intero ciclo di vita del prodotto. La fase *upstream* comprende l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, la produzione dei componenti e il loro trasporto fino al sito di assemblaggio. In particolare, è stato modellato il contributo ambientale di sottosistemi come la cassa (telaio, fiancate, imperiale e pareti di testa), i carrelli, il cablaggio elettrico e gli allestimenti interni distinti in tre configurazioni (*comfort, economy, deluxe*). La fase *core* include le attività di assemblaggio presso il costruttore, dove sono stati considerati i consumi energetici reali del processo produttivo e le perdite di materiali. Infine, la fase *downstream* comprende l'uso del rotabile, la manutenzione ordinaria e straordinaria, e le operazioni di dismissione, con particolare attenzione al recupero e al riciclo dei materiali strutturali e degli impianti di bordo. Il fine-vita è stato modellato assumendo una percentuale di riciclabilità variabile per tipologia di materiale, in coerenza con le indicazioni della norma ISO 22628 e con i tassi stimati per il settore ferroviario europeo. Una sintesi di questo si può vedere nella Fig. 3.

La suddivisione in queste tre macro-fasi ha lo scopo principale di separare gli elementi che contribuiscono all'impatto ambientale del prodotto che sono sotto la piena responsabilità del costruttore (fase Core), in quanto le trasformazioni dei materiali e il consumo energetico avvengono sotto la sua osservazione diretta, dagli elementi che dipendono dalla progettazione e dalle scelte dei fornitori; questi elementi, di cui tocca tenere conto dell'impatto per una corretta valutazione LCA, richiedono informazioni dai fornitori per quanto riguarda i consumi energetici e l'uso

throughout the entire product life cycle. The upstream phase includes the extraction and processing of raw materials, the production of components and their transport to the assembly site. In particular, the environmental contribution of sub-systems such as the body (chassis, sides, roof and head-walls), bogies, electrical wiring and interior fittings distinguished in three configurations (comfort, economy, deluxe) was modelled. The core phase includes the assembly activities at the manufacturer, where the real energy consumption of the production process and material losses were considered. Finally, the downstream phase includes the use of the Rolling Stock, ordinary and extraordinary maintenance, and decommissioning operations, with particular attention to the recovery and recycling of structural materials and on-board equipment. The end-of-life has been modelled assuming a variable recyclability rate per material type, consistent with ISO 22628 and estimated rates for the European railway sector. A summary of this can be seen in Fig. 3.

The subdivision into these three macro-phases has the main purpose of separating the elements that contribute to the environmental impact of the product that are under the full responsibility of the manufacturer (Core phase), as material transformations and energy consumption take place under his direct observation, from the elements that depend on the design and choices of the suppliers; these elements, whose impact must be taken into account for a correct LCA assessment, require information from the suppliers regarding energy consumption and raw material use for the components that reach the manufacturer's premises to enter the Core phase.

The Life Cycle Inventory (LCI) was constructed by mapping each input and output flow for each of the three phases. Primary data was collected from technical specifications, material sheets, specifications and construction layouts of the coaches under study, while secondary data was extracted from processes in the Ecoinvent database, selecting the most coherent unit processes by geographical location and technology. Particular attention was paid to disaggregating the data by functional groups of the vehicle (e.g. bogies, interiors, systems) in order to allow a modular analysis of impacts. Energy flows were calculated on the basis of the estimated mileage over a 40-year life and include both traction power consumption and the consumption of on-board auxiliary systems (HVAC, lighting, device charging, etc.).

The next stage of the analysis concerned the assessment of environmental impacts (LCIA), carried out according to the EF 3.0 midpoint characterisation method, consistent with the European reference framework. The impact categories analysed include: Global Warming Potential (GWP), primary energy consumption, use of mineral and fossil resources, acidification, eutrophication and fine particulate formation. The results were normalised against the functional unit and analysed for each life cycle phase and vehicle functional group.

Finally, in the interpretation phase, the results were critically read to identify the phases with the greatest impact, verify the internal consistency of the model, and assess the

delle materie prime per i componenti che raggiungono la sede del costruttore per inserirsi nella fase Core.

L'inventario del ciclo di vita (LCI) è stato costruito mappando ogni flusso in ingresso e in uscita per ciascuna delle tre fasi. I dati primari sono stati raccolti da specifiche tecniche, schede materiali, capitolati e layout costruttivi delle carrozze oggetto di studio, mentre i dati secondari sono stati estratti dai processi presenti nel databaseecoinvent, selezionando le *unit process* più coerenti per localizzazione geografica e tecnologia. Particolare attenzione è stata posta nel disaggregare i dati per gruppi funzionali del veicolo (es. carrelli, interni, impianti) in modo da consentire un'analisi modulare degli impatti. I flussi energetici sono stati calcolati in funzione della percorrenza stimata su una vita utile di 40 anni e includono sia il consumo elettrico di trazione sia i consumi dei sistemi ausiliari di bordo (HVAC, illuminazione, carica dispositivi, ecc.).

La fase successiva dell'analisi ha riguardato la valutazione degli impatti ambientali (LCIA), realizzata secondo il metodo di caratterizzazione EF 3.0 *midpoint*, coerente con il quadro europeo di riferimento. Le categorie di impatto analizzate includono: *Global Warming Potential* (GWP), consumo di energia primaria, uso di risorse minerali e fossili, acidificazione, eutrofizzazione e formazione di particolato fine. I risultati sono stati normalizzati rispetto all'unità funzionale e analizzati per ciascuna fase del ciclo di vita e per ciascun gruppo funzionale del veicolo.

Infine, nella fase di interpretazione, i risultati sono stati letti criticamente per identificare le fasi a maggiore impatto, verificare la coerenza interna del modello, e valutare l'affidabilità dei dati tramite analisi di completezza, sensibilità e robustezza. È stato inoltre predisposto un confronto fra tre scenari geografici di produzione (Italia, media europea, Cina), modificando le ipotesi sul mix energetico e sul trasporto dei componenti, al fine di quantificare l'influenza della geografia produttiva sugli impatti finali.

Nel rispetto delle prescrizioni della norma ISO 14025, i risultati sono stati strutturati in forma compatibile con i requisiti di una futura EPD (*Environmental Product Declaration*). Il modello è stato sviluppato tenendo conto dei criteri di modularità, trasparenza e verificabilità, necessari per un'eventuale pubblicazione ufficiale all'interno di un programma EPD di tipo III riconosciuto.

4. Caso pratico: Analisi LCA di una carrozza ferroviaria per servizio notte

Il caso studio presentato in questo articolo si concentra sull'analisi del ciclo di vita (LCA) di una carrozza fer-

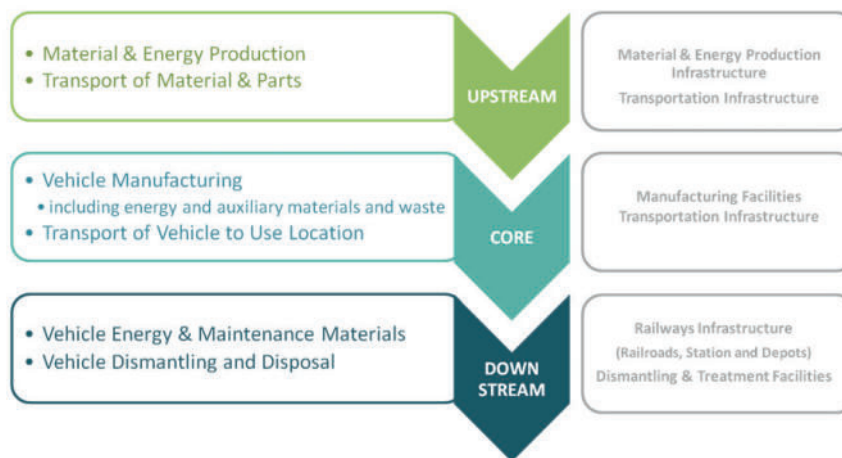


Figura 3 - Suddivisione del processo secondo la PCR di categoria [2].
 Figure 3 - Breakdown of the process according to category PCR [2].

reliability of the data through completeness, sensitivity and robustness analyses. A comparison between three geographical production scenarios (Italy, European average, China) was also prepared, modifying the assumptions on the energy mix and component transport, in order to quantify the influence of production geography on final impacts.

In compliance with the requirements of ISO 14025, the results were structured in a form compatible with the requirements of a future EPD (Environmental Product Declaration). The model was developed taking into account the criteria of modularity, transparency and verifiability, which are necessary for a possible official publication within a recognised EPD type III programme.

4. Practical case: LCA analysis of a night service railway carriage

The case study presented in this article focuses on the life cycle analysis (LCA) of a railway carriage for intercity night service, configured in different versions (Comfort, Economy, Deluxe) and intended to operate on medium to long-distance electrified national routes. The object of the study is exclusively the carriage, thus excluding the locomotive, the infrastructure and the entire train system, in order to focus the analysis on a single asset representative of the Rolling Stock.

The carriage considered has an estimated useful life of 40 years, with an annual mileage of approximately 300000 km. The typical operating profile involves night journeys at medium speed (100-160 km/h) with regular intermediate stops. The assumed average occupancy rate, consistent with the standards for night routes in Europe, is 70%.

From a functional point of view, the analysis was referred to a functional unit of 1 passenger-kilometre (pkm). This choice allows direct comparability with other studies in the literature and ensures consistency with the data used in European environmental benchmarks.

roviaria per servizio intercity notte, configurata in diverse versioni (*Comfort, Economy, Deluxe*) e destinata a operare su tratte nazionali elettrificate a media-lunga percorrenza. L'oggetto dello studio è esclusivamente la carrozza, escludendo quindi la locomotiva, le infrastrutture e l'intero sistema treno, per focalizzare l'analisi su un singolo asset rappresentativo del materiale rotabile.

La carrozza considerata ha una vita utile stimata pari a 40 anni, con una percorrenza annuale di circa 300000 km. Il profilo operativo tipo prevede viaggi notturni a media velocità (100–160 km/h) con fermate intermedie regolari. Il tasso di occupazione medio ipotizzato, coerente con gli standard delle tratte notturne in Europa, è dell'70%.

Dal punto di vista funzionale, l'analisi è stata riferita a una unità funzionale di 1 passeggero-chilometro (pkm). Questa scelta permette una comparabilità diretta con altri studi presenti in letteratura e garantisce coerenza nei confronti dei dati utilizzati nei benchmark ambientali europei.

La carrozza è stata modellata suddividendola in cinque gruppi funzionali, come segue:

1. Cassa: include telaio, fiancate, imperiale e pareti di testa. È il gruppo strutturale portante, costruito prevalentemente in acciaio e alluminio.
2. Carrelli: comprendono assi, sospensioni, impianti frenanti e sistemi di ammortizzazione.
3. Impianti e cablaggi: sistemi elettrici, climatizzazione, riscaldamento, illuminazione, dispositivi di sicurezza.
4. Allestimenti interni: arredi, letti, finiture, pavimenti, rivestimenti per le diverse classi.
5. Sistemi di comfort: toilette, porte automatiche, finestre, insonorizzazione, sensori e dispositivi accessori.

Per ciascun gruppo sono stati individuati i materiali prevalenti, i pesi specifici e le modalità di assemblaggio, utilizzando dati forniti dal costruttore integrati con fonti da letteratura tecnica e database LCI. In totale, la carrozza presenta un peso complessivo stimato di circa 44 t, di cui quasi il 70% imputabile a strutture metalliche (acciaio, alluminio), il 15% a impianti e cablaggi, e il restante 15% agli interni e comfort (Fig. 4).

Il ciclo di vita della carrozza è stato suddiviso nelle tre macro-fasi - già descritte nei precedenti capitoli - secondo lo schema delle PCR (*Product Category Rules*) specifiche per il settore ferroviario:

- Fase *Upstream*: include estrazione, produzione e trasporto dei materiali e componenti preassemblati prima dell'assemblaggio presso il costruttore della carrozza.
- Fase *Core*: riguarda le operazioni di lavorazione interna e assemblaggio, condotte presso il sito produttivo nazionale del costruttore.
- Fase *Downstream*: comprende utilizzo, manutenzione

The carriage was modelled by dividing it into five main functional groups, as it follows:

1. *Body: includes frame, sides, roof and headwalls. It is the load-bearing structural group, constructed mainly of steel and aluminium.*
2. *Bogies: includes axles, suspension, braking and damping systems.*
3. *Installations and wiring: electrical systems, air conditioning, heating, lighting, safety devices.*
4. *Interior fittings: furniture, beds, finishes, flooring, upholstery for the different classes.*
5. *Comfort systems: toilets, automatic doors, windows, soundproofing, sensors and accessory devices.*

For each group, the prevailing materials, specific weights and assembly methods were identified, using data provided by the manufacturer supplemented with sources from technical literature and LCI databases. In total, the coach has an estimated total weight of approximately 44 tonnes, of which almost 70% is attributable to metal structures (steel, aluminium), 15% to systems and wiring, and the remaining 15% to interiors and comfort (Fig. 4).

The life cycle of the wagon has been divided into the three macro-phases - already described in the previous chapters - according to the scheme of the PCR (Product Category Rules) specific to the railway sector:

- *Upstream Phase: includes extraction, production and transport of pre-assembled materials and components prior to assembly at the wagon manufacturer.*
- *Core Phase: covers in-house machining and assembly operations conducted at the manufacturer's national production site.*
- *Downstream Phase: includes use, ordinary and extraordinary maintenance, end-of-life and waste management after leaving the manufacturer's production site.*

All input and output flows were modelled using OpenLCA 2.3.0 and the Ecoinvent 3.8 database, following a cradle-to-grave approach. The adoption of a modular segmentation of the system allowed detailed tracking of environmental contributions for each phase and component.

This case study represents one of the first attempts to fully apply LCA on Rolling Stock intended for night services in a national context, with detailed modelling in accordance with the latest ISO 14040-44 and ISO 14025 guidelines. The next section will describe in detail the configuration of the LCA model used and the data collected at different stages of the life cycle.

The LCA modelling was conducted according to the cradle-to-grave approach, dividing the entire product life cycle into the three macro-phases highlighted above. The software platform used is OpenLCA v2.3.0, with Ecoinvent 3.8 database.

The modelling took as its functional unit the transport of 1 passenger per kilometre (pkm), over a useful life horizon of

ordinaria e straordinaria, fine vita e gestione dei rifiuti in seguito all'uscita dal sito produttivo del costruttore.

Tutti i flussi in ingresso e in uscita sono stati modellati tramite OpenLCA 2.3.0 e database Ecoinvent 3.8, seguendo un approccio *cradle-to-grave*. L'adozione di una segmentazione modulare del sistema ha consentito una tracciabilità dettagliata dei contributi ambientali per ogni fase e componente.

Questo caso studio rappresenta uno dei primi tentativi di applicazione integrale dell'LCA su materiale rotabile destinato a servizi notturni in ambito nazionale, con una modellazione dettagliata e conforme alle più recenti linee guida ISO 14040-44 e ISO 14025. La prossima sezione descriverà nel dettaglio la configurazione del modello LCA utilizzato e i dati raccolti nelle diverse fasi del ciclo di vita.

La modellazione LCA è stata condotta secondo l'approccio *cradle-to-grave*, suddividendo l'intero ciclo di vita del prodotto nelle tre macro-fasi evidenziate sopra. La piattaforma software utilizzata è OpenLCA v2.3.0, con database Ecoinvent 3.8.

La modellazione ha preso come unità funzionale il trasporto di 1 passeggero per chilometro (pkm), in un orizzonte di vita utile di 40 anni. La percorrenza annuale della carrozza in esercizio è stimata in 300000 km, portando il totale a 12000000 km sul ciclo di vita. Il consumo energetico annuale è stato valutato in 644.11 MWh.

La fase Upstream rappresenta uno step estremamente rilevante del modello, sia in termini di contributo agli impatti ambientali che per la quantità di materiali trasformati. La carrozza ha una massa a vuoto di circa 44 t, con una composizione di materiali progettata per massimizzare la durabilità e la riciclabilità. La Tab. 2 riassume la distribuzione in massa e il tasso di riciclo atteso per ciascun materiale.

I materiali metallici rappresentano oltre il 75% della massa totale, a conferma dell'elevata densità strutturale del veicolo. L'alluminio è largamente utilizzato per l'imperiale, le fiancate e gli elementi secondari, grazie alla sua leggerezza e facilità di estrusione. L'acciaio, impiegato nel telaio e nei carrelli, garantisce elevate prestazioni meccaniche e resistenza alla fatica. Il rame è utilizzato principalmente nei cablaggi elettrici e nei sistemi HVAC. I polimeri e i materiali organici (pannelli, finiture, rivestimenti) trovano spazio negli interni, soprattutto nella configurazione *Comfort* e *Deluxe*.

La fase *Core*, riferita al processo di assemblaggio e ver-

Scomposizione carrozza per sottosistemi [kg] Decomposition of the wagon by subsystem [kg]

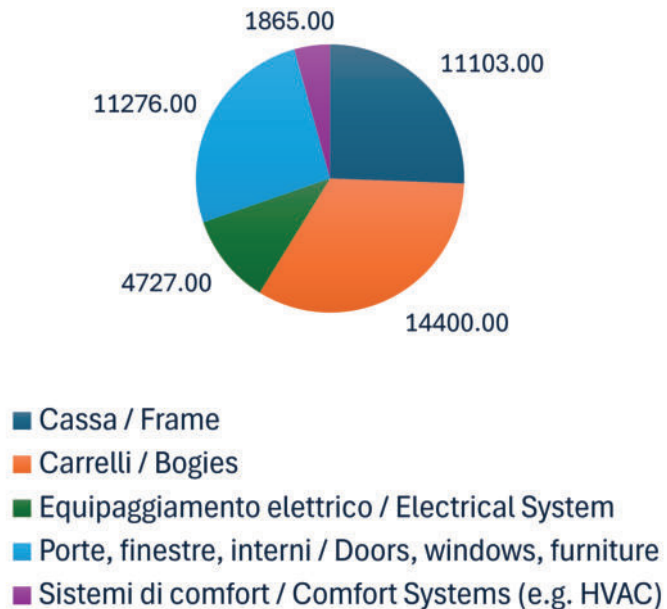


Figura 4 - Scomposizione della massa della carrozza in sottosistemi.
Figure 4 - Breakdown of the coach mass into subsystems.

Tabella 2 – Table 2
Distribuzione in massa e tasso di riciclo per ciascun materiale di cui è composta la carrozza
Mass distribution and recycling rate for each material of which the coach is composed

Materiale Material	% in massa % by mass	Tasso di riciclo Recycling rate
Alluminio Aluminium	37%	98%
Acciaio Steel	32%	98%
Rame Copper	5.7%	98%
Ghisa grigia Grey cast iron	2%	98%
Vetro Glass	2.5%	100%
Polimeri tecnici Technical polymers	6.8%	67%
MONM (cuoio, legno, tessuti) MONM (leather, wood, textiles)	2.3%	95%
Oli, refrigeranti, acidi Oils, coolants, acids	1.0%	80%
Vernici e rivestimenti Paints and coatings	1.2%	0%

niciatura della carrozza presso lo stabilimento produttivo, è stata modellata considerando consumi energetici elettrici e termici specifici forniti da misurazioni industriali. Il consumo energetico di produzione è stimato in circa 23 MWh di elettricità e 8 MWh di energia termica per carrozza, inclusi impianti ausiliari, compressori, robotica e test funzionali. Le emissioni associate alla verniciatura (composti organici volatili, particolati) sono incluse con un processo dedicato, la verniciatura a spruzzo con zero recupero, che non richiede la cattura delle emissioni in quanto è evitato l'overspray, ossia dispersione incontrollata di particelle di vernice nebulizzata che non aderiscono alla superficie.

La fase *Downstream* copre esercizio, manutenzione e fine vita. L'utilizzo per 300000 km/anno genera un consumo complessivo di 25764.4 MWh sul ciclo di vita. Il consumo medio è stato suddiviso tra trazione indiretta (locomotiva) e servizi ausiliari interni.

L'analisi degli impatti ambientali è stata svolta con il metodo EF 3.0 (*midpoint*), normalizzando tutti i risultati sulla base dell'unità funzionale, pari a 1 pkm. I risultati delle singole categorie d'impatto sono riportati in Tab.3.

La Fig. 5 evidenzia una distribuzione degli impatti ambientali tra le tre fasi principali del ciclo di vita: *Upstream*, *Core* e *Downstream*, ognuna delle quali gioca un ruolo fondamentale in diverse categorie di impatto.

Questi risultati confermano l'importanza della scelta di materiali ad alta riciclabilità e la centralità dell'approccio modulare anche in ottica normativa: il modello sviluppato è compatibile con la redazione di EPD verificabili e potrà facilmente essere adattato ai requisiti del Passaporto Digitale del Prodotto previsto dal Regolamento (UE) 2024/1781.

5. Analisi di sensitività: produzione e uso in Cina, Italia e media UE

L'analisi di sensitività proposta in questo capitolo ha l'obiettivo di valutare come la localizzazione geografica della produzione e il mix energetico della fase d'uso influenzino significativamente l'impatto ambientale complessivo della carrozza ferroviaria analizzata. A tal fine sono stati considerati tre scenari distinti per ciascuna fase (produzione e uso): Italia, media UE e Cina. L'unità funzionale è quella adottata per l'intero studio: 1 passeggero-chilometro (pkm), su un ciclo di vita di 40 anni, con percorrenza annuale di 300.000 km, per un consumo energetico totale di 25.76 GWh, a cui corrisponde un consumo medio annuo pari a 644.11 MWh, ovvero 2.15 kWh/pkm.

La fase di produzione comprende sia le attività di assemblaggio presso lo stabilimento finale, sia i trasporti dei materiali/componenti e i consumi energetici di processo (elettricità, termici, ausiliari). Le emissioni totali di CO₂ sono fortemente influenzate dal mix energetico con il quale si è prodotta l'energia elettrica utilizzata in stabilimento. Considerando un consumo elettrico stimato per la pro-

40 years. The annual mileage of the carriage in operation is estimated at 300000 km, bringing the total to 12000000 km over the life cycle. Annual energy consumption was estimated at 644.11 MWh.

The *Upstream* phase represents an extremely important step in the model, both in terms of its contribution to environmental impacts and the amount of materials processed. The carriage has an unladen mass of approximately 44 t, with a material composition designed to maximise durability and recyclability. Tab. 2 summarises the mass distribution and expected recycling rate for each material.

Metallic materials account for over 75% of the total mass, confirming the high structural density of the vehicle. Aluminium is widely used for the roof, the sides and the secondary elements, thanks to its lightness and ease of extrusion. Steel, used in the chassis and bogies, provides high mechanical performance and fatigue resistance. Copper is mainly used in electrical wiring and HVAC systems. Polymers and organic materials (panels, trim, upholstery) are used in the interior, especially in the *Comfort* and *Deluxe* configurations.

The *Core* phase, referring to the carriage assembly and painting process at the production plant, was modelled considering specific electrical and thermal energy consumption provided by industrial measurements. Production energy consumption is estimated at approximately 23 MWh of electricity and 8 MWh of thermal energy per carriage, including auxiliary equipment, compressors, robotics and functional tests. Emissions associated with painting (volatile organic compounds, particulates) are included with a dedicated process, spray painting with zero recovery, which does not require emission capture as overspray (i.e. uncontrolled dispersion of atomised paint particles that do not adhere to the surface) is avoided.

The *Downstream* phase covers operation, maintenance and end-of-life. Operation for 300000 km/year generates a total life cycle consumption of 25764.4 MWh. The average consumption was divided between indirect traction (locomotive) and internal auxiliary services.

The analysis of environmental impacts was carried out using the EF 3.0 (*midpoint*) method, normalising all results to the functional unit of 1 pkm. The results of the individual impact categories are shown in Tab. 3.

Fig. 5 shows a distribution of environmental impacts among the three main life cycle phases: *Upstream*, *Core* and *Downstream*, each of which plays a key role in different impact categories.

These results confirm the importance of choosing highly recyclable materials and the centrality of the modular approach also in a regulatory perspective: the developed model is compatible with the drafting of verifiable EPDs and can easily be adapted to the requirements of the Digital Product Passport foreseen by Regulation (EU) 2024/1781.

Tabella 3 – Table 3

Risultati dell'analisi degli impatti secondo il metodo EF 3.0 (midpoint)
Results of impact analysis according to EF 3.0 method (midpoint)

Categoria di Impatto <i>Impact Category</i>	Descrizione <i>Description</i>	Unità di misura <i>Unit of measurement</i>	Risultato <i>Result</i>
Acidificazione <i>Acidification</i>	Misura il potenziale aumento dell'acidità dei suoli e specchi d'acqua. <i>Measures the potential increase in acidity of soils and bodies of water.</i>	mol H ₊ eq	8.75E-06
Cambiamento Climatico <i>Climate Change</i>	Tiene conto di tutte le emissioni di agenti climalteranti. <i>Takes into account all emissions of climate-change agents.</i>	kg CO ₂ eq	1.72E-03
- Biogenico <i>- Biogenic</i>			2.23E-05
- Fossile <i>- Fossil</i>			1.69E-03
- Uso del suolo e cambio destinazione d'uso <i>- Land use and change of use</i>			7.56E-06
Ecotossicità, acque dolci <i>Ecotoxicity, freshwater</i>	Misura il potenziale impatto di sostanze chimiche tossiche emesse in ecosistemi acquatici. <i>Measures the potential impact of toxic chemicals released in aquatic ecosystems.</i>	CTUe	3.14E-02
- materia inorganica <i>- inorganic matter</i>			2.56E-03
- metalli <i>- metals</i>			2.84E-02
- materia organica <i>- organic matter</i>			5.73E-04
Eutrofizzazione, acque dolci <i>Eutrophication, freshwater</i>	Misura il potenziale di arricchimento eccessivo di nutrienti (azoto e fosforo) in ecosistemi acquatici o terrestri, che causa una crescita incontrollata di alghe e piante, portando a una carenza di ossigeno che danneggia la biodiversità. <i>Measures the potential for excessive nutrient (nitrogen and phosphorous) enrichment in aquatic or terrestrial ecosystems, which causes uncontrolled growth of algae and plants, leading to oxygen deficiency that damages biodiversity.</i>	kg P _{eq}	4.92E-07
Eutrofizzazione, acque salate <i>Eutrophication, salt water</i>		kg N _{eq}	1.62E-06
Eutrofizzazione, terrestre <i>Eutrophication, terrestrial</i>		mol N _{eq}	1.60E-05
Tossicità Umana – Cancro <i>Human Toxicity – Cancer</i>	Valuta gli effetti cancerogeni delle emissioni chimiche (aria, acqua, suolo). <i>Assesses the carcinogenic effects of chemical emissions (air, water, soil).</i>	CTUh	2.19E-12
- materia inorganica <i>- inorganic matter</i>			0.00E+00
- metalli <i>- metals</i>			1.20E-12
- materia organica <i>- organic matter</i>		9.81E-13	
Tossicità Umana - Non Cancro <i>Human Toxicity – Non-Cancer</i>	Valuta gli effetti avversi sulla salute umana non cancerogeni (es. effetti neurologici, respiratori, riproduttivi) causati dall'ingestione o inalazione di sostanze tossiche. <i>Evaluates non-cancer adverse human health effects (e.g. neurological, respiratory, reproductive effects) caused by ingestion or inhalation of toxic substances.</i>	CTUh	2.40E-11
- materia inorganica <i>- inorganic matter</i>			5.89E-12
- metalli <i>- metals</i>			1.71E-11
- materia organica <i>- organic matter</i>			7.51E-13
Radiazioni ionizzanti <i>Ionising radiation</i>	Misura le emissioni radioattive associate ciclo di vita del prodotto. <i>Measures radioactive emissions associated with product life cycle.</i>	kBq U235 _{eq}	2.38E-04

Categoria di Impatto <i>Impact Category</i>	Descrizione <i>Description</i>	Unità di misura <i>Unit of measurement</i>	Risultato <i>Result</i>
Uso del suolo <i>Land use</i>	Valuta le conseguenze ecologiche derivanti dall'occupazione e dalla trasformazione del territorio. <i>Assesses the ecological consequences of land use and land transformation.</i>	adim	7.50E-03
Potenziale di Deplezione dell'Ozono <i>Ozone Depletion Potential</i>	Misura la capacità delle sostanze emesse di degradare lo strato di ozono stratosferico. <i>Measures the ability of emitted substances to degrade the stratospheric ozone layer.</i>	kg CFC-11 _{eq}	1.93E-10
Emissione di Particolato <i>Particulate Emission</i>	Quantifica il rilascio di particelle solide o liquide sospese in aria. <i>Quantifies the release of airborne solid or liquid particles.</i>	Incidenza malattie <i>Rate of diseases</i>	7.27E-11
Formazione di Ozono Fotochimico <i>Photochemical Ozone Formation</i>	Misura la formazione di ozono troposferico ("ozono cattivo") a livello del suolo. <i>Measures the formation of tropospheric ozone ("bad ozone") at ground level.</i>	kg NMVOC _{eq}	6.57E-06
Uso di risorse – Fossile <i>Resource Use - Fossil</i>	Quantifica il consumo di materiale di derivazione fossile. <i>Quantifies the consumption of fossil derived material.</i>	MJ	2.61E-02
Uso di risorse - Minerali e Metalli <i>Resource use - Minerals and Metals</i>	Quantifica il consumo di risorse minerali e metalliche. <i>Quantifies the consumption of mineral and metal resources.</i>	kg Sb _{eq}	1.59E-08
Uso di acqua <i>Water use</i>	Quantifica l'utilizzo di acqua. <i>Quantifies the use of water.</i>	m ³ -world _{eq} . <i>Deprived</i>	3.37E-03

duzione di una carrozza pari a 30 MWh, le sole emissioni da energia elettrica ammonterebbero a:

- 7.6 t CO_{2eq} (Italia),
- 6.8 t CO_{2eq} (media UE),
- 16.1 t CO_{2eq} (Cina) [8][17][18].

A queste si sommano i contributi dei trasporti di componenti (più elevati in caso di approvvigionamenti globali), stimati in media in:

- 1.1 t CO_{2eq} per trasporto interno/UE,
- 2.4 t CO_{2eq} in caso di trasporto marittimo dalla Cina.

Inoltre, i processi termici e ausiliari generano circa 3.2 t CO_{2eq} per carrozza, secondo uno studio LCA condotto da Siemens Austria per veicoli ferroviari comparabili [19].

Applicando i fattori di emissione del mix energetico di ciascuno scenario:

- 1.15 g CO_{2 eq}/pkm in Cina
- 0.55 g CO_{2 eq}/pkm in Italia
- 0.49 g CO_{2 eq}/pkm considerando una media europea.

Andando a dividere le emissioni totali in fase di produzione e quelle dovute al trasporto dei componenti per l'unità funzionale, e sommando i tre contributi per ciascuno scenario, si ottiene il quadro complessivo dell'impronta climatica rappresentato in Fig. 6.

5. Sensitivity analysis: production and use in China, Italy and EU average

The sensitivity analysis proposed in this chapter aims to assess how the geographical location of production and the energy mix of the use phase significantly influence the overall environmental impact of the analysed railway carriage. To this end, three separate scenarios were considered for each phase (production and use): Italy, EU average and China. The functional unit is the one adopted for the entire study: 1 passenger-kilometre (pkm), over a life cycle of 40 years, with an annual mileage of 300000 km, for a total energy consumption of 25.76 GWh, corresponding to an average annual consumption of 644.11 MWh, or 2.15 kWh/pkm.

The production phase includes assembly activities at the final plant as well as the transport of materials/components and process energy consumption (electricity, thermal, auxiliary). The total CO₂ emissions are strongly influenced by the energy mix with which the electricity used at the plant is produced. Considering an estimated electricity consumption for the production of one carriage of 30 MWh, emissions from electricity alone would amount to:

- 7.6 t CO_{2eq} (Italy),
- 6.8 t CO_{2eq} (EU average),

6. Discussione

Lo studio condotto ha dimostrato come sia possibile applicare in modo strutturato la metodologia LCA al materiale rotabile, con un livello di dettaglio tecnico compatibile con le future esigenze di dichiarazione ambientale di tipo III (EPD) e di passaporto digitale del prodotto. La scomposizione del veicolo in gruppi funzionali, l'organizzazione delle fasi di ciclo di vita secondo la logica *upstream-core-downstream*, e l'impiego di software *open-source* validati a livello internazionale, costituiscono una base metodologica replicabile in contesti industriali reali.

Seguendo le indicazioni delle regole di categoria prodotto (PCR) per materiale rotabile 2009:05, e attraverso il software OpenLCA, l'analisi è stata definita seguendo il modello *cradle-to-grave* utilizzando dati di inventario secondari raccolti nella libreria *ecoinvent v.3.8*; gli impatti sono stati calcolati scegliendo la metodologia *EF 3.0 midpoint*.

Con le sue 44t di massa a vuoto, la carrozza è compo-

- 16.1 t CO_{2eq} (China) [8][17][18].

To these are added the contributions of component transports (higher in the case of global supplies), estimated on average at:

- 1.1 t CO_{2eq} per internal/EU transport,
- 2.4 t CO_{2eq} in the case of maritime transport from China.

In addition, thermal and auxiliary processes generate approximately 3.2 t CO_{2eq} per carriage, according to an LCA study conducted by Siemens Austria for comparable rail vehicles [19].

Applying the emission factors of the energy mix of each scenario:

- 1.15 g CO_{2eq}/pkm in China
- 0.55 g CO_{2eq}/pkm in Italy
- 0.49 g CO_{2eq}/pkm considering a European average.

Dividing the total emissions in the production phase and those due to transport of the components for the functional unit, and summing up the three contributions for each sce-

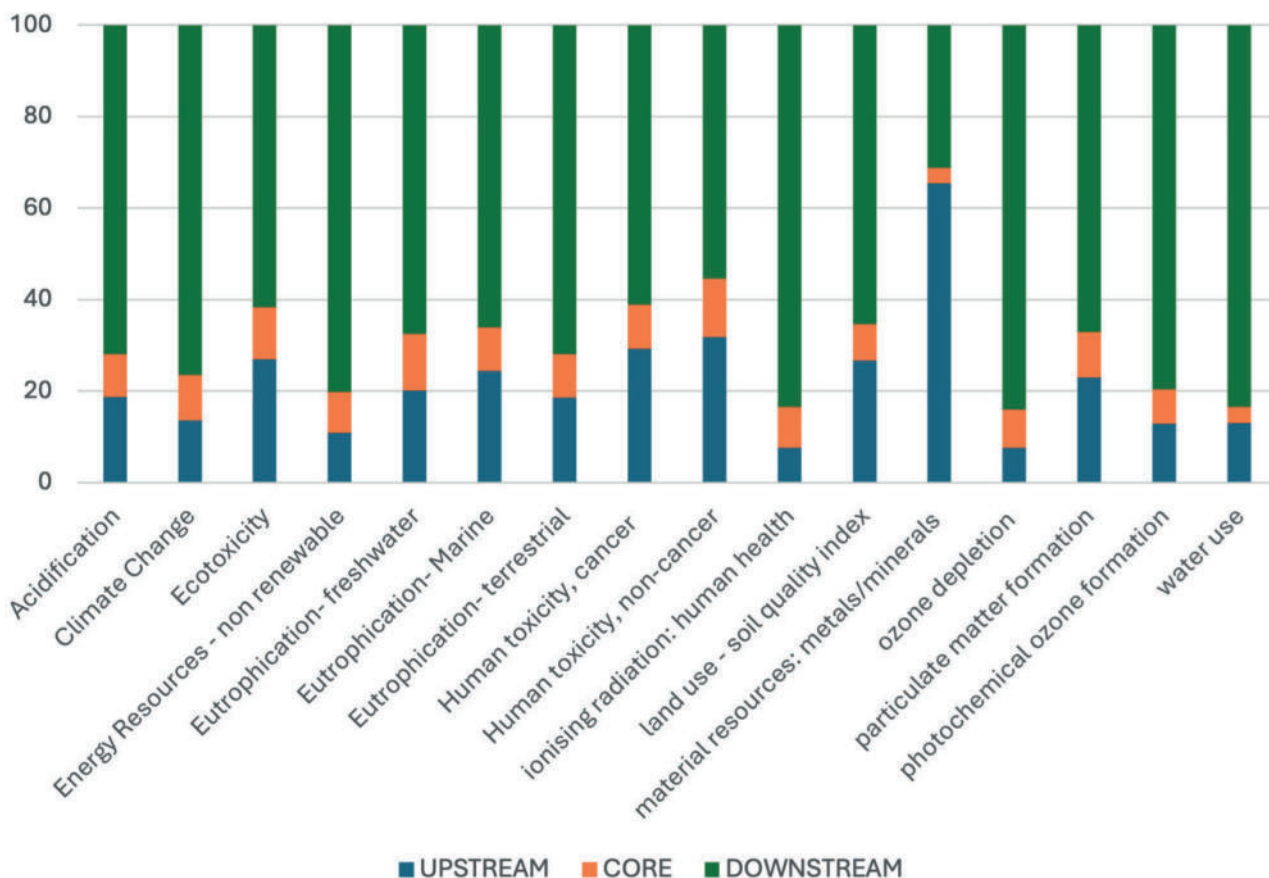


Figura 5 - Distribuzione degli impatti di ciascuna macro-fase per categoria d'impatto.
 Figure 5 - Distribution of impacts of each macro-phase by impact category.

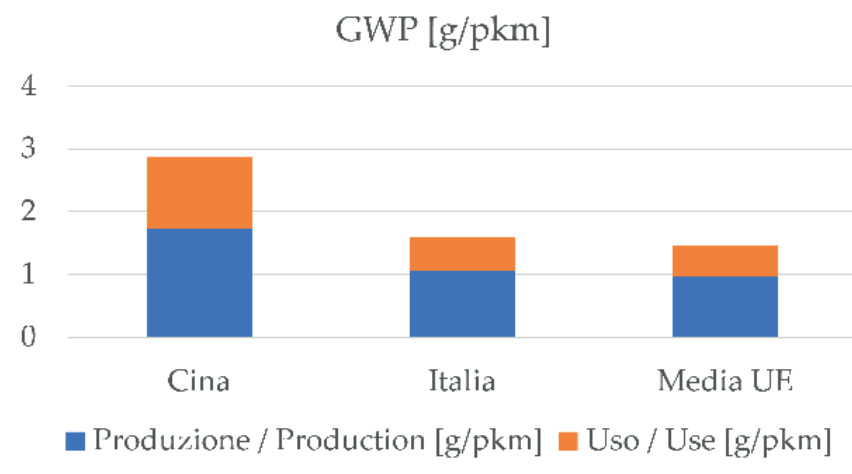


Figura 6 - Totale di emissioni di CO₂ nei diversi scenari.
 Figure 6 - Total CO₂ emissions in different scenarios

sta al 75% di materiali metallici (alluminio, acciaio, rame, ghisa grigia), i quali garantiscono una riciclabilità fino al 98%.

L'impatto è stato definito attraverso l'unità funzionale di 1 passeggero per chilometro (pkm) su un orizzonte di vita di 40 anni, stimando una percorrenza annuale della carrozza in esercizio di 300000km.

La fase di utilizzo (Downstream) è risultata come quella che contribuisce di più a tutte le categorie di impatto (circa il 60-80%), tranne che per quella di consumo di materiali. La fase Core, invece, è responsabile di circa il 10-20% dell'impatto per tutte le categorie. Il restante è in carico alla fase Upstream.

Sono stati evidenziati anche gli effetti sulla localizzazione del sito di produzione della carrozza, in quanto la produzione in Cina comporta - allo stato attuale - un raddoppio delle emissioni CO₂ in atmosfera per la produzione e il trasporto verso il luogo di esercizio.

7. Conclusioni

L'adozione dell'analisi del ciclo di vita (LCA) nel settore ferroviario rappresenta oggi una necessità sempre più concreta, spinta da una duplice transizione: da un lato, l'industria è chiamata a dimostrare la sostenibilità dei propri prodotti attraverso indicatori misurabili e confrontabili; dall'altro, la normativa europea sta introducendo strumenti sempre più stringenti per il monitoraggio e la comunicazione delle performance ambientali.

In questo quadro, l'analisi di sensitività geografica assume un ruolo centrale: non si tratta solo di una variazione nei risultati numerici, ma di una riflessione più ampia su quanto le scelte di delocalizzazione produttiva, i mix energetici nazionali e la logistica globale influenzino la sostenibilità ambientale effettiva di un prodotto. Un approccio LCA robusto consente non solo di misurare gli

nario, we obtain the overall picture of the climate footprint represented in Fig. 6.

6. Discussion

The study conducted has shown how it is possible to apply the LCA methodology to Rolling Stock in a structured manner, with a level of technical detail compatible with future requirements for type III environmental declarations (EPDs) and digital product passports. The breakdown of the vehicle into functional groups, the organisation of the life-cycle phases according to upstream-core-downstream logic, and the use of internationally validated open-source software provide a methodological basis that can be replicated in real industrial contexts.

Following the indications of the product category rules (PCR) for Rolling Stock 2009:05, and through the OpenLCA software, the analysis was defined following the cradle-to-grave model using secondary inventory data collected in the ecoinvent v.3.8 library; the impacts were calculated using the EF 3.0 midpoint methodology.

With its 44t unladen mass, the carriage is composed of 75% metallic materials (aluminium, steel, copper, grey cast iron), which guarantee up to 98% recyclability.

The impact was defined through the functional unit of 1 passenger per kilometre (pkm) over a 40-year life horizon, estimating an annual mileage of the carriage in operation of 300000km.

The use phase (Downstream) was found to contribute the most to all impact categories (about 60-80%), except for material consumption. The Core phase, on the other hand, is responsible for about 10-20% of the impact for all categories. The remainder is the responsibility of the Upstream phase.

The effects on the location of the carriage production site were also highlighted, as production in China leads - at present - to a doubling of the CO₂ emissions into the atmosphere for production and transport to the place of operation.

7. Conclusions

The adoption of LCA in the railway sector today represents an increasingly concrete necessity, driven by a two-fold transition: on the one hand, the industry is called upon to demonstrate the sustainability of its products through measurable and comparable indicators; on the other, European legislation is introducing increasingly stringent tools for monitoring and reporting environmental performance.

In this framework, geographical sensitivity analysis assumes a central role: it is not just a variation in numerical

impatti, ma anche di orientare le strategie industriali verso soluzioni più responsabili, in termini di progettazione, approvvigionamento e ciclo operativo. Un passo in avanti nell'analisi si otterrebbe attraverso informazioni più dettagliate sui fornitori di materiali e componenti, andando a rendere più precisi i risultati sia della produzione che della manutenzione. Lo studio descritto nell'articolo si è basato su dati medi relativi al trasporto di componenti industriali a livello internazionale, considerando una possibile distribuzione geografica dei principali fornitori.

Il contesto normativo attuale impone un'accelerazione in questa direzione. Con il Regolamento (UE) 2024/1781 sull'ecodesign dei prodotti sostenibili, e l'introduzione del passaporto digitale del prodotto (Digital Product Passport), le aziende saranno tenute a raccogliere, validare e comunicare in modo strutturato una vasta gamma di informazioni ambientali, energetiche e di circolarità. LCA ed EPD diventeranno non solo strumenti volontari di trasparenza, ma veri e propri requisiti per l'accesso al mercato europeo.

Per il materiale rotabile, ciò significa ripensare i processi di documentazione tecnica, integrare i dati ambientali nel ciclo di progettazione e predisporre modelli aggiornabili e verificabili. La standardizzazione dei metodi, il raccordo tra industria e istituzioni, nonché l'adozione di strumenti digitali interoperabili saranno condizioni fondamentali per affrontare questo passaggio.

In prospettiva, sarà auspicabile:

- estendere l'approccio all'intero sistema treno (carrozze, locomotive, componenti di trazione);
- integrare i modelli LCA con le pratiche aziendali di gestione del ciclo di vita del prodotto (PLM);
- collegare le valutazioni ambientali con le logiche economiche, attraverso analisi costi-benefici e indicatori di impatto per euro investito.

Il presente lavoro, oltre a offrire un contributo tecnico all'applicazione dell'LCA nel settore ferroviario, intende rappresentare anche un primo passo operativo verso l'integrazione strutturata delle metriche ambientali nelle decisioni progettuali, industriali e regolatorie. La sostenibilità, per essere tale, deve essere misurabile, contestualizzata e comunicabile: l'LCA rappresenta oggi lo strumento più solido per realizzare questo obiettivo in un contesto ambientale.

results, but a broader reflection on the extent to which production relocation choices, national energy mixes and global logistics influence the actual environmental sustainability of a product. A robust LCA approach makes it possible not only to measure impacts, but also to steer industrial strategies towards more responsible solutions in terms of design, sourcing and operating cycle. A step forward in the analysis would be achieved through more detailed information on suppliers of materials and components, making both production and maintenance results more accurate. The study described in the article was based on average data on the transport of industrial components internationally, considering a possible geographical distribution of the main suppliers.

The current regulatory environment calls for an acceleration in this direction. With Regulation (EU) 2024/1781 on the eco-design of sustainable products, and the introduction of the Digital Product Passport, companies will be required to collect, validate and communicate a wide range of environmental, energy and circularity information in a structured manner. LCAs and EPDs will become not only voluntary transparency tools, but real requirements for access to the European market.

When it comes to Rolling Stock, this means rethinking the technical documentation processes, integrating environmental data into the design cycle and preparing updatable and verifiable models. The standardisation of methods, the link between industry and institutions, and the adoption of interoperable digital tools will be key conditions for this transition.

Looking ahead, it will be desirable to:

- *extend the approach to the entire Train System (carriages, locomotives, traction components);*
- *integrate LCA models with corporate Product Lifecycle Management (PLM) practices;*
- *link environmental assessments with economic logic, through cost-benefit analyses and impact indicators per euro invested.*

This work, besides offering a technical contribution to the application of LCA in the railway sector, is also intended to represent a first operational step towards the structured integration of environmental metrics in design, industrial and regulatory decisions. Sustainability, to be such, must be measurable, contextualised and communicable: the LCA today represents the most solid tool for achieving this goal in an environmental context..

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] Commissione Europea, "Sustainable and Smart Mobility Strategy" [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52020DC0789>.
- [2] ISO, "ISO 14040:2006 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework" [Online].
- [3] ISO, "ISO 14044:2006 - Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines" [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/38498.html>.
- [4] Parlamento Europeo e Consiglio dell'UE, "Regolamento (UE) 2024/1781 sull'ecodesign per i prodotti sostenibili" [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj/eng>.

- [5] H. STRIPPLE (2010), “Life cycle assessment of railways and rail transports - Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line”, IVL Swedish Environmental Research Institute, Stockholm.
- [6] B. DALLA CHIARA, D. DE FRANCO, N. COVIELLO, D. PASTRONE (2017), “Comparative specific energy consumption between air transport and high-speed rail transport: A practical assessment”, *Transportation Research Part D*, vol. 52, pp. 227-243, 2017.
- [7] H. RITCHIE (2020), “Cars, planes, trains: where do CO2 emissions from transport come from?” 2020. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>.
- [8] P.J. PÉREZ-MARTÍNEZ, I.A. SORBA, “Energy Consumption of Passenger Land Transport Modes”, *Volume 21, Issue 6, Energy & Environment*, <https://doi.org/10.1260/0958-305X.21.6.577>.
- [9] Italo Treno, “Quanto consuma un treno ad alta velocità?” [Online]. Available: <https://blog.italotreno.com/mondo-treno/quanto-consuma-un-treno-ad-alta-velocita/>.
- [10] Travel & Climate, “Transport Calculations - Transport carbon calculator” [Online]. Available: <https://ks3.travelandclimate.org/transport-calculations>.
- [11] NAVIT Mobility, “Carbon Emissions of Transport Modes Ranked” [Online]. Available: <https://www.navit.com/resources/bus-train-car-or-e-scooter-carbon-emissions-of-transport-modes-ranked>.
- [12] N. BUCHHOLZ, B. FEHRM, L. KAESTNER, S. UHRENBACHER, M. VESCO, (2023), “Study: How To Accelerate Aviation’s CO2 Reduction”, 12 June 2023. [Online]. Available: <https://aviationweek.com/air-transport/aircraft-propulsion/study-how-accelerate-aviations-co2-reduction>.
- [13] B. DALLA CHIARA, R. RICAGNO, M. SANTARELLI (2008), “Sostenibilità energetica dei trasporti: analisi dei consumi e della soluzione ferroviaria”, Ingegneria Ferroviaria, 2008.
- [14] Alstom (2015), “Environmental Product Declaration - AZUR Metro Train. International EPD System”, EPD reg. no. S-P-00519 2015. [Online]. Available: <https://www.environdec.com/library/epd519>.
- [15] PRé Sustainability, “SimaPro LCA Software” [Online]. Available: <https://pre-sustainability.com/solutions/tools/sima-pro-craft/>.
- [16] GreenDelta, “openLCA Software Documentation” [Online]. Available: <https://greendelta.github.io/openLCA2-manual/introduction/index.html>.
- [17] G. MAGUIRE (2025), “China cuts electricity emissions to record lows in 2025”, 16 07 2025. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/markets/commodities/china-cuts-electricity-emissions-record-lows-2025-2025-07-16/>.
- [18] C. A. BALARAS, E. G. DASCALAKI, I. PSARRA, T. CHOLEWA, (2022), “Primary Energy Factors for Electricity Production in Europe”, *Energies*, 21 12 2022.
- [19] M. SEXAUER, F. BLEICHER, M. HACKSTEINER, “MSc Thesis - Life cycle assessment of rail vehicle production based on manufacturing at the Siemens Mobility facility: Vienna Leberstraße”, Technische Universität Wien.
- [20] A. CIROTH (2024), “openLCA past, present, future”, GreenDelta GmbH, 15 04 2024. [Online]. Available: https://www.greendelta.com/wp-content/uploads/2024/05/openLCA_how_it_started_final.pdf.
- [21] L. CHEUL-KYUA, K. YONG-KIA, P. PHIRADAA, K. JUNG-SUKA, L. KUN-MOB, J. CHANG-SIKC (2010), “Assessing environmentally friendly recycling methods for composite bodies of railway rolling stock using life-cycle analysis”, *Transportation Research Part D*, Volume 15, Issue 4, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.02.001>.



La nuova frontiera della stabilizzazione dinamica del binario

Plasser StabilizingTrailer combina le prestazioni di una moderna stabilizzatrice dinamica del binario, con masse oscillanti variabili, alla flessibilità e convenienza di un mezzo trainato. Dotato di PLC Plasser PIC2.0, registratore DRP, sistema ARES e Datamatic, offre soluzioni moderne ed affidabili per la gestione dei dati operativi.





STRAIL®

Sistemi di attraversamenti a raso

KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG

Tommaso Savi // mobile +39 392 9 50 38 94 // tommaso.savi@strail.de



STRAIL®



La Cybersecurity nei processi di trasformazione digitale del sistema ferroviario: esigenze attuali e prospettive evolutive

Cybersecurity in railway digital transformation: current needs and future perspectives

Marzia DE BARTOLOMEO^(*)

Antonio DE NICOLA^(**)

Antonio LUGARÀ^(***)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.04.2026.ART.2>)

Sommario - L'articolo esamina in modo multidisciplinare il ruolo fondamentale della sicurezza informatica nella trasformazione digitale del settore ferroviario, un ambito caratterizzato da elevati livelli di complessità tecnica, criticità operative e rilevanza strategica per la mobilità globale. La digitalizzazione sta rivoluzionando il mondo ferroviario in tutti i suoi aspetti, dall'esercizio alle infrastrutture, dai sistemi di controllo alla gestione dei dati, fino ai servizi al cliente, generando opportunità significative, ma anche nuove sfide soprattutto sul fronte della sicurezza informatica. Lo studio evidenzia come l'integrazione di tecnologie quali *Internet of Things*, *cloud computing*, *big data analytics* e automazione influenzi trasversalmente l'operatività ed i processi di digitalizzazione inerenti alle infrastrutture, all'esercizio e ai servizi ferroviari. Si sottolinea inoltre l'importanza di un *framework* globale e multilivello di *cyber defense*, basato su principi di *sicurezza by design* e *by default*, quale requisito imprescindibile per garantire la resilienza e la competitività del sistema ferroviario in un contesto digitale in continua evoluzione.

1. Introduzione

La trasformazione digitale nel settore ferroviario rappresenta una delle sfide e delle opportunità più rilevanti per la mobilità globale contemporanea. L'integrazione delle tecnologie digitali sta ridefinendo processi, servizi, modelli di business e relazioni con i clienti. Le evoluzioni in atto, spinte da esigenze di ottimizzazioni operative e realizzate mediante eterogenee tecnologie di *data analytics*, rappresentano uno dei principali vettori di innovazione e competitività per il trasporto pubblico e merci a livello globale. L'adozione di tecnologie digitali sta progressivamente ridisegnando tutti gli ambiti del mondo ferroviario, dall'esercizio all'in-

Summary - This article examines the fundamental role of cybersecurity in the digital transformation of the railway sector, a domain characterized by high technical complexity, operational criticality, and strategic importance for global mobility, from a multidisciplinary perspective. Digitalization is revolutionizing the railway sector in all its aspects, from operations and infrastructure to control systems, data management, and customer services, generating significant opportunities, but also new challenges particularly on the cybersecurity front. The study highlights how the integration of technologies such as the Internet of Things, cloud computing, big data analytics, and automation significantly influences operational processes and the digital transformation of railway infrastructure, operations, and services. It also emphasizes the importance of a global and multilevel cybersecurity framework, based on security by design and by default principles, as an essential requirement to ensure resilience and competitiveness of the railway system in a continuously evolving digital context.

1. Introduction

Digital transformation in the railway sector represents one of the most relevant challenges and opportunities for contemporary global mobility. The integration of digital technologies is redefining processes, services, business models, and customer relationships. The ongoing evolutions, driven by operational optimization needs and implemented through heterogeneous data analytics technologies, represent one of the main vectors of innovation and competitiveness for public and freight transport globally. The adoption of digital technologies is progressively redesigning all areas of the railway sector, from opera-

^(*) Ingegnere informatico – Ricercatrice indipendente.

^(**) Primo Ricercatore - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Via Anguillarese 301, 00123 Roma, Italia.

^(***) Big Data, Analytics & Rail IoT Subject-Matter-Expert, EMEA - Affiliate Professional presso l'Istituto di Management della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa.

^(*) Computer Engineering – Independent Researcher.

^(**) Senior Researcher - Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Via Anguillarese 301, 00123 Rome, Italy.

^(***) Big Data, Analytics & Rail IoT Subject-Matter-Expert, EMEA - Affiliate Professional at the Management Institute of the Sant'Anna School of Advanced Studies in Pisa.

infrastruttura, dalla gestione degli asset alla relazione con il passeggero. Tali dinamiche risultano essere in costante crescita, si pensi, a titolo esemplificativo ma non esaustivo, al report di mercato *Digital Railway - Global Strategic Business Report* (Research and Markets, 2025) [1] da cui si evince una visione quantitativa e qualitativa della crescita della digitalizzazione ferroviaria a livello globale. Si stima che il mercato raggiungerà i 146,6 miliardi di dollari entro il 2030, con particolare enfasi alla parte di *Cybersecurity*, elemento cruciale per il funzionamento dei sistemi, ed in forte crescita in termini di adozione e spesa. Tale trend trova riscontro anche nella letteratura scientifica internazionale, sempre più attenta a cogliere gli aspetti cruciali di tale trasformazione digitale in ambito ferroviario, anche formulando interessanti spunti di implementazioni tecnologiche a supporto. J. PIERIEGUD [2] individua quattro tecnologie chiave che hanno accelerato la trasformazione digitale: *Internet of Things* (IoT), *Cloud Computing*, *Big Data Analytics*, e *Automazione/robotica*. Il suo rapporto approfondisce come la digitalizzazione stia rivoluzionando tutte le fasi del ciclo ferroviario: dalla progettazione digitale del materiale rotabile, alla gestione predittiva della manutenzione, fino ai sistemi di controllo digitale del traffico e alle piattaforme di *e-ticketing*. PIERIEGUD introduce i concetti di “*Railway 4.0*” e “*Digital Railway*”, sottolineando la convergenza tra mondo fisico e virtuale e l'importanza di sistemi *cyber-fisici*. Viene inoltre evidenziata la necessità di un approccio sistemico che coinvolga operatori, gestori dell'infrastruttura e *stakeholder* pubblici e privati, in linea con le *roadmap* europee (*Shift2Rail*, *UIC Digital Platform*). L'autrice giunge alla conclusione che la digitalizzazione sia un processo trasversale che crei valore aggiunto per tutti gli attori della filiera, ma ponga anche nuove sfide in termini di interoperabilità, sicurezza informatica e aggiornamento delle competenze.

Diversi aspetti indicizzati da PIERIEGUD trovano già riscontro in letteratura attraverso svariate soluzioni tecnologiche a supporto di numerosi ambiti del settore ferroviario, dall'esercizio all'infrastruttura, fino alle analisi dei flussi di passeggeri nei nodi intermodali. Infatti LUGARÀ [3] fornisce alcune linee guida per l'implementazione di una strategia di manutenzione predittiva in ambito ferroviario, enfatizzando elementi di ingegneria ferroviaria, aspetti inerenti all'*Information Technology* ed al *data mining*, e alle implicazioni di business derivanti dall'applicazione di un innovativo *framework* manutentivo. Il contributo riconosce come grazie allo sviluppo verticalmente integrato di sensori intelligenti e connessi, di capacità di calcolo a basso costo, e di soluzioni per *big data* e *analytics*, il trasporto ferroviario stia diventando più puntuale, più efficiente ed in grado di garantire standard di manutenibilità sempre più elevati. Ma la manutenibilità e la riduzione dei rischi ad essa connessa non riguardano solo i rotabili, ma anche le opere civili e le mutue interazioni tra esse ed i veicoli in transito. In tal senso LUGARÀ e BRUCIAFREDDO [4] propongono un *framework* per la manutenzione predittiva dei ponti ferroviari. Gran parte delle opere civili realizzate a partire dalla metà del secolo scorso manifesta oggi un significativo decadimento delle proprietà meccaniche. Tale fenomeno è riconducibile sia all'aggressione degli agenti atmosferici, come i cicli di gelo-disgelo, sia a condizioni di esercizio e carico sensibilmente più gravose rispetto a quelle di progetto. In questo

tions to infrastructure, from asset management to passenger relations. These dynamics are constantly growing, as exemplified by the Digital Railway - Global Strategic Business Report (Research and Markets, 2025) [1], which provides a quantitative and qualitative vision of the growth of railway digitalization globally. It is estimated that the market will reach \$146.6 billion by 2030, with particular emphasis on cybersecurity, a crucial element for system operation, and in strong growth in terms of both adoption and spending. This trend is also reflected in international scientific literature, increasingly focused on addressing the key aspects of this digital transformation in the railway field, also formulating interesting technological implementation insights. J. PIERIEGUD [2] identifies four key technologies that have accelerated digital transformation: Internet of Things (IoT), Cloud Computing, Big Data Analytics, and Automation/robotics. Her report explores how digitalization is revolutionizing all phases of the railway cycle: from digital design of rolling stock, to predictive maintenance management, to digital traffic control systems and e-ticketing platforms. PIERIEGUD introduces the concepts of “Railway 4.0” and “Digital Railway”, emphasizing the convergence between physical and virtual worlds and the importance of cyber-physical systems. The need for a systemic approach involving operators, infrastructure managers and public and private stakeholders is also highlighted, in line with European roadmaps (Shift2Rail, UIC Digital Platform). The author concludes that digitalization is a transversal process that creates added value for all actors in the supply chain, but also poses new challenges in terms of interoperability, cybersecurity and skills updating.

Several aspects indexed by PIERIEGUD already find confirmation in literature through various technological solutions supporting numerous areas of the railway sector, from operations to infrastructure, to passenger flow analysis in intermodal nodes. Indeed, LUGARÀ [3] provides guidelines for implementing a predictive maintenance strategy in railways, emphasizing railway engineering elements, aspects related to Information Technology and data mining, and business implications deriving from the application of an innovative maintenance framework. The contribution recognizes how, thanks to the vertically integrated development of intelligent and connected sensors, low-cost computing capacity, and big data and analytics solutions, railway transport is becoming more punctual, more efficient and capable of ensuring increasingly high maintainability standards. However, maintainability and the associated risk reduction concern not only rolling stock, but also civil works and the mutual interactions between them and vehicles in transit. In this sense, LUGARÀ and BRUCIAFREDDO [4] propose a framework for predictive maintenance of railway bridges. Most of the civil works built starting from the mid-last century today show significant deterioration of mechanical properties. This phenomenon is attributable both to the aggression of atmospheric agents, such as freeze-thaw cycles, and to operating and load conditions significantly more severe than design conditions. In this context, modern data sampling and analysis technologies offer crucial opportunities to automate and streamline main-

contesto, le moderne tecnologie di campionamento e analisi dei dati offrono opportunità cruciali per automatizzare ed efficientare le strategie manutentive. Gli autori pongono all'attenzione del lettore spunti teorici dell'ingegneria strutturale, di quella ferroviaria e dell'*Industrial Internet of Things*, integrandoli vicendevolmente. Tale integrazione mira a ottenere una visione olistica che permetta di riconoscerne la complementarità multidisciplinare nei casi di specie analizzati. Questo approccio consente di sfruttare le nuove tecnologie IoT per automatizzare e semplificare le attività manutentive sui ponti ferroviari e le relative verifiche strutturali complesse e *time-consuming*. Sempre in ambito infrastrutturale, anche le sottostazioni elettriche sono oggetto di implementazione di nuovi paradigmi manutentivi basati su analisi di dati eterogenei, multi sorgente, e generati mediante l'utilizzo di sensori IoT e applicativi di *data mining*. LUGARÀ *et al.* [5] propongono un *framework* di sottostazione elettrica intelligente descrivendo un caso reale che analizza tre sottostazioni elettriche digitali evolute, i cui dati relativi agli asset primari (trasformatori di potenza e interruttori di alta tensione) e secondari, vengono resi disponibili a un sistema SCADA Hitachi (*MicroScadaX*). Grazie alla soluzione Hitachi *Asset Performance Management* (APM), progettata per analizzare tutti questi parametri, vi è l'integrazione sia tra i dati *offline* (storici, relativi alle ispezioni degli operatori, e la reportistica) sia tra quelli *online* di protezione e controllo (sensori interconnessi, *Intelligent Electronic Device* (IED)), mettendo a fattor comune anche parametri *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). La piattaforma consente di correlare fonti di dati esogene ed eterogenee, evitando la creazione di silos informativi. In questo modo contribuisce a valutare il livello di rischio di ciascun asset all'interno di un ambiente *Software-as-a-Service* (SaaS) *cloud-based* facilmente accessibile. L'articolo fornisce riscontri sui miglioramenti in termini di efficacia delle predizioni diagnostiche ottenuti grazie a modelli validati su basi di dati eterogenee e statisticamente rappresentative, fornendo raccomandazioni prescrittive generate sulla base dell'evoluzione dello stato di salute degli asset garantendo miglioramenti anche in termini di efficienza operativa e di performance/rendimenti degli apparati. Ma la digitalizzazione ferroviaria ha interessato anche aspetti inerenti alla simulazione della domanda e, specificatamente, alla distribuzione dei flussi pedonali all'interno di nodi ad alta frequentazione. Infatti, LUGARÀ *et al.* [6] hanno ricostruito all'interno della mensa dello stabilimento produttivo di Hitachi Rail STS a Napoli un modello in scala ridotta di un nodo ad elevata frequentazione. In tale ambiente è stato analizzato, per diversi mesi, il transito di circa 900 persone ogni 12 ore su una superficie di 1100 m², con picchi di 350 persone contemporaneamente presenti nell'area di studio. L'unità immobiliare è stata equipaggiata con sensori Lidar e stereocamere per testare l'accuratezza delle diverse tecnologie, tutte conformi al *General Data Protection Regulation* (GDPR). L'esperimento ha permesso di identificare le lunghezze delle code, le aree ad elevata frequenza di transito e stazionamento, lo stato di occupazione dei tavoli e altri KPI utili a determinare le distribuzioni dei flussi di persone nel tempo e le relative equazioni orarie del moto.

Tale soluzione sperimentale, evoluta mediante apposite *layer* di post processamento dei dati grezzi forniti dai

tenance strategies. The authors bring to the reader's attention theoretical insights from structural engineering, railway engineering and Industrial Internet of Things, integrating them mutually. This integration aims to obtain a holistic vision that allows recognizing their multidisciplinary complementarity in the analyzed cases. This approach allows exploiting new IoT technologies to automate and simplify maintenance activities on railway bridges and the related complex and time-consuming structural verifications.

Also in the infrastructure field, electrical substations are subject to implementation of new maintenance paradigms based on heterogeneous, multi-source data analysis, generated through the use of IoT sensors and data mining applications. LUGARÀ et al. [5] propose an intelligent electrical substation framework describing a real case analyzing three advanced digital electrical substations, whose data related to primary assets (power transformers and high-voltage circuit breakers) and secondary assets are made available to a Hitachi SCADA system (MicroScadaX). Thanks to the Hitachi Asset Performance Management (APM) solution, designed to analyze all these parameters, there is integration both between offline data (historical, related to operator inspections, and reporting) and online protection and control data (interconnected sensors, Intelligent Electronic Devices (IED)), also bringing together Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) parameters. The platform allows correlating exogenous and heterogeneous data sources, avoiding the creation of information silos. In this way it contributes to evaluating the risk level of each asset within a Software-as-a-Service (SaaS) cloud-based environment easily accessible. The article provides evidence of improvements in terms of diagnostic prediction effectiveness obtained thanks to models validated on heterogeneous and statistically representative databases, providing prescriptive recommendations generated based on asset health status evolution, ensuring improvements also in terms of operational efficiency and apparatus performance/yields.

But railway digitalization has also affected aspects related to demand simulation and, specifically, pedestrian flow distribution within high-traffic nodes. Indeed, LUGARÀ et al. [6] reconstructed within the cafeteria of the Hitachi Rail STS production facility in Naples a reduced-scale model of a high-traffic node. In this environment, the transit of approximately 900 people every 12 hours over a surface of 1100 square meters was analyzed for several months, with peaks of 350 people simultaneously present in the study area. The facility was equipped with Lidar sensors and stereo cameras to test the accuracy of different technologies, all compliant with the General Data Protection Regulation (GDPR). The experiment allowed identifying queue lengths, high-frequency transit and stationary areas, table occupancy status and other KPIs useful for determining people flow distributions over time and relative hourly motion equations. This experimental solution, evolved through specific post-processing layers of raw data provided by sensors, would find use also for analyzing commercial areas of large stations, identifying

sensori, troverebbe utilizzo anche per analizzare le aree commerciali delle grandi stazioni, identificando l'interessamento degli utenti (*retail footfall*) ed il relativo *appealing* commerciale degli spazi in locazione mediante un approccio *data-driven*. Un significativo contributo computazionale alla mole di dati generati dalle nuove tecnologie a supporto della trasformazione digitale ferroviaria arriva dal *quantum computing*. De Bartolomeo *et al.* [7] forniscono diversi aspetti inerenti a come tale tecnologia, basata sui principi della meccanica quantistica, stia emergendo come una soluzione avanzata per migliorare l'efficienza operativa, grazie alla capacità di eseguire calcoli paralleli e risolvere problemi NP-hard (*non-deterministic polynomial-time hardness*). Gli autori descrivono come algoritmi quali il *Quantum Annealing* (QA) e il *Quantum Approximate Optimization Algorithm* (QAOA) consentano di ottimizzare processi critici, tra cui la pianificazione oraria e l'allocazione delle risorse. Tali approcci permettono di ridurre drasticamente i tempi di calcolo rispetto ai metodi tradizionali. Viene inoltre posto l'accento sul modello *Quadratic Unconstrained Binary Optimization* (QUBO), considerato un approccio efficace per minimizzare ritardi e costi. Questo modello contribuisce a ottimizzare la gestione operativa complessiva.

Dall'analisi della letteratura emerge che la trasformazione digitale nel settore ferroviario sia schematizzabile su più livelli:

- **Infrastruttura:** l'adozione di sensori *Internet of Things* (IoT), sistemi di monitoraggio in tempo reale e piattaforme *cloud* consente una gestione più efficiente e predittiva dell'infrastruttura ferroviaria, riducendo i guasti e ottimizzando la manutenzione [2][10].
- **Esercizio e Operations:** nell'ambito dell'esercizio ferroviario, l'adozione di sistemi avanzati di comando e controllo della marcia treno, quali *European Rail Traffic Management System* (ERTMS) e *European Train Control System* (ETCS), unitamente alla digitalizzazione dei processi operativi, consente di incrementare capacità, sicurezza e puntualità del servizio [8]. Si precisa tuttavia che le funzioni vitali del segnalamento sono progettate in regime di segregazione funzionale e architetture rispetto ai sistemi IT convenzionali, al fine di garantire i requisiti di sicurezza.
- **Servizi al Cliente:** le piattaforme digitali per l'informazione, la prenotazione e il *ticketing*, insieme a soluzioni mobili e personalizzate, migliorano l'esperienza utente e la soddisfazione del cliente, rendendo il trasporto ferroviario più competitivo rispetto ad altri modi di trasporto [8][9].
- **Gestione dei Dati e Intelligenza Artificiale:** l'utilizzo di *big data analytics* e *Artificial Intelligence* (AI) consente di ottimizzare la pianificazione, la manutenzione e la gestione delle risorse, introducendo pratiche di manutenzione predittiva e decisioni basate sui dati [10].
- **Sfide e Opportunità:** la digitalizzazione comporta anche sfide significative, tra cui la necessità di investimenti, la gestione della *Cybersecurity*, l'interoperabilità tra sistemi e l'adeguamento delle competenze del personale. Tuttavia, rappresenta una leva fondamentale per la so-

user interest (retail footfall) and relative commercial appeal of leased spaces through a data-driven approach.

A significant computational contribution to the amount of data generated by new technologies supporting railway digital transformation comes from quantum computing. DE BARTOLOMEO et al. [7] provide several aspects related to how this technology, based on quantum mechanics principles, is emerging as an advanced solution to improve operational efficiency, thanks to the ability to perform parallel calculations and solve NP-hard (non-deterministic polynomial-time hardness) problems. The authors describe how algorithms such as Quantum Annealing (QA) and Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA) allow optimizing critical processes, including timetable planning and resource allocation. These approaches allow drastically reducing calculation times compared to traditional methods. Emphasis is also placed on the Quadratic Unconstrained Binary Optimization (QUBO) model, considered an effective approach to minimize delays and costs. This model contributes to optimizing overall operational management.

Literature analysis shows that digital transformation in the railway sector can be schematized on multiple levels:

- **Infrastructure:** the adoption of *Internet of Things* (IoT) sensors, real-time monitoring systems and cloud platforms allows more efficient and predictive management of railway infrastructure, reducing failures and optimizing maintenance [2][10].
- **Operations and Control:** in the field of railway operations, the adoption of advanced train movement command and control systems, such as *European Rail Traffic Management System* (ERTMS) and *European Train Control System* (ETCS), together with digitalization of operational processes, enables increased capacity, safety and service punctuality [8]. However, it is specified that vital signaling functions are designed in functional and architectural segregation from conventional IT systems, in order to ensure safety requirements.
- **Customer Services:** digital platforms for information, booking and ticketing, together with mobile and personalized solutions, improve user experience and customer satisfaction, making railway transport more competitive compared to other modes of transport [8][9].
- **Data Management and Artificial Intelligence:** the use of *big data analytics* and *Artificial Intelligence* (AI) allows optimizing planning, maintenance and resource management, introducing predictive maintenance practices and data-based decisions [10].
- **Challenges and Opportunities:** digitalization also involves significant challenges, including the need for investments, cybersecurity management, system interoperability and personnel skills adaptation. However, it represents a fundamental lever for sustainability, efficiency and competitiveness of the railway sector.

Scientific literature highlights how digital transforma-

stenibilità, l'efficienza e la competitività del settore ferroviario.

La letteratura scientifica evidenzia come la trasformazione digitale stia ridefinendo l'intero ecosistema ferroviario, dall'infrastruttura all'esercizio, fino ai servizi al cliente. L'integrazione delle tecnologie digitali rappresenta una leva strategica per affrontare le sfide della mobilità contemporanea, migliorare la qualità dei servizi e promuovere la sostenibilità ambientale. Tuttavia, il successo della trasformazione digitale dipende dalla capacità di adottare un approccio sistemico, investire nelle competenze e garantire la sicurezza informatica e l'interoperabilità delle soluzioni implementate. Infatti, la digitalizzazione espone il settore ferroviario a una superficie di attacco informatico sempre più ampia. L'utilizzo di componenti standard, la connessione tra sistemi critici e di supporto, e la dipendenza da comunicazioni *wireless* con protocolli di cifratura spesso obsoleti, aumentano il rischio di attacchi che possono compromettere la sicurezza, la continuità operativa e la reputazione degli operatori ferroviari [11]. Le sfide principali includono:

- difficoltà nell'aggiornare e applicare *patch* a sistemi critici per motivi di sicurezza operativa;
- vulnerabilità nelle connessioni tra sistemi con diversi livelli di sicurezza;
- utilizzo di tecnologie *wireless* non adeguatamente protette;
- scarsa efficacia delle soluzioni *Information Technology/Operational Technology (IT/OT)* tradizionali in ambienti ferroviari;
- cultura della sicurezza ancora focalizzata più sulla *safety* che sulla *security*.

Tutto ciò posto, risulta improcrastinabile l'ingegnerizzazione e la messa in esercizio di una strategia globale e verticalmente integrata di *rail data life-cycle protection* in cui il dato sensibile venga protetto *by design* e *by default* dalla sua generazione, al trascorrere del tempo e dell'esercizio, fino al suo immagazzinamento nei *layer* di persistenza, analizzando tutte le minacce ed i rischi a cui, potenzialmente, il dato potrebbe essere esposto lungo l'intero flusso informativo. Una gestione globale ed eterogenea della protezione del dato lungo il proprio ciclo di vita ed attraverso tutta la filiera, diventa ormai una necessità ineluttabile al fine di non esporre il fianco ad attacchi informatici dalle conseguenze molto impattanti in termini di continuità operativa, sicurezza, e *brand awareness*.

2. La Cybersecurity come elemento fondante delle moderne architetture IT/IoT

2.1. Introduzione

L'evoluzione dell'*Information Technology (IT)* negli ultimi due decenni ha portato a una profonda trasformazione delle infrastrutture aziendali e dei modelli architetturali. L'introduzione del *cloud computing*, il consolidamento delle architetture *on-premise* e l'avvento di soluzioni *edge* e ibride hanno ridefinito non solo il modo in cui vengono erogati i servizi digitali, ma anche le modalità di protezione degli asset informativi e delle risorse critiche. In questo contesto,

tion is redefining the entire railway ecosystem, from infrastructure to operations, to customer services. The integration of digital technologies represents a strategic lever to address contemporary mobility challenges, improve service quality and promote environmental sustainability. However, the success of digital transformation depends on the ability to adopt a systemic approach, invest in skills and ensure cybersecurity and interoperability of implemented solutions. Indeed, digitalization exposes the railway sector to an increasingly wide cyber attack surface. The use of standard components, connection between critical and support systems, and dependence on wireless communications with often obsolete encryption protocols, increase the risk of attacks that compromise safety, operational continuity and railway operator reputation [11]. The main challenges include:

- *difficulty in updating and applying patches to critical systems for operational safety reasons;*
- *vulnerabilities in connections between systems with different security levels;*
- *use of inadequately protected wireless technologies;*
- *poor effectiveness of traditional Information Technology/Operational Technology (IT/OT) solutions in railway environments;*
- *safety culture still more focused on safety than security.*

Given these considerations, the implementation of a comprehensive rail data life-cycle protection strategy becomes imperative. Such a strategy should ensure that sensitive data are protected by design and by default throughout their entire lifecycle: from their generation, through time and operations, to their storage in persistence layers, while considering all threats and risks to which the data may be exposed along the entire information flow. Comprehensive and integrated management of data protection throughout its life cycle and across the entire supply chain has now become an inevitable necessity in order to avoid exposing the railway ecosystem to cyber attacks with potentially severe consequences in terms of operational continuity, safety, and corporate reputation.

2. Cybersecurity as a founding element of modern IT/IoT architectures

2.1. Introduction

The evolution of Information Technology (IT) over the last two decades has led to a profound transformation of business infrastructures and architectural models. The introduction of cloud computing, consolidation of on-premise architectures and the advent of edge and hybrid solutions have redefined not only how digital services are delivered, but also the ways of protecting information assets and critical resources. In this context, cybersecurity is no longer conceivable as an additional practice, but is configured as fundamental, congenital, and transversal to the entire technological structure.

la *Cybersecurity* non è più concepibile come una pratica aggiuntiva, ma si configura come fondamentale, congenita, e trasversale all'intera struttura tecnologica.

La necessità di adottare modelli flessibili, scalabili e ad alte prestazioni ha condotto molte organizzazioni a migrare parte dei propri servizi verso ambienti *cloud* [12], abilitando così una nuova economia digitale dinamica, ma esponendo nuove superfici ad attacchi informatici. Le soluzioni *on-premise*, pur garantendo un maggiore controllo fisico e logico, risultano spesso meno flessibili e più onerose nel lungo periodo [15][19]. L'approccio ibrido, in cui si combinano risorse locali e *cloud*, rappresenta oggi una delle soluzioni più adottate, in quanto bilancia vantaggi di scalabilità e controllo [16].

In parallelo, l'*edge computing* si è affermato come risposta alle esigenze di tempi di latenza ridotti, disponibilità locale dei dati e automazione dei processi, specialmente in contesti industriali e IoT. Tuttavia, anche un'architettura di *edge computing* comporta criticità significative sul piano della sicurezza, poiché decentralizza le risorse e frammenta il perimetro di protezione [18]. Attraverso il confronto, verranno esplorati i vantaggi, le criticità e le implicazioni di ciascun modello architetturale, con l'obiettivo di mostrare come la sicurezza informatica non debba essere considerata solo un vincolo, bensì un abilitatore strategico per l'adozione consapevole e sicura delle tecnologie emergenti.

2.2. Architetture IT Moderne: Classificazione e Caratteristiche

Nell'ambito della digitalizzazione dei processi e dei servizi, le architetture IT rappresentano il fondamento su cui si costruiscono l'efficienza operativa, la scalabilità, la resilienza e la sicurezza delle organizzazioni. Le principali architetture attualmente adottate si distinguono in *on-premise*, *cloud*, *edge* e ibride. Ognuna di esse presenta vantaggi specifici, ma comporta anche complessità operative e implicazioni di sicurezza che devono essere attentamente valutate.

2.3. Architettura On-Premise

Le architetture *on-premise* prevedono la gestione locale e centralizzata delle risorse *hardware* e *software* nei *data center* dell'organizzazione. Questa configurazione garantisce il massimo controllo su dati, infrastrutture e processi, risultando particolarmente utile in settori ad alta regolamentazione o con esigenze critiche di riservatezza [15][19]. Secondo FISHER [19], la scelta dell'*on-premise* è spesso motivata dalla percezione di maggiore sicurezza fisica e logica, ma comporta investimenti significativi iniziali e costi di manutenzione elevati nel tempo. Inoltre, la scalabilità è limitata dalla capacità delle risorse *hardware* disponibili, richiedendo frequenti aggiornamenti infrastrutturali. L'approccio *on-premise* consente tuttavia di implementare *policy* di *Cybersecurity* personalizzate, basate su un controllo granulare delle superfici di attacco. Questo può risultare determinante in contesti relativi ai servizi essenziali come quelli bancari, ferroviari o sanitari.

The need to adopt flexible, scalable and high-performance models has led many organizations to migrate part of their services to cloud environments [12], thus enabling a new dynamic digital economy, but exposing new surfaces to cyber attacks. On-premise solutions, while guaranteeing greater physical and logical control, are often less flexible and more expensive in the long term [15][19]. The hybrid approach, in which local and cloud resources are combined, today represents one of the most adopted solutions, as it balances scalability and control advantages [16].

In parallel, edge computing has established itself as a response to needs for reduced latency times, local data availability and process automation, especially in industrial and IoT contexts. However, even an edge computing architecture involves significant criticalities in terms of security, as it decentralizes resources and fragments the protection perimeter [18]. Through comparison, the advantages, criticalities and implications of each architectural model will be explored, with the objective of showing how cybersecurity should not be considered only a constraint, but rather a strategic enabler for conscious and secure adoption of emerging technologies.

2.2. Modern IT architectures: classification and characteristics

In the context of process and service digitalization, IT architectures represent the foundation on which organizational operational efficiency, scalability, resilience and security are built. The main architectures currently adopted are distinguished into on-premise, cloud, edge and hybrid. Each of them presents specific advantages, but also involves operational complexities and security implications that must be carefully evaluated.

2.3. On-Premise architecture

On-premise architectures provide local and centralized management of hardware and software resources in the organization's data centers. This configuration guarantees maximum control over data, infrastructure and processes, proving particularly useful in highly regulated sectors or with critical confidentiality needs [15][19]. According to Fisher [19], the choice of on-premise is often motivated by the perception of greater physical and logical security, but involves significant initial investments and high maintenance costs over time. Additionally, scalability is limited by available hardware resource capacity, requiring frequent infrastructure updates. However, the on-premise approach allows implementing personalized cybersecurity policies, based on granular control of attack surfaces. This can be decisive in contexts related to essential services such as banking, railway or healthcare.

On-premise IT architectures are based on physical servers, local networks and applications that are managed and maintained internally by the organization. This model allows

Le architetture IT *on-premise* si basano su server fisici, reti locali e applicazioni che sono gestiti e mantenuti internamente all'organizzazione. Questo modello consente un maggiore controllo sulla sicurezza, ma comporta anche la responsabilità diretta di proteggere le risorse da minacce interne ed esterne. Il *layer* trasversale di *Cybersecurity* in un'architettura IT *on-premise* è responsabile della protezione delle comunicazioni, dei dati e delle risorse fisiche offrendo funzionalità e tecnologie per garantirne la sicurezza.

La Fig. 1 (a) mostra come ogni *layer* dell'architettura IT *on-premise* sia protetto da specifiche misure di sicurezza. La protezione inizia dal *layer* fisico, con misure di accesso sicuro per evitare intrusioni fisiche. La sicurezza della rete è garantita da *firewall* e sistemi di rilevamento/prevenzione delle intrusioni *Intrusion Detection System/Intrusion Prevention System (IDS/IPS)*, che monitorano e bloccano attività sospette. A livello applicativo, l'uso di *Web Application Firewalls (WAF)* e crittografia *Secure Sockets Layer/Transport Layer Security (SSL/TLS)* protegge le applicazioni web da attacchi come l'*injection* (inserimento di dati malevoli in input) e il *cross-site scripting (XSS)*, esecuzione di script dannosi nel browser). La protezione dei dati sensibili è ottenuta tramite crittografia e rigorosi controlli di accesso, mentre il monitoraggio in tempo reale, reso possibile attraverso soluzioni *Security Information and Event Management (SIEM)*, è essenziale per una risposta tempestiva alle minacce.

2.3.1. Il Layer di Cybersecurity: tecnologie e best practices

Il *layer* trasversale di *Cybersecurity* in un'architettura IT *on-premise* deve coprire una vasta gamma di tecnologie e *best practices*. La protezione deve essere implementata in modo stratificato per garantire che ogni aspetto dell'infrastruttura sia sicuro, dai dispositivi di rete ai sistemi operativi, fino alle applicazioni aziendali. Di seguito, vengono esaminati i principali aspetti che compongono il *layer* di *Cybersecurity*.

2.3.2. Protezione della rete

Il *layer* di rete è uno dei punti più critici da proteggere. Le soluzioni di sicurezza come i *firewall*, i sistemi di rilevamento delle intrusioni (IDS) e i sistemi di prevenzione delle intrusioni (IPS) sono essenziali per proteggere la rete interna da attacchi esterni. Le reti aziendali dovrebbero essere segmentate in modo da limitare i danni in caso di compromissione di una sezione della rete.

Inoltre, l'uso di *Virtual Private Network (VPN)* permette di proteggere le comunicazioni tra i dipendenti e i server aziendali, particolarmente importante in scenari di accesso remoto o di lavoro da casa.

2.3.3. Protezione dei dati

La protezione dei dati è un elemento cruciale nelle architetture *on-premise*. I dati devono essere cifrati sia in transito sia a riposo per prevenire accessi non autorizzati. Le soluzioni di *backup* sicuro devono essere implementate per garantire che i dati possano essere recuperati in caso di attacco o disastro.

Inoltre, i controlli di accesso basati su privilegi Privile-

greater control over security, but also involves direct responsibility for protecting resources from internal and external threats. The transversal cybersecurity layer in an on-premise IT architecture is responsible for protecting communications, data and physical resources, offering functionalities and technologies to ensure their security.

Fig. 1 (a) shows how each layer of the on-premise IT architecture is protected by specific security measures. Protection begins from the physical layer, with secure access measures to avoid physical intrusions. Network security is guaranteed by firewalls and Intrusion Detection System/Intrusion Prevention System (IDS/IPS), which monitor and block suspicious activities. At the application level, the use of Web Application Firewalls (WAF) and Secure Sockets Layer/Transport Layer Security (SSL/TLS) encryption protects web applications from attacks such as injection (insertion of malicious data in input) and cross-site scripting (XSS, execution of malicious scripts in the browser). Protection of sensitive data is obtained through encryption and rigorous access controls, while real-time monitoring, made possible through Security Information and Event Management (SIEM) solutions, is essential for timely threat response.

2.3.1. The Cybersecurity Layer: technologies and best practices

The transversal cybersecurity layer in an on-premise IT architecture must cover a wide range of technologies and best practices. Protection must be implemented in a stratified manner to ensure that every aspect of the infrastructure is secure, from network devices to operating systems, to business applications. Below, the main aspects that make up the cybersecurity layer are examined.

2.3.2. Network protection

The network layer is one of the most critical points to protect. Security solutions such as firewalls, intrusion detection systems (IDS) and intrusion prevention systems (IPS) are essential to protect the internal network from external attacks. Corporate networks should be segmented to limit damage in case of compromise of a network section.

Furthermore, the use of Virtual Private Networks (VPN) allows protecting communications between employees and corporate servers, particularly important in remote access or work-from-home scenarios.

2.3.3. Data protection

Data protection is a crucial element in on-premise architectures. Data must be encrypted both in transit and at rest to prevent unauthorized access. Secure backup solutions must be implemented to ensure that data can be recovered in case of attack or disaster.

Additionally, access controls based on Privileged Access Management (PAM) privileges are fundamental to limit access to sensitive data and ensure that only authorized users can modify or view critical information.

ged *Access Management* (PAM) sono fondamentali per limitare l'accesso ai dati sensibili e per garantire che solo gli utenti autorizzati possano modificare o visualizzare informazioni critiche.

2.3.3.1. Protezione delle applicazioni

Le applicazioni aziendali devono essere protette da attacchi informatici come *SQL injection*, *cross-site scripting* (XSS), e *Denial of Service* (DoS). Le soluzioni come i *Web Application Firewall* (WAF) monitorano e proteggono le applicazioni web da queste vulnerabilità.

Inoltre, è fondamentale che le applicazioni siano costantemente aggiornate e corrette tramite *patch* per risolvere le vulnerabilità conosciute. L'automazione della gestione delle *patch* può ridurre i rischi legati a vulnerabilità non risolte.

2.3.3.2. Monitoraggio e gestione degli eventi di sicurezza

Il monitoraggio in tempo reale è essenziale per rilevare e rispondere rapidamente a incidenti di sicurezza. Le soluzioni SIEM raccolgono e analizzano i log di sicurezza provenienti da tutta l'infrastruttura IT, permettendo di rilevare comportamenti anomali e attacchi in corso.

L'analisi dei log consente di identificare le minacce prima che possano causare danni gravi. Il monitoraggio continuo, supportato da sistemi di rilevamento delle anomalie, è un aspetto cruciale per garantire la sicurezza in un ambiente *on-premise*.

2.4. Architettura Cloud

In un'architettura *cloud*, le risorse informatiche sono virtualizzate e ospitate su server gestiti dal *provider* dei servizi. Questi *provider* offrono modelli di servizio come *Infrastructure-as-a-Service* (IaaS), *Platform-as-a-Service* (PaaS) e *Software-as-a-Service* (SaaS), che consentono alle aziende di delegare la gestione dell'infrastruttura IT, ma anche di affidarsi completamente alla sicurezza del *provider* [20].

Tra i vantaggi principali si annoverano:

- riduzione dei costi iniziali e operativi [14];
- scalabilità dinamica [12];
- alta disponibilità e tolleranza ai guasti.

Tuttavia, il *cloud* introduce una perdita di controllo diretto sulle risorse, richiedendo un elevato livello di fiducia nel *provider* e un'attenta valutazione delle misure di sicurezza implementate a livello di accesso, crittografia e isolamento dei dati [13].

Come evidenziato da GITTLEN [15], la scelta tra *cloud* pubblico, privato o ibrido dipende fortemente dalla sensibilità dei dati e dalle *policy* di *compliance* aziendale. Anche se la sicurezza nel *cloud* è spesso paragonabile (se non superiore) a quella *on-premise*, resta essenziale stabilire modelli di responsabilità condivisa tra utente e fornitore.

Come illustrato nella Fig. 1 (b), la protezione di un'architettura *cloud* si articola su vari livelli, con il controllo fisico delle infrastrutture che resta in capo al *provider*. Tuttavia, la protezione delle risorse virtuali e delle comunicazioni re-

2.3.3.1. Application protection

Business applications must be protected from cyber attacks such as SQL injection, cross-site scripting (XSS), and Denial of Service (DoS). Solutions such as Web Application Firewalls (WAF) monitor and protect web applications from these vulnerabilities.

Furthermore, it is essential that applications are constantly updated and corrected through patches to resolve known vulnerabilities. Automation of patch management can reduce risks related to unresolved vulnerabilities.

2.3.3.2. Security event monitoring and management

Real-time monitoring is essential to detect and respond quickly to security incidents. SIEM solutions collect and analyze security logs from the entire IT infrastructure, allowing detection of anomalous behaviors and ongoing attacks.

Log analysis allows identifying threats before they can cause serious damage. Continuous monitoring, supported by anomaly detection systems, is a crucial aspect to ensure security in an on-premise environment.

2.4. Cloud architecture

In a cloud architecture, computing resources are virtualized and hosted on servers managed by the service provider. These providers offer service models such as Infrastructure-as-a-Service (IaaS), Platform-as-a-Service (PaaS) and Software-as-a-Service (SaaS), which allow companies to delegate IT infrastructure management, but also to completely rely on provider security [20].

Among the main advantages are:

- *reduction of initial and operational costs [14];*
- *dynamic scalability [12];*
- *high availability and fault tolerance.*

However, cloud introduces a loss of direct control over resources, requiring a high level of trust in the provider and careful evaluation of security measures implemented at access, encryption and data isolation levels [13].

As highlighted by GITTLEN [15], the choice between public, private or hybrid cloud strongly depends on data sensitivity and corporate compliance policies. Even if cloud security is often comparable (if not superior) to on-premise, it remains essential to establish shared responsibility models between user and supplier.

As illustrated in Fig. 1 (b), the protection of a cloud architecture is articulated on various levels, with physical infrastructure control remaining with the provider. However, protection of virtual resources and communications remains a shared responsibility between provider and customer. Each layer is protected with specific technologies and practices to ensure that resources are safe from threats such as Distributed Denial of Service (DDoS) attacks, unauthorized access and data loss.

sta una responsabilità condivisa tra il *provider* e il cliente. Ogni *layer* è protetto con tecnologie e pratiche specifiche per garantire che le risorse siano al riparo da minacce come attacchi *Distributed Denial of Service* (DDoS), accessi non autorizzati e perdite di dati.

2.4.1. Il Layer Trasversale di Cybersecurity: tecnologie e best practices nel cloud

L'adozione di soluzioni di sicurezza nel *cloud* è un processo continuo che deve essere adattato in base ai modelli di servizio adottati dall'azienda. La protezione dei dati e delle applicazioni richiede una comprensione approfondita delle tecnologie di sicurezza fornite dal *provider* di servizi in *cloud* e delle proprie responsabilità.

2.4.1.1. Protezione della rete

Le reti *cloud* sono vulnerabili a diversi tipi di minacce, come l'intercettazione dei dati e gli attacchi *Man-in-the-Middle* (MitM). Per proteggere le comunicazioni, è fondamentale implementare *Virtual Private Network* (VPN), crittografia TLS/SSL per i dati in transito e segmentazione della rete per ridurre i rischi. Inoltre, i *firewall* di nuova generazione (NGFW) e i sistemi di rilevamento e prevenzione delle intrusioni (IDS/IPS) devono essere utilizzati per monitorare il traffico di rete e rilevare attività sospette. Diversamente, come nel caso MitM, un malintenzionato potrebbe intercettare e alterare indisturbato le comunicazioni tra due parti inconsapevoli, permettendo all'attaccante di spiare, modificare o impersonare una delle parti senza che queste se ne accorgano.

2.4.1.2. Protezione dei dati

La protezione dei dati è un aspetto fondamentale in un ambiente *cloud*, in quanto i dati aziendali possono trovarsi fisicamente lontani dai sistemi interni dell'azienda. Le misure fondamentali per proteggere i dati includono la crittografia sia a riposo sia in transito, in modo che i dati siano illeggibili in caso di intercettazione o accesso non autorizzato. Il *backup* sicuro dei dati deve essere realizzato utilizzando soluzioni di *cloud storage* a elevata disponibilità, con *recovery point objectives* (RPO) e *recovery time objectives* (RTO) ben definiti. Inoltre, l'adozione di soluzioni di gestione delle identità e degli accessi (IAM) è essenziale per proteggere l'accesso ai dati sensibili. L'autenticazione multi-fattore (MFA) deve essere applicata per tutte le interazioni con il sistema.

2.4.1.3. Protezione delle applicazioni

Le applicazioni che vengono eseguite nel *cloud* devono essere protette contro vulnerabilità come *SQL injection*, *cross-site scripting* (XSS) e attacchi di tipo DoS. Le soluzioni di *Web Application Firewall* (WAF) sono utilizzate per proteggere le applicazioni da questi attacchi. Inoltre, la gestione delle *patch* è fondamentale: le applicazioni devono essere aggiornate regolarmente per correggere le vulnerabilità conosciute. Le applicazioni *cloud* devono anche implementare un'adeguata gestione dei diritti di accesso e delle politiche di sicurezza, per evitare che utenti non autorizzati possano accedere a funzionalità sensibili.

2.4.1. The Transversal Cybersecurity Layer: technologies and best practices in cloud

The adoption of cloud security solutions is a continuous process that must be adapted based on service models adopted by the company. Data and application protection requires thorough understanding of security technologies provided by the cloud service provider and one's own responsibilities.

2.4.1.1. Network protection

Cloud networks are vulnerable to various types of threats, such as data interception and Man-in-the-Middle (MitM) attacks. To protect communications, it is essential to implement Virtual Private Networks (VPN), TLS/SSL encryption for data in transit and network segmentation to reduce risks. Additionally, next-generation firewalls (NGFW) and intrusion detection and prevention systems (IDS/IPS) must be used to monitor network traffic and detect suspicious activities. Otherwise, as in the MitM case, a malicious actor could intercept and alter communications between two unsuspecting parties undisturbed, allowing the attacker to spy, modify or impersonate one of the parties without them noticing.

2.4.1.2. Data protection

Data protection is a fundamental aspect in a cloud environment, as corporate data may be physically far from internal company systems. Fundamental measures to protect data include encryption both at rest and in transit, so that data is unreadable in case of interception or unauthorized access. Secure data backup must be implemented using high-availability cloud storage solutions, with well-defined recovery point objectives (RPO) and recovery time objectives (RTO). Additionally, adoption of identity and access management (IAM) solutions is essential to protect access to sensitive data. Multi-factor authentication (MFA) must be applied for all system interactions.

2.4.1.3. Application protection

Applications running in the cloud must be protected against vulnerabilities such as SQL injection, cross-site scripting (XSS) and DoS-type attacks. Web Application Firewall (WAF) solutions are used to protect applications from these attacks. Additionally, patch management is fundamental: applications must be regularly updated to correct known vulnerabilities. Cloud applications must also implement adequate access rights management and security policies, to prevent unauthorized users from accessing sensitive functionalities.

2.4.1.4. Security event monitoring and management

Real-time monitoring is also essential in the cloud to detect ongoing threats and attacks. SIEM solutions are particularly useful for centralizing logs from all cloud resources and identifying anomalous behaviors that could indicate an attack. The use of machine learning techniques and artificial intelligence allows automating threat detection and react-

2.4.1.4. Monitoraggio e gestione degli eventi di sicurezza

Il monitoraggio in tempo reale è essenziale anche nel *cloud* per rilevare minacce e attacchi in corso. Le soluzioni di SIEM sono particolarmente utili per centralizzare i log provenienti da tutte le risorse *cloud* e identificare comportamenti anomali che potrebbero indicare un attacco. L'uso di tecniche di *machine learning* e intelligenza artificiale consente di automatizzare il rilevamento delle minacce e di reagire rapidamente agli incidenti di sicurezza. Inoltre, la gestione degli eventi di sicurezza include l'analisi forense delle attività sospette e la produzione di *audit trail* dettagliati, che possono essere utilizzati per investigare sugli attacchi e prendere azioni correttive.

2.4.1.5. Le sfide della Cybersecurity nelle architetture IT cloud

Le architetture *cloud* pongono sfide uniche in termini di *Cybersecurity*, principalmente dovute alla natura distribuita ed alla condivisione delle risorse tra più utenti o organizzazioni. Una delle sfide principali è, infatti, la gestione della sicurezza in ambienti condivisi, dove più clienti utilizzano la stessa infrastruttura fisica. In questo caso, è fondamentale che i provider di servizi *cloud* implementino soluzioni di isolamento dei dati e *multi tenancy* con accesso rigoroso per evitare che gli ambienti applicativi del cliente X possano essere compromessi dal cliente Y. Un'altra difficoltà riguarda la sicurezza dei dati durante il trasferimento tra i *data center*, specialmente quando i dati attraversano giurisdizioni con normative diverse in termini di *privacy* e protezione dei dati.

2.5. Architettura Edge

Edge computing sposta parte dell'elaborazione dei dati verso il bordo della rete, in prossimità dei dispositivi che generano le informazioni. Questo modello è fondamentale in ambiti come l'*Internet of Things* (IoT), la *smart factory*, e i sistemi ferroviari distribuiti, dove latenza, resilienza e autonomia locale sono requisiti critici [18].

GILL [18] sottolinea come l'*edge* non sostituisca il *cloud*, ma lo completi, creando una gerarchia architeturale in cui i dati possano essere elaborati localmente prima di essere trasmessi verso il *cloud* per analisi più profonde. Tuttavia, la natura distribuita e frammentata dell'*edge* introduce sfide importanti in termini di sicurezza:

- maggior numero di nodi esposti;
- meno supervisione centralizzata;
- maggiore rischio di attacchi fisici e logici.

La protezione dei dispositivi *edge* richiede quindi un approccio "*zero trust*", dove ogni nodo deve essere autenticato e monitorato attivamente, e i dati saranno cifrati sia in transito sia a riposo.

2.5.1. Architetture IT Edge: struttura e sicurezza

Le architetture *edge* sono composte da una rete di dispositivi distribuiti, come sensori, *gateway* e piccoli *data center* locali che collaborano per elaborare e analizzare i dati in "prossimità della fonte". Questo approccio consente di ri-

ing quickly to security incidents. Additionally, security event management includes forensic analysis of suspicious activities and production of detailed audit trails, which can be used to investigate attacks and take corrective actions.

2.4.1.5. Cybersecurity challenges in cloud IT architectures

Cloud architectures pose unique challenges in terms of cybersecurity, mainly due to the distributed nature and resource sharing among multiple users or organizations. One of the main challenges is, in fact, security management in shared environments, where multiple customers use the same physical infrastructure. In this case, it is essential that cloud service providers implement data isolation and multi-tenancy solutions with rigorous access to prevent customer X's application environments from being compromised by customer Y. Another difficulty concerns data security during transfer between data centers, especially when data crosses jurisdictions with different regulations in terms of privacy and data protection.

2.5. Edge architecture

Edge computing moves part of data processing towards the network edge, in proximity to devices that generate information. This model is fundamental in areas such as Internet of Things (IoT), smart factory, and distributed railway systems, where latency, resilience and local autonomy are critical requirements [18].

GILL [18] emphasizes how edge does not replace cloud, but complements it, creating an architectural hierarchy in which data can be processed locally before being transmitted to the cloud for deeper analysis. However, the distributed and fragmented nature of edge introduces important challenges in terms of security:

- greater number of exposed nodes;
- less centralized supervision;
- greater risk of physical and logical attacks.

Protection of edge devices therefore requires a "zero trust" approach, where each node must be authenticated and actively monitored, and data will be encrypted both in transit and at rest.

2.5.1. Edge IT Architectures: structure and security

Edge architectures are composed of a network of distributed devices, such as sensors, gateways and small local data centers that collaborate to process and analyze data "in proximity to the source". This approach allows saving bandwidth and reducing latency, but implies that each device or network node becomes a potential target for cyber attacks [21]. The transversal cybersecurity layer in an edge architecture must protect all distributed resources and ensure that communication between devices occurs securely, preventing unauthorized access and ensuring data confidentiality [21].

As shown in Fig. 1 (c), edge architecture implies mul-

sparmiare larghezza di banda e ridurre la latenza, ma implica che ogni dispositivo o nodo della rete diventi un potenziale obiettivo per attacchi cibernetici [21]. Il *layer* trasversale di *Cybersecurity* in un'architettura *edge* deve proteggere tutte le risorse distribuite e garantire che la comunicazione tra dispositivi avvenga in modo sicuro, impedendo accessi non autorizzati e garantendo la riservatezza dei dati [21].

Come mostrato nella Fig. 1 (c), l'architettura *edge* implica una protezione a più livelli, dal dispositivo fisico alla rete, ai dati e alle applicazioni. Ogni livello richiede misure di sicurezza specifiche per proteggere la rete e i dati da attacchi che potrebbero sfruttare vulnerabilità nei dispositivi o nei canali di comunicazione [22].

2.5.1.1. Il Layer Trasversale di *Cybersecurity*: tecnologie e best practices nell'Edge Computing

L'architettura *edge* presenta sfide uniche rispetto alle tradizionali infrastrutture *on-premise* o *cloud*, soprattutto a causa della natura distribuita e spesso remota dei dispositivi. La protezione di questi dispositivi e dei dati che elaborano richiede un approccio di *Cybersecurity* che integri la sicurezza a livello di dispositivo, rete e applicazione, con un focus particolare sulla protezione delle comunicazioni [2.2].

2.5.1.2. Protezione dei dispositivi

I dispositivi *edge*, essendo spesso vulnerabili e quindi soggetti a manomissioni fisiche, devono essere protetti da attacchi come la sostituzione del *firmware*, il furto di dati e l'accesso non autorizzato. Le tecniche di protezione comprendono l'uso di *chip* di sicurezza per la memorizzazione delle chiavi crittografiche, l'autenticazione forte dei dispositivi e la protezione del *firmware* tramite tecniche di crittografia [21]. Inoltre, è essenziale implementare soluzioni di gestione della sicurezza per i dispositivi, che permettano di eseguire aggiornamenti di sicurezza in modalità remota e sicura [21].

2.5.1.3. Protezione della rete

Nel modello *edge*, le comunicazioni tra i dispositivi distribuiti sono particolarmente vulnerabili agli attacchi. Per garantire che i dati siano protetti durante il trasferimento, è cruciale implementare tecniche di crittografia *end-to-end* e l'uso di *Virtual Private Network* (VPN) per isolare i flussi di dati tra i dispositivi *edge* e il *cloud* o i *data center* locali. I *firewall* e i sistemi di rilevamento delle intrusioni (IDS) sono fondamentali per monitorare e proteggere la rete da accessi non autorizzati e da attività dannose [22].

2.5.1.4. Protezione dei dati

La protezione dei dati è un aspetto cruciale, dato che i dispositivi *edge* possono generare enormi volumi di dati sensibili, che vengono raccolti, elaborati e analizzati a livello locale. Per proteggere questi dati, è fondamentale adottare crittografia sia a riposo che in transito riferibili rispettivamente alla protezione dei dati memorizzati su dispositivi e alla protezione dei dati trasmessi da un punto all'altro. Inoltre, il *backup* sicuro dei dati è essenziale per garantire la loro integrità e disponibilità in caso di guasti o attacchi informatici [21]. Le tecnologie come la *Blockchain* possono

ti-level protection, from physical device to network, data and applications. Each level requires specific security measures to protect the network and data from attacks that could exploit vulnerabilities in devices or communication channels [22].

2.5.1.1. The Transversal Cybersecurity Layer: technologies and best practices in Edge Computing

Edge architecture presents unique challenges compared to traditional on-premise or cloud infrastructures, especially due to the distributed and often remote nature of devices. Protecting these devices and the data they process requires a cybersecurity approach that integrates security at device, network and application levels, with particular focus on communication protection [22].

2.5.1.2. Device protection

Edge devices, being often vulnerable and therefore subject to physical tampering, must be protected from attacks such as firmware replacement, data theft and unauthorized access. Protection techniques include the use of security chips for cryptographic key storage, strong device authentication and firmware protection through encryption techniques [21]. Additionally, it is essential to implement security management solutions for devices, which allow executing security updates remotely and securely [21].

2.5.1.3. Network protection

In the edge model, communications between distributed devices are particularly vulnerable to attacks. To ensure that data is protected during transfer, it is crucial to implement end-to-end encryption techniques and the use of Virtual Private Networks (VPN) to isolate data flows between edge devices and the cloud or local data centers. Firewalls and intrusion detection systems (IDS) are fundamental to monitor and protect the network from unauthorized access and malicious activities [22].

2.5.1.4. Data protection

Data protection is a crucial aspect, given that edge devices can generate enormous volumes of sensitive data, which are collected, processed and analyzed locally. To protect these data, it is essential to adopt encryption both at rest and in transit, referring respectively to the protection of data stored on devices and to the protection of data transmitted from one point to another. Additionally, secure data backup is essential to ensure their integrity and availability in case of failures or cyber attacks [21]. Technologies such as Blockchain can be used to ensure traceability and integrity of data generated on edge devices [22].

2.5.1.5. Application protection

Applications distributed on edge devices must be protected against vulnerabilities such as code injection and attacks that exploit operating system vulnerabilities. Solutions for appli-

essere utilizzate per garantire la tracciabilità e l'integrità dei dati generati sui dispositivi *edge* [22].

2.5.1.5. Protezione delle applicazioni

Le applicazioni distribuite su dispositivi *edge* devono essere protette contro vulnerabilità come l'*injection* di codice e gli attacchi che sfruttano le vulnerabilità del sistema operativo. Le soluzioni per la protezione delle applicazioni includono l'uso di antivirus, il monitoraggio delle anomalie tramite analisi comportamentale e l'applicazione regolare di *patch* di sicurezza per correggere vulnerabilità note [22]. La gestione sicura delle identità e degli accessi (IAM) è un altro aspetto essenziale per garantire che solo utenti e dispositivi autorizzati possano interagire con le applicazioni e i dati sensibili [21].

2.5.1.6. Monitoraggio e gestione degli eventi di sicurezza

Nel contesto *edge*, il monitoraggio e la gestione degli eventi di sicurezza sono fondamentali per rilevare attività sospette in tempo reale. Le soluzioni SIEM e le piattaforme di rilevamento delle intrusioni (IDS) possono essere utilizzate per analizzare i log provenienti dai dispositivi *edge* e identificare comportamenti anomali [21]. Inoltre, le tecniche di *machine learning* e intelligenza artificiale (AI) vengono impiegate per automatizzare il rilevamento delle minacce e rispondere tempestivamente a incidenti di sicurezza [22].

Il monitoraggio continuo consente di ottenere visibilità sulla sicurezza dell'intera rete *edge* e di attivare misure di mitigazione in tempo reale in caso di attacco o vulnerabilità. L'utilizzo di *audit trail* dettagliati permette di tracciare le azioni degli utenti e dei dispositivi e di analizzare gli eventi post-incidente per determinare le cause e le modalità di esecuzione degli attacchi [21].

2.5.1.7. Le sfide della Cybersecurity nelle Architetture IT Edge

Le architetture *edge* presentano diverse sfide in termini di sicurezza, soprattutto a causa della distribuzione dei dispositivi su vasti territori e della loro esposizione a condizioni ambientali difficili. Una delle sfide principali riguarda la gestione della sicurezza su dispositivi che potrebbero essere fisicamente compromessi o impossibili da monitorare costantemente [21]. Inoltre, la gestione dei dispositivi remoti e il coordinamento delle politiche di sicurezza tra i vari nodi della rete *edge* sono attività complesse che richiedono soluzioni scalabili e automatizzate [22].

Un altro problema è la gestione della *privacy* dei dati, soprattutto in ambienti dove i dati vengono trattati a livello locale, senza passare attraverso il *cloud*. Questo implica la necessità di garantire che i dati sensibili siano protetti da accessi non autorizzati e che le normative sulla *privacy*, come il GDPR, vengano rispettate in tutte le fasi del trattamento dei dati [22].

2.6. Architetture ibride

Le architetture ibride rappresentano una combinazione

protection include the use of antivirus, anomaly monitoring through behavioral analysis and regular application of security patches to correct known vulnerabilities [22]. Secure identity and access management (IAM) is another essential aspect to ensure that only authorized users and devices can interact with applications and sensitive data [21].

2.5.1.6. Security event monitoring and management

In the edge context, security event monitoring and management are fundamental to detect suspicious activities in real time. SIEM solutions and intrusion detection platforms (IDS) can be used to analyze logs from edge devices and identify anomalous behaviors [21]. Additionally, machine learning and artificial intelligence (AI) techniques are employed to automate threat detection and respond timely to security incidents [22].

Continuous monitoring allows obtaining visibility on the security of the entire edge network and activating real-time mitigation measures in case of attack or vulnerability. The use of detailed audit trails allows tracking user and device actions and analyzing post-incident events to determine causes and execution methods of attacks [21].

2.5.1.7. Cybersecurity challenges in Edge IT Architectures

Edge architectures present various challenges in terms of security, especially due to device distribution over vast territories and their exposure to difficult environmental conditions. One of the main challenges concerns security management on devices that could be physically compromised or impossible to monitor constantly [21]. Additionally, remote device management and coordination of security policies among various nodes of the edge network are complex activities that require scalable and automated solutions [22].

Another problem is data privacy management, especially in environments where data is processed locally, without passing through the cloud. This implies the need to ensure that sensitive data is protected from unauthorized access and that privacy regulations, such as GDPR, are respected in all data processing phases [22].

2.6. Hybrid architectures

Hybrid architectures represent a strategic combination of on-premise, cloud and edge resources. This configuration is increasingly widespread as it allows optimizing performance, costs and security according to different types of workloads [16]. LEWERKE [16] describes hybrid cloud adoption as a strategic necessity for many modern organizations, as it allows operational flexibility, reduction of vendor lock-in (i.e., dependence on a single service provider and related dominant position) and granular data governance management. However, coexistence of heterogeneous environments implies greater complexity in security management, requiring interoperable solutions and coherent policies among domains. According to HAVIV [17], simultaneous use of cloud, edge and big

strategica di risorse *on-premise*, *cloud* ed *edge*. Questa configurazione è sempre più diffusa poiché consente di ottimizzare prestazioni, costi e sicurezza in funzione delle diverse tipologie di carichi di lavoro [16]. LEWERKE [16] descrive l'adozione del *cloud* ibrido come una necessità strategica per molte organizzazioni moderne, poiché consente flessibilità operativa, riduzione del *vendor lock-in* (ossia la dipendenza da un singolo fornitore di servizi e la relativa posizione dominante) e gestione granulare della *governance* dei dati. Tuttavia, la coesistenza di ambienti eterogenei implica una complessità maggiore nella gestione della sicurezza, richiedendo soluzioni interoperabili e politiche coerenti tra i domini. Secondo HAVIV [17], l'utilizzo contemporaneo di soluzioni *cloud*, *edge* e *big data* impone una revisione continua delle strategie di *Cybersecurity*, poiché il perimetro tradizionale è dissolto, sostituito da un modello a "micro perimetri", spesso intersecanti, dove la protezione dei dati deve essere costantemente garantita ovunque essi siano.

2.6.1. Architettura ibrida: struttura e sicurezza

Un'architettura ibrida è caratterizzata dalla combinazione di ambienti di elaborazione locali (*on-premise*), *cloud* pubblico e risorse *edge*, interconnessi tramite una rete sicura. La gestione della sicurezza in un'architettura ibrida richiede una visibilità continua e il controllo centralizzato su tutte le risorse, poiché i dati possono spostarsi liberamente tra i vari ambienti. La protezione dei dati e delle comunicazioni diventa cruciale per evitare perdite di dati, accessi non autorizzati e attacchi informatici che potrebbero sfruttare le vulnerabilità di uno qualsiasi degli ambienti [19][20].

Come mostrato nella Fig. 1 (d), un'architettura ibrida implica una gestione della sicurezza distribuita su più livelli, con tecnologie di protezione specifiche per ciascun ambiente. Ogni *layer* dell'architettura (*on-premise*, *cloud*, *edge*) deve essere protetto utilizzando le soluzioni di sicurezza più adeguate, ma tutte le risorse dovranno essere monitorate e gestite in modo centralizzato per garantire una difesa globale ed efficace contro le minacce.

2.6.1.1. Il Layer Trasversale di Cybersecurity nelle architetture ibride

L'architettura ibrida richiede un'integrazione coerente delle soluzioni di sicurezza tra i vari ambienti. Ogni ambiente presenta specifiche problematiche di sicurezza, che devono essere gestite con approcci scalabili e flessibili. Nel proseguo si analizzeranno le soluzioni di *Cybersecurity* implementate nei tre ambienti principali (*on-premise*, *cloud*, *edge*) di un'architettura ibrida.

2.6.1.2. Sicurezza della rete e comunicazioni

Un'architettura ibrida implica che le risorse *on-premise*, *cloud* e *edge* siano collegate tramite una rete che deve essere protetta da minacce interne ed esterne. La sicurezza della rete può essere garantita tramite tecnologie di crittografia dei dati, l'uso di VPN per isolare le comunicazioni tra i diversi ambienti e l'applicazione di *firewall* avanzati per monitorare e filtrare il traffico. Le soluzioni di segrega-

data solutions imposes continuous revision of cybersecurity strategies, as the traditional perimeter is dissolved, replaced by a "micro perimeters" model, often intersecting, where data protection must be constantly guaranteed wherever they are.

2.6.1. Hybrid architecture: structure and security

A hybrid architecture is characterized by the combination of local (on-premise) processing environments, public cloud and edge resources, interconnected through a secure network. Security management in a hybrid architecture requires continuous visibility and centralized control over all resources, as data can move freely between various environments. Data and communication protection becomes crucial to avoid data loss, unauthorized access and cyber attacks that could exploit vulnerabilities in any of the environments [19][20].

As shown in Fig. 1 (d), a hybrid architecture implies distributed security management on multiple levels, with specific protection technologies for each environment. Each architecture layer (on-premise, cloud, edge) must be protected using the most appropriate security solutions, but all resources must be monitored and managed centrally to ensure global and effective defense against threats.

2.6.1.1. The Transversal Cybersecurity Layer in hybrid architectures

Hybrid architecture requires coherent integration of security solutions among various environments. Each environment presents specific security issues, which must be managed with scalable and flexible approaches. In the following, cybersecurity solutions implemented in the three main environments (on-premise, cloud, edge) of a hybrid architecture will be analyzed.

2.6.1.2. Network and communications security

A hybrid architecture implies that on-premise, cloud and edge resources are connected through a network that must be protected from internal and external threats. Network security can be guaranteed through data encryption technologies, use of VPNs to isolate communications between different environments and application of advanced firewalls to monitor and filter traffic. Network segregation solutions are fundamental to ensure that each environment's resources are isolated, thus reducing the risk of attack propagation among various layers.

2.6.1.3. Security event monitoring and management

In the context of a hybrid architecture, security activity monitoring and event management (SIEM) are crucial to ensure that all resources, both on-premise and in the cloud or edge, are monitored in real time. Anomaly detection through behavioral analysis and use of advanced monitoring tools allows identifying attacks and security breaches before they can compromise the infrastructure. Threat detection automation technologies, such as artificial intelligence and machine learning, are used to improve speed and effectiveness in security incident response.

zione della rete sono fondamentali per garantire che le risorse di ciascun ambiente siano isolate, riducendo così il rischio di propagazione di attacchi tra i vari layer.

2.6.1.3. Monitoraggio e gestione degli eventi di sicurezza

Nel contesto di un'architettura ibrida, il monitoraggio delle attività di sicurezza e la gestione degli eventi (SIEM) sono cruciali per garantire che tutte le risorse, sia *on-premise* sia nel *cloud* o nell'*edge*, siano monitorate in tempo reale. Il rilevamento delle anomalie attraverso l'analisi comportamentale e l'uso di strumenti di monitoraggio avanzati permette di identificare attacchi e violazioni della sicurezza prima che possano compromettere l'infrastruttura. Le tecnologie di automazione del rilevamento delle minacce, come l'intelligenza artificiale e il *machine learning*, vengono utilizzate per migliorare la velocità e l'efficacia nella risposta agli incidenti di sicurezza.

2.6.1.4. Le sfide della Cybersecurity nelle architetture ibride

Le architetture ibride presentano sfide uniche in termini di sicurezza, principalmente dovute alla complessità nell'integrazione dei vari ambienti. La gestione delle politiche di sicurezza tra *on-premise*, *cloud* ed *edge* è particolarmente difficile, poiché ognuno di questi ambienti può avere requisiti e vulnerabilità specifiche. Inoltre, la gestione della privacy e la conformità alle normative, come il GDPR, sono ulteriormente complicate in un contesto ibrido, dove i dati possono essere trattati su più ambienti, ciascuno con differenti regole di protezione [22][23]. Le minacce emergenti, come gli attacchi *Advanced Persistent Threats* (APT), ovvero intrusioni mirate e prolungate nel tempo da parte di attori spesso sofisticati e le vulnerabilità *zero-day* (falle di sicurezza non ancora conosciute dal fornitore e quindi prive di *patch*), sono un altro motivo di preoccupazione per le architetture ibride, poiché i dispositivi e i sistemi distribuiti possono essere difficili da monitorare in modo centralizzato. La gestione dell'accesso e la protezione da attacchi basati su credenziali compromesse sono quindi prioritarie per ridurre il rischio di attacchi che sfruttano l'accesso illegittimo alle risorse [22].

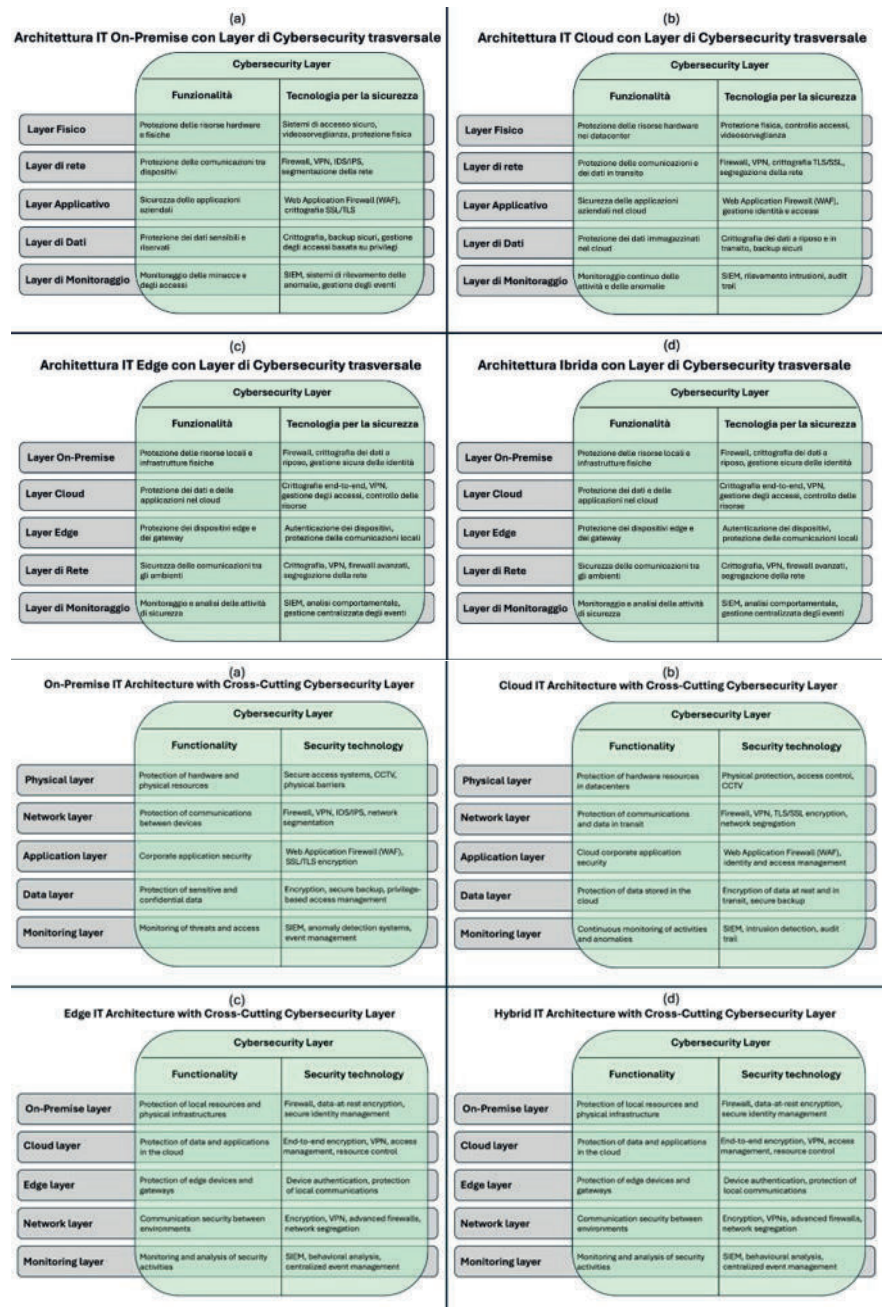


Figura 1 - Confronto tra le architetture. Figure 1 - Architecture Comparison.

2.6.1.4. Cybersecurity challenges in hybrid architectures

Hybrid architectures present unique challenges in terms of security, mainly due to complexity in integrating various environments. Security policy management between on-premise, cloud and edge is particularly difficult, as each of these environments may have specific requirements and vulnerabilities. Additionally, privacy management and regulatory compliance, such as GDPR, are further complicated in a hybrid context, where data may be processed on multiple environments, each with different protection rules [22][23]. Emerging threats, such

2.7. Analisi comparativa delle architetture: prestazioni, costi e flessibilità

La scelta dell'architettura IT più adatta a un'organizzazione dipende da molteplici fattori, tra cui la natura del business, i vincoli normativi, il budget disponibile, la tolleranza ai rischi e le priorità in termini di prestazioni, scalabilità, disponibilità, costi e flessibilità operativa. La presente sezione fornisce un confronto sistematico tra le quattro principali architetture esaminate: *on-premise*, *cloud*, *edge* e *ibride*.

2.7.1. Prestazioni e disponibilità

Le architetture *on-premise* garantiscono generalmente alte prestazioni locali, specialmente in ambienti con infrastrutture dedicate e ben configurate. Tuttavia, esse possono soffrire di problemi di scalabilità, diventando meno reattive nel gestire picchi di carico imprevisti [15].

Il *cloud*, al contrario, si distingue per la sua scalabilità elastica e la disponibilità globale, offrendo prestazioni bilanciate attraverso la distribuzione geografica dei *data center* [12][14]. Tuttavia, le performance possono essere penalizzate dalla latenza di rete in caso di connessioni instabili o carichi intensivi in tempo reale.

Edge computing risponde perfettamente a esigenze di latenza minima, computazione in tempo reale, e resilienza locale, poiché i dati vengono elaborati vicino alla fonte. Questo è particolarmente vantaggioso in contesti di automazione industriale, *smart mobility* o sistemi ferroviari geograficamente distribuiti [18].

Le architetture ibride, infine, consentono di ottimizzare la distribuzione del carico, sfruttando il *cloud* per attività intensive e mantenendo *on-premise* o *on-the-edge* i processi critici per la latenza o la sicurezza [16].

2.7.2. Costi

Le soluzioni *on-premise* comportano elevati costi iniziali di investimento *Capital Expenditures* (CapEx), inclusi *hardware*, licenze *software*, personale IT e manutenzione continua [19]. Tuttavia, nel lungo periodo, possono risultare più economiche per carichi di lavoro stabili e prevedibili.

Il *cloud*, pur abbattendo i costi di *setup*, può diventare oneroso nel tempo, specialmente in modalità SaaS o PaaS con tariffazione a consumo [14]. È fondamentale una strategia di ottimizzazione per evitare sprechi di risorse e contenere i costi operativi *Operating Expenditures* (OpEx) [13].

Edge computing richiede investimenti specifici per i dispositivi intelligenti e le reti locali, ma può ridurre la dipendenza dal *cloud* e abbattere i costi di banda e latenza [18].

L'approccio ibrido si colloca in una fascia intermedia: consente una gestione più flessibile del budget, ma introduce costi di orchestrazione, integrazione e sicurezza più onerosi [16].

2.7.3. Flessibilità e controllo

Dal punto di vista del controllo, l'*on-premise* è ancora

as *Advanced Persistent Threats* (APT) attacks, i.e., targeted and prolonged intrusions over time by often sophisticated actors, and zero-day vulnerabilities (security flaws not yet known by the supplier and therefore without patches), are another concern for hybrid architectures, as distributed devices and systems can be difficult to monitor centrally. Access management and protection from attacks based on compromised credentials are therefore priorities to reduce the risk of attacks that exploit illegitimate access to resources [22].

2.7. Comparative analysis of architectures: performance, costs and flexibility

The choice of the most suitable IT architecture for an organization depends on multiple factors, including business nature, regulatory constraints, available budget, risk tolerance and priorities in terms of performance, scalability, availability, costs and operational flexibility. This section provides a systematic comparison among the four main architectures examined: *on-premise*, *cloud*, *edge* and *hybrid*.

2.7.1. Performance and availability

On-premise architectures generally guarantee high local performance, especially in environments with dedicated and well-configured infrastructures. However, they can suffer from scalability problems, becoming less reactive in managing unexpected load peaks [15].

Cloud, on the contrary, stands out for its elastic scalability and global availability, offering balanced performance through geographic distribution of data centers [12][14]. However, performance can be penalized by network latency in case of unstable connections or intensive real-time loads.

Edge computing perfectly responds to minimum latency needs, real-time computation, and local resilience, as data is processed close to the source. This is particularly advantageous in industrial automation, *smart mobility* or geographically distributed railway system contexts [18].

Hybrid architectures, finally, allow optimizing load distribution, exploiting *cloud* for intensive activities and maintaining *on-premise* or *on-the-edge* critical processes for latency or security [16].

2.7.2. Costs

On-premise solutions involve high initial investment costs *Capital Expenditures* (CapEx), including hardware, software licenses, IT personnel and continuous maintenance [19]. However, in the long term, they can be more economical for stable and predictable workloads.

Cloud, while reducing setup costs, can become expensive over time, especially in SaaS or PaaS mode with consumption-based pricing [14]. An optimization strategy is essential to avoid resource waste and contain *Operating Expenditures* (OpEx) costs [13].

Edge computing requires specific investments for intel-

la soluzione preferita dalle organizzazioni che devono gestire dati sensibili o sottostare a normative severe, grazie alla piena proprietà dell'infrastruttura e alla possibilità di definire *policy* personalizzate [15][19].

Il *cloud* sacrifica in parte il controllo, ma offre la massima flessibilità operativa, consentendo di attivare, ridimensionare o dismettere servizi in tempi ridottissimi [12].

L'*edge* introduce una nuova forma di controllo decentralizzato, favorendo l'autonomia locale ma aumentando la complessità della gestione complessiva del sistema [18].

L'ibrido rappresenta il miglior compromesso, offrendo flessibilità, resilienza e *governance* adattiva, ma richiede una gestione integrata e globale delle *policy* generando maggiori aree oggetto di potenziali attacchi [16][17]. In Tab. 1 si riporta il confronto schematico tra le diverse architetture IT moderne.

2.7.4. Threat Landscape e criticità emergenti

La *Cybersecurity* rappresenta un elemento trasversale e imprescindibile per ogni architettura IT moderna. L'evoluzione dei modelli architetturali ha portato a un'espansione delle superfici di attacco, una maggiore distribuzione dei dati e una complessità crescente nei meccanismi di difesa. Di conseguenza, la sicurezza non può più essere considerata un livello applicativo secondario, bensì una componente architetturale strutturale e congenita, *by design and by default*. Ogni architettura presenta un proprio profilo di rischio e specifiche vulnerabilità. L'on-premise, pur garantendo un maggior controllo diretto, è soggetta a:

- obsolescenza delle tecnologie di difesa;
- gestione centralizzata, che diventa punto singolo di fallimento;
- necessità di competenze interne altamente specializzate.

Secondo FISHER [19], la sicurezza *on-premise* spesso soffre di una mancanza di aggiornamenti tempestivi, diventando vulnerabile ad attacchi noti che avrebbero potuto essere mitigati con *patch* proattive.

Nel *cloud*, la principale criticità riguarda il modello di responsabilità condivisa: mentre il provider è responsabile della sicurezza dell'infrastruttura, l'utente lo è per i dati e le configurazioni. Errori nei permessi, configurazioni errate dei *bucket di storage*, o la mancata cifratura dei dati sono le principali fonti di incidenti [12][14].

L'*edge computing*, invece, moltiplica i punti di esposizione. GILL [18] evidenzia che l'aumento di dispositivi intelligenti, spesso distribuiti in ambienti non protetti fisicamente, richiede l'adozione di:

- meccanismi di autenticazione distribuita;
- crittografia *end-to-end*;
- monitoraggio continuo decentralizzato.

Le architetture ibride, pur rappresentando un equilibrio funzionale, introducono un livello di complessità elevato

intelligent devices and local networks, but can reduce cloud dependence and lower bandwidth and latency costs [18].

The hybrid approach is in an intermediate range: it allows more flexible budget management, but introduces more expensive orchestration, integration and security costs [16].

2.7.3. Flexibility and control

From a control perspective, on-premise is still the preferred solution for organizations that must manage sensitive data or comply with strict regulations, thanks to full infrastructure ownership and possibility to define personalized policies [15][19].

Cloud sacrifices control in part, but offers maximum operational flexibility, allowing activating, resizing or decommissioning services in very short times [12].

Edge introduces a new form of decentralized control, favoring local autonomy but increasing overall system management complexity [18].

Hybrid represents the best compromise, offering flexibility, resilience and adaptive governance, but requires integrated and global policy management, generating larger areas subject to potential attacks [16][17]. Tab. 1 shows the schematic comparison among different modern IT architectures.

2.7.4. Threat Landscape and emerging criticalities

Cybersecurity represents a transversal and essential element for every modern IT architecture. The evolution of architectural models has led to an expansion of attack surfaces, greater data distribution and growing complexity in defense mechanisms. Consequently, security can no longer be considered a secondary application level, but rather a structural and congenital architectural component, by design and by default. Each architecture presents its own risk profile and specific vulnerabilities. On-premise, while guaranteeing greater direct control, is subject to:

- *obsolescence of defense technologies;*
- *centralized management, which becomes a single point of failure;*
- *need for highly specialized internal skills.*

According to FISHER [19], on-premise security often suffers from a lack of timely updates, becoming vulnerable to known attacks that could have been mitigated with proactive patches.

In cloud, the main criticality concerns the shared responsibility model: while the provider is responsible for infrastructure security, the user is responsible for data and configurations. Permission errors, incorrect storage bucket configurations, or failure to encrypt data are the main sources of incidents [12][14].

Edge computing, instead, multiplies exposure points. GILL [18] highlights that the increase in intelligent devices, often distributed in physically unprotected environments, requires adoption of:

nella gestione della sicurezza. La coesistenza di domini eterogenei impone l'adozione di strumenti di orchestrazione della sicurezza, sistemi SIEM centralizzati, e policy coerenti tra ambienti *cloud*, *edge* e locali [16][17].

2.7.5. Approcci di sicurezza nei diversi modelli

La protezione di un'architettura moderna non può più affidarsi al solo perimetro. Occorre adottare modelli *zero-trust*, dove nessuna entità (interna o esterna) è implicitamente affidabile e ogni accesso deve essere autenticato, autorizzato e registrato.

Con riferimento ai principali approcci architetturali alla *Cybersecurity*, risultano doverose alcune considerazio-

- *distributed authentication mechanisms*;
- *end-to-end encryption*;
- *decentralized continuous monitoring*.

Hybrid architectures, while representing a functional balance, introduce a high level of complexity in security management. The coexistence of heterogeneous domains imposes adoption of security orchestration tools, centralized SIEM systems, and coherent policies among cloud, edge and local environments [16][17].

2.7.5. Security approaches in different models

Protection of a modern architecture can no longer rely

Tabella 1 – Table 1

Confronto tra architetture IT moderne
Comparison among modern IT architectures

Parametro Parameter	On-Premise	Cloud	Edge	Ibrida
Prestazioni Performance	Alte, locali, ma non scalabili <i>High, local, but not scalable</i>	Scalabili, ma dipendono dalla rete <i>Scalable, but network-dependent</i>	Latenza minima, ottime in tempo reale <i>Minimum latency, excellent in real-time</i>	Ottimizabili in base al carico <i>Optimizable based on load</i>
Disponibilità Availability	Limitata al sito <i>Limited to site</i>	Alta (ridondanza geografica) <i>High (geographic redundancy)</i>	Locale, resiliente, ma soggetta a guasti <i>Local, resilient, but subject to failures</i>	Alta, con ridondanza multi-dominio <i>High, with multi-domain redundancy</i>
Costi Iniziali Initial Costs	Elevati (CapEx) <i>High (CapEx)</i>	Ridotti <i>Reduced</i>	Variabili, ma spesso contenuti <i>Variable, but often contained</i>	Variabili, gestione complessa <i>Variable, complex management</i>
Costi a lungo termine Long-term Costs	Più stabili, pianificabili <i>More stable, plannable</i>	Potenzialmente elevati (OpEx) <i>Potentially high (OpEx)</i>	Contenuti, ma con manutenzione capillare <i>Contained, but with capillary maintenance</i>	Dipende dalla strategia adottata <i>Depends on adopted strategy</i>
Scalabilità Scalability	Limitata, complessa <i>Limited, complex</i>	Elastica, automatizzata <i>Elastic, automated</i>	Limitata a risorse locali <i>Limited to local resources</i>	Alta, bilanciata tra cloud e locale <i>High, balanced between cloud and local</i>
Flessibilità Flexibility	Bassa <i>Low</i>	Alta <i>High</i>	Media, legata al tipo di deployment <i>Medium, linked to deployment type</i>	Alta, adattabile <i>High, adaptable</i>
Controllo Control	Totale, personalizzabile <i>Total, customizable</i>	Limitato, condiviso con il provider <i>Limited, shared with provider</i>	Distribuito, più difficile da gestire <i>Distributed, more difficult to manage</i>	Equilibrato, ma richiede governance centralizzata <i>Balanced, but requires centralized governance</i>
Cybersecurity	Elevata, personalizzabile <i>High, customizable</i>	Dipende dal provider e dalla strategia scelta <i>Depends on provider and chosen strategy</i>	Critica, richiede architettura zero-trust <i>Critical, requires zero-trust architecture</i>	Elevata ma complessa, richiede governance unificata e integrazione delle policy tra domini <i>High but complex, requires unified governance and policy integration among domains</i>

ni. Nelle architetture *on-premise*, la sicurezza è personalizzabile ma richiede investimenti continui e aggiornamenti regolari [15][19]. Nelle architetture *cloud*, secondo GARTNER [12], l'adozione del *cloud* deve essere sempre accompagnata da un piano di *hardening* e monitoraggio continuo. Nelle architetture *edge* è cruciale implementare modelli decentralizzati di protezione, come micro segmentazione, gestione dei certificati digitali per i dispositivi, e aggiornamenti *firmware* sicuri *over-the-air*. Il rischio fisico, infatti, si somma a quello digitale [18]. Infine, nelle architetture ibride vi è la necessità di implementare una sovrastruttura di sicurezza unificata, con orchestratori centralizzati, *policy* di accesso *cross-domain* e visibilità *end-to-end* delle transazioni. LEWERKE [16] e HAVIV [17] sottolineano l'importanza della *security by design*, integrata fin dalla progettazione architeturale.

L'analisi comparata delle moderne architetture IT – *on-premise*, *cloud*, *edge* e ibride – evidenzia come non esista un modello universalmente superiore, ma piuttosto un ventaglio di opzioni da calibrare in funzione delle esigenze dell'organizzazione, dei vincoli normativi e dei requisiti di sicurezza. La variabilità nelle performance, nei costi, nella scalabilità e nella gestione del rischio impone un'attenta valutazione strategica e architeturale.

Un elemento tuttavia comune e imprescindibile è la presenza del *layer* di *Cybersecurity*, che assume un ruolo trasversale e determinante. Indipendentemente dalla soluzione adottata, la sicurezza informatica deve essere integrata sin dalla fase progettuale, secondo un paradigma di *security by design*, non più reattivo ma proattivo.

Le evidenze tratte dalla letteratura [12][13][14][15][16][17][18][19] confermano che:

- il *cloud* consenta agilità e scalabilità, pur richiedendo strumenti sofisticati di controllo delle configurazioni, dei permessi e dei flussi di dati;
- l'*edge* introduca sfide complesse in termini di attacchi fisici e *software*, imponendo l'adozione di meccanismi di difesa autonomi e decentralizzati;
- le soluzioni ibride si profilino come il modello più bilanciato, ma anche il più critico da un punto di vista della gestione delle superfici di attacco;
- l'*on-premise*, infine, risulti fondamentale per le realtà che gestiscono asset critici o dati altamente sensibili, ma non possa più prescindere da una modernizzazione continua degli strumenti di difesa.

2.7.6. Trend evolutivi e raccomandazioni strategiche

L'ecosistema IT sta attraversando una fase di profonda trasformazione, caratterizzata da una crescente iper distribuzione delle risorse, in cui i tradizionali confini tra *edge*, *cloud* e ambienti *on-premise* si fanno sempre più sfumati. Tra le tendenze emergenti si annoverano il modello *Secure Access Service Edge* (SASE), che integra funzionalità di rete e sicurezza in un servizio distribuito [17], e la *Zero Trust Architecture* (ZTA), la cui adozione trasversale

on perimeter alone. Zero-trust models must be adopted, where no entity (internal or external) is implicitly trustworthy and every access must be authenticated, authorized and recorded.

With reference to main architectural approaches to cybersecurity, some considerations are necessary. In on-premise architectures, security is customizable but requires continuous investments and regular updates [15][19]. In cloud architectures, according to Gartner [12], cloud adoption must always be accompanied by a hardening and continuous monitoring plan. In edge architectures it is crucial to implement decentralized protection models, such as micro segmentation, digital certificate management for devices, and secure over-the-air firmware updates. Physical risk, in fact, adds to digital risk [18]. Finally, in hybrid architectures there is a need to implement a unified security superstructure, with centralized orchestrators, cross-domain access policies and end-to-end transaction visibility. LEWERKE [16] and HAVIV [17] emphasize the importance of security by design, integrated from architectural design.

The comparative analysis of modern IT architectures -- on-premise, cloud, edge and hybrid -- highlights how there is no universally superior model, but rather a range of options to be calibrated according to organizational needs, regulatory constraints and security requirements. Variability in performance, costs, scalability and risk management imposes careful strategic and architectural evaluation.

However, one common and essential element is the presence of the cybersecurity layer, which assumes a transversal and decisive role. Regardless of the adopted solution, cybersecurity must be integrated from the design phase, according to a security by design paradigm, no longer reactive but proactive.

Evidence from literature [12][13][14][15][16][17][18][19] confirms that:

- *cloud allows agility and scalability, while requiring sophisticated tools for configuration, permission and data flow control;*
- *edge introduces complex challenges in terms of physical and software attacks, imposing adoption of autonomous and decentralized defense mechanisms;*
- *hybrid solutions profile as the most balanced model, but also the most critical from an attack surface management perspective;*
- *on-premise, finally, proves fundamental for organizations managing critical assets or highly sensitive data, but can no longer dispense with continuous defense tool modernization.*

2.7.6. Evolutionary trends and strategic recommendations

The IT ecosystem is going through a phase of profound transformation, characterized by growing hyper-distribution of resources, in which traditional boundaries between edge,

nei contesti distribuiti mira all'eliminazione della fiducia implicita [18]. L'impiego di tecniche di intelligenza artificiale per il rilevamento di minacce avanzate (*AI-driven security*) e lo sviluppo del *confidential computing*, volto a garantire la protezione dei dati anche durante il *runtime*, rappresentano ulteriori direttrici evolutive. In tale contesto, al fine di assicurare la resilienza delle infrastrutture e la protezione dei dati, si rendono necessarie specifiche raccomandazioni operative. La valutazione del rischio architetturale deve orientare la selezione dei modelli infrastrutturali, tenendo conto non solo delle prestazioni, ma soprattutto dei profili di rischio e dei vincoli normativi. È inoltre imprescindibile adottare un approccio di *Cybersecurity* integrata e multilivello. Le misure di protezione devono essere estese a tutti gli strati dell'architettura, inclusi dati, identità, accessi, reti e *workload*. La diffusione di politiche di *zero trust* risulta altresì fondamentale per assicurare un controllo continuo e granulare degli accessi e dei comportamenti, anche negli ambienti ibridi e iper distribuiti. A ciò si deve accompagnare un impegno strutturale nella formazione del personale IT e nella promozione di una cultura diffusa della sicurezza tra tutti gli utenti. Inoltre, risulta strategico implementare soluzioni di monitoraggio centralizzato, basate su tecnologie SIEM e *Security Orchestration Automation Response (SOAR)*, per il rilevamento tempestivo e la risposta automatizzata agli incidenti attraverso i diversi domini infrastrutturali. Infine, la *compliance* continua deve essere perseguita mediante l'integrazione di strumenti avanzati per l'audit, il controllo dei log e la verifica dinamica della conformità normativa, garantendo così un presidio costante sulle *policy* di sicurezza.

3. La protezione dei dati ferroviari lungo la catena digitale: dalla generazione alla conservazione

La protezione dei dati nel contesto ferroviario costituisce uno dei fronti più complessi nella *Cybersecurity* delle infrastrutture critiche. La crescente digitalizzazione dei sottosistemi, l'uso massivo di dispositivi IoT distribuiti lungo linea e a bordo treno, e l'integrazione di soluzioni *cloud* ed *edge computing* hanno determinato l'incremento della complessità nel *workflow* di gestione dei dati, che inizia dalla generazione sul campo e termina con l'archiviazione, l'elaborazione e la conservazione all'interno dei *data center* o nei *repository* distribuiti. In questo scenario, eventuali compromissioni in qualunque punto di questo *workflow* possono produrre effetti a cascata, causando interruzioni del servizio, ritardi, perturbazioni nella circolazione o, nei casi più gravi, compromettere la sicurezza operativa dell'intero sistema ferroviario.

L'analisi del rischio associato alla protezione dei dati deve quindi essere affrontata attraverso una visione articolata e multilivello. In particolare, si possono identificare tre macro-ambiti su cui concentrare l'attenzione: i dispositivi sul campo (come i sensori a bordo o lungo la linea), la rete di trasmissione e instradamento dei dati, e infine l'ambiente

cloud and on-premise environments become increasingly blurred. Among emerging trends are the Secure Access Service Edge (SASE) model, which integrates network and security functionalities in a distributed service [17], and Zero Trust Architecture (ZTA), whose transversal adoption in distributed contexts aims at eliminating implicit trust [18]. The use of artificial intelligence techniques for advanced threat detection (AI-driven security) and development of confidential computing, aimed at ensuring data protection even during runtime, represent further evolutionary directions. In this context, to ensure infrastructure resilience and data protection, specific operational recommendations are necessary. Architectural risk assessment must guide infrastructure model selection, considering not only performance, but especially risk profiles and regulatory constraints. It is also essential to adopt an integrated and multilevel cybersecurity approach. Protection measures must be extended to all architecture layers, including data, identities, access, networks and workloads. The spread of zero trust policies is also fundamental to ensure continuous and granular control of access and behaviors, even in hybrid and hyper-distributed environments. This must be accompanied by a structural commitment in IT personnel training and promotion of a widespread security culture among all users. Additionally, it is strategic to implement centralized monitoring solutions, based on SIEM and Security Orchestration Automation Response (SOAR) technologies, for timely detection and automated incident response across different infrastructure domains. Finally, continuous compliance must be pursued through integration of advanced tools for audit, log control and dynamic regulatory compliance verification, thus ensuring constant oversight of security policies.

3. Railway data protection along the digital chain: from generation to storage

Data protection in the railway context constitutes one of the most complex fronts in critical infrastructure cybersecurity. The increasing digitalization of subsystems, massive use of IoT devices distributed along lines and on board trains, and integration of cloud and edge computing solutions have determined increased complexity in data management workflows, which start from field generation and end with archiving, processing, and storage within data centers or distributed repositories. In this scenario, any compromise at any point of this workflow can produce cascade effects, causing service interruptions, delays, traffic disruptions or, in the most serious cases, compromise operational safety of the entire railway system.

Risk analysis associated with data protection must therefore be addressed through an articulated and multilevel vision. In particular, three macro-areas can be identified on which to focus attention: field devices (such as on-board or line-side sensors), data transmission and routing network, and finally the central storage and management environment, i.e., data centers and storage systems.

In the first section of this information workflow, concern-

centrale di archiviazione e gestione, ovvero i *data center* e i sistemi di conservazione.

Nel primo tratto di questo *workflow* informativo, quello riguardante la raccolta sul campo, è essenziale considerare non solo le specificità tecnologiche, ma anche i rischi derivanti dalla distribuzione, dalla varietà dei dispositivi e dalla loro interoperabilità. Il *Train Control Monitoring System* (TCMS), le *Brake Control Unit* (BCU) e i dispositivi *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), ad esempio, inviano dati in formati ben strutturati, tabelle binarie o codifiche su bus come *Multifunction Vehicle Bus* (MVB) e *Controller Area Network open* (CANopen) che riportano stati operativi, errori o parametri numerici. Questi dati, proprio perché formalmente organizzati, sono facilmente interpretabili da sistemi automatici, ma la loro sicurezza dipende dalla robustezza del canale fisico e dal controllo dell'accesso logico [26][27]. Diverso è il caso dei log semi-strutturati, che utilizzano formati come *JavaScript Object Notation* (JSON) o *eXtensible Markup Language* (XML). Più flessibili e adattabili, questi vengono frequentemente utilizzati per tracciare eventi e allarmi in ambienti *edge* o *cloud*. La loro interpretazione però può variare da sistema a sistema, richiedendo l'adozione di *parser* robusti, regole di validazione e *policy* di normalizzazione dei contenuti [28][29]. Infine, i dati non strutturati come flussi video, audio o provenienti da termocamere e grandi moli di dati strutturati generati, ad esempio, da sensori vibrazionali richiedono capacità computazionali avanzate per essere analizzati. Tecnologie come il *machine learning* e il *deep learning* sono impiegate per estrarre *pattern* utili, ad esempio per la rilevazione di anomalie nel moto di puro rotolamento (es. rotolamento con strisciamento o con pattinamento) o per l'analisi di immagini nel caso di videosorveglianza notturna remota [32]. L'interconnessione diffusa di questi dispositivi introduce rischi *cyber* non trascurabili. Alcune minacce, come lo *spoofing* del segnale *Global Navigation Satellite System* (GNSS), possono falsificare la posizione e la velocità del convoglio, con impatti potenzialmente critici [30][31]. Altre vulnerabilità derivano dall'accesso fisico non autorizzato, soprattutto nei dispositivi che espongono interfacce di *debug* come *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter* (UART) o *Joint Test Action Group* (JTAG), qualora queste non siano disabilitate o protette in fase di produzione. Analogamente, l'inserimento di codice malevolo può avvenire attraverso bus locali non cifrati o autenticati, come *Inter-Integrated Circuit* (I2C), *Serial Peripheral Interface* (SPI) o *Recommended Standard 485* (RS-485) specialmente se utilizzati oltre i contesti protetti per cui erano originariamente progettati [27][29]. Per fronteggiare tali rischi, la progettazione della sicurezza nei dispositivi periferici deve partire da un principio di fiducia zero (*Zero Trust*) e prevedere una serie di contromisure combinate. Tra le soluzioni più efficaci vi sono i moduli di autenticazione hardware come *Trusted Platform Module* (TPM) e *Secure Elements* (moduli hardware sicuri per la gestione di chiavi digitali), che consentono di vincolare l'identità del dispositivo all'utilizzo di chiavi crittografiche non esportabili [25][27]. Inoltre, la cifratura *end-to-end* dei dati direttamente a livello *edge* mediante algoritmi avanzati

in field collection, it is essential to consider not only technological specificities, but also risks deriving from distribution, device variety and their interoperability. The Train Control Monitoring System (TCMS), Brake Control Units (BCU) and Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) devices, for example, send data in well-structured formats, binary tables or encodings on buses such as Multifunction Vehicle Bus (MVB) and Controller Area Network open (CANopen) that report operational states, errors or numerical parameters. These data, precisely because formally organized, are easily interpretable by automatic systems, but their security depends on physical channel robustness and logical access control [26][27]. Different is the case of semi-structured logs, which use formats such as JavaScript Object Notation (JSON) or eXtensible Markup Language (XML). More flexible and adaptable, these are frequently used to track events and alarms in edge or cloud environments. However, their interpretation can vary from system to system, requiring adoption of robust parsers, validation rules and content normalization policies [28][29]. Finally, unstructured data such as video, audio streams or from thermal cameras and large volumes of structured data generated, for example, by vibration sensors require advanced computational capabilities to be analyzed. Technologies such as machine learning and deep learning are employed to extract useful patterns, for example for anomaly detection in pure rolling motion (e.g., rolling with sliding or slipping) or for image analysis in remote night video surveillance [32]. The widespread interconnection of these devices introduces non-negligible cyber risks. Some threats, such as Global Navigation Satellite System (GNSS) signal spoofing, can falsify convoy position and speed, with potentially critical impacts [30][31]. Other vulnerabilities derive from unauthorized physical access, especially in devices that expose debug interfaces such as Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART) or Joint Test Action Group (JTAG), if these are not disabled or protected during production. Similarly, malicious code insertion can occur through unencrypted or unauthenticated local buses, such as Inter-Integrated Circuit (I2C), Serial Peripheral Interface (SPI) or Recommended Standard 485 (RS-485) especially if used beyond the protected contexts for which they were originally designed [27][29]. To face such risks, security design in peripheral devices must start from a zero trust principle and provide a series of combined countermeasures. Among the most effective solutions are hardware authentication modules such as Trusted Platform Module (TPM) and Secure Elements (secure hardware modules for digital key management), which allow binding device identity to use of non-exportable cryptographic keys [25][27]. Additionally, end-to-end data encryption directly at edge level through advanced algorithms such as Advanced Encryption Standard 256-bit (AES-256), public key cryptographic algorithm (RSA) or Elliptic Curve Cryptography (ECC) allows ensuring information confidentiality at the moment of generation, before it leaves the local perimeter [25][27]. Adoption of resilient architectures, based on redundant sources and logical validation mechanisms such as majority voting in

come *Advanced Encryption Standard* a 256 bit (AES-256), algoritmo crittografico a chiave pubblica (RSA) o *Elliptic Curve Cryptography* (ECC) permette di garantire la riservatezza dell'informazione già al momento della generazione, prima che essa lasci il perimetro locale [25][27]. L'adozione di architetture resilienti, basate su fonti ridondanti e meccanismi di validazione logica come il *majority voting* nei sistemi *embedded fault-tolerant*, o, nei casi più complessi, la *Byzantine Fault Tolerance* per la coerenza nei sistemi distribuiti, rappresenta infine una strategia essenziale per mantenere l'affidabilità del dato in contesti *safety-critical* [24][26][30].

In tale prospettiva, la Fig. 2 mostra le diverse fasi: dalla generazione (attraverso sensori IoT distribuiti) alla trasmissione (su reti *Long term Evolution for Railways* (LTE-R), *Future Railway Mobile Communication System* (FRMCS) o *Wireless Fidelity/Multi-Protocol Label Switching* (Wi-Fi/MPLS), all'elaborazione *edge*, fino all'archiviazione (*cloud*, *on-premise* o ibrida) e all'analisi/uso per applicazioni come la manutenzione predittiva e il controllo del traffico. Attorno al ciclo centrale, un anello esterno rappresenta i *layer* di *Cybersecurity* trasversali che garantiscono la protezione in ogni fase: *Zero Trust architectures*, cifratura avanzata dei dati in transito, a riposo e in uso, segmentazione logica delle reti, strumenti di monitoraggio e orchestrazione (SIEM/SOAR) e *confidential computing* per la protezione in fase di elaborazione. Questa visione olistica mette in evidenza come la sicurezza del dato ferroviario debba essere garantita *by design* e *by default*, lungo tutta la catena digitale, per assicurare resilienza e continuità operativa dell'infrastruttura.

Un secondo snodo critico nella protezione del dato ferroviario riguarda le reti di trasmissione, ossia i canali attraverso i quali le informazioni si propagano dai nodi periferici verso i sistemi centrali di raccolta, analisi e controllo. In ambito ferroviario tali reti includono architetture basate su tecnologia *Internet Protocol/Multiprotocol Label Switching* (IP/MPLS), reti radio mobili quali *Long Term Evolution for Railways* (LTE-R) e il *Future Railway Mobile Communication System* (FRMCS), destinato a sostituire il *Global System for Mobile Communications* (GSM-R). FRMCS è definito nell'ambito degli standard *mission-critical* del *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) e armonizzato dal settore ferroviario attraverso *Union Internationale des Chemins de fer* (UIC) ed *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI); il sistema è progettato per operare su tecnologie *Long Term Evolution* (LTE) evolute e *5G mission-critical* ed è attualmente oggetto di sperimentazioni e implementazioni pilota in ambito europeo. In ambito locale si adottano inoltre soluzioni *mesh* Wi-Fi, ad esempio nei depositi o nei contesti manutentivi [24][28]. La trasmissione può coinvolgere dati di qualsiasi tipo (strutturati, semi-strutturati o non strutturati) e ciò implica una complessità elevata nella protezione, segmentazione e prioritizzazione del traffico. Tali reti risultano esposte a diverse minacce informatiche, tra cui:

- Intercettazione del traffico, mediante *sniffing* o *tapping* dei flussi di dati.

embedded fault-tolerant systems, or, in more complex cases, Byzantine Fault Tolerance for consistency in distributed systems, finally represents an essential strategy to maintain data reliability in safety-critical contexts [24][26][30].

In this perspective, Fig. 2 shows the different phases: from generation (through distributed IoT sensors) to transmission (on Long Term Evolution for Railways (LTE-R), Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) or Wireless Fidelity/Multi-Protocol Label Switching (Wi-Fi/MPLS) networks), to edge processing, to storage (cloud, on-premise or hybrid) and to analysis/use for applications such as predictive maintenance and traffic control. Around the central cycle, an external ring represents transversal cybersecurity layers that guarantee protection at each phase: Zero Trust architectures, advanced encryption of data in transit, at rest and in use, logical network segmentation, monitoring and orchestration tools (SIEM/SOAR) and confidential computing for protection during processing phase. This holistic vision highlights how railway data security must be guaranteed by design and by default, along the entire digital chain, to ensure infrastructure resilience and operational continuity.

A second critical node in railway data protection concerns transmission networks, i.e., channels through which information propagates from peripheral nodes to central collection, analysis and control systems. In railway context these networks include architectures based on Internet Protocol/Multiprotocol Label Switching (IP/MPLS) technology, mobile radio networks such as Long Term Evolution for Railways (LTE-R) and Future Railway Mobile Communication System (FRMCS), intended to replace Global System for Mobile Communications (GSM-R). FRMCS is defined within mission-critical standards of 3rd Generation Partnership Project (3GPP) and harmonized by railway sector through Union Internationale des Chemins de fer (UIC) and European Telecommunications Standards Institute (ETSI); the system is designed to operate on evolved Long Term Evolution (LTE) technologies and mission-critical 5G and is currently subject to experiments and pilot implementations in European context. Locally, mesh Wi-Fi solutions are also adopted, for example in depots or maintenance contexts [24][28]. Transmission can involve any type of data (structured, semi-structured or unstructured) and this implies high complexity in protection, segmentation and traffic prioritization. These networks are exposed to various cyber threats, including:

- *Traffic interception, through sniffing or data flow tapping.*
- *Man-In-The-Middle (MITM), with possibility of real-time communication alteration.*
- *Hijacking, understood as session, Internet Protocol (IP) addressing or even Border Gateway Protocol/Address Resolution Protocol (BGP/ARP) route diversion.*
- *DoS and Distributed Denial of Service (DDoS), which aim at network saturation and service interruption [29][30].*

To counter these threats, combined measures on mul-

- *Man-In-The-Middle* (MITM), con possibilità di alterazione in tempo reale delle comunicazioni.
- *Hijacking*, inteso come dirottamento di sessioni, indirizzamenti *Internet Protocol* (IP) o persino rotte *Border Gateway Protocol/Address Resolution Protocol* (BGP/ARP).
- DoS e *Distributed Denial of Service* (DDoS), che puntano alla saturazione della rete e all'interruzione del servizio [29][30].

Per contrastare queste minacce, si adottano misure combinate su più livelli. La segmentazione logica, ad esempio tramite *Virtual Local Area Network* (VLAN) o *Virtual Routing and Forwarding* (VRF), consente di isolare i flussi più sensibili e limitare la superficie d'attacco. Sul piano della cifratura, vengono impiegati protocolli robusti come:

- *Transport Layer Security* (TLS) 1.3, a livello di trasporto/sessione, per la protezione dei canali *end-to-end*.
- *Internet Protocol Security* (IPsec), a livello di rete, per la cifratura e l'autenticazione dei pacchetti IP.
- *Media Access Control Security* MACsec, per la cifratura a livello di collegamento (*layer 2*) in ambienti *Ethernet* critici [26][29].

Per garantire l'affidabilità del servizio, è fondamentale l'adozione di meccanismi di *Quality of Service* (QoS), che permettono di assegnare priorità differenziate ai flussi dati. Ciò può avvenire tramite *Differentiated Services Code Point* (DSCP), IEEE 802.1p o *Traffic Engineering* in MPLS, assicurando così il trattamento preferenziale per i dati *mission-critical* (es. segnali SCADA, allarmi di bordo). L'architettura di rete resiliente si avvale anche di nodi *relay* intermedi e infrastrutture di *fog computing*, che consentono l'elaborazione decentralizzata ai margini della rete, riducendo la latenza e mitigando l'impatto in caso di compromissione del *backhaul*. Infine, per una sorveglianza attiva delle comunicazioni, vengono impiegati sistemi di monitoraggio comportamentale basati su tecniche di intelligenza artificiale, come modelli *Long Short-Term Memory* (LSTM), *autoencoder* per *anomaly detection* o *Graph Neural Network* (GNN), in grado di identificare pattern anomali nel traffico di rete e attivare contromisure automatiche in tempo reale [24][28].

L'ultimo tratto della catena informativa è rappresentato dai *repository* centrali e dai data center, nei quali i dati vengono aggregati, elaborati e integrati all'interno dei sistemi di supporto alle decisioni, simulazione, manutenzione predittiva o gestione del traffico ferroviario [24][27][32]. In queste sedi, l'informazione assume un valore strategico ed è custodita all'in-

multiple levels are adopted. Logical segmentation, for example through *Virtual Local Area Network* (VLAN) or *Virtual Routing and Forwarding* (VRF), allows isolating more sensitive flows and limiting attack surface. On the encryption front, robust protocols are employed such as:

- *Transport Layer Security* (TLS) 1.3, at transport/session level, for *end-to-end* channel protection.
- *Internet Protocol Security* (IPsec), at network level, for IP packet encryption and authentication.
- *Media Access Control Security* MACsec, for link level (*layer 2*) encryption in critical *Ethernet* environments [26][29].

To ensure service reliability, adoption of *Quality of Service* (QoS) mechanisms is fundamental, which allow assigning differentiated priorities to data flows. This can occur through *Differentiated Services Code Point* (DSCP), IEEE 802.1p or *Traffic Engineering* in MPLS, thus ensuring preferential treatment for mission-critical data (e.g., SCADA signals, on-board alarms). Resilient network architecture also uses intermediate relay nodes and fog computing infrastructures, which allow decentralized processing at network edges, reducing latency and mitigating impact in case of backhaul compromise. Finally, for active communication surveillance, behavioral monitoring systems are employed based on artificial intelligence techniques, such as *Long Short-Term Memory* (LSTM) models, *autoencoders* for anomaly detection or *Graph Neural Networks* (GNN), capable of identifying anomalous patterns in network traffic and activating automatic countermeasures in real time [24][28].

The last section of the information chain is represented by central repositories and data centers, in which data is

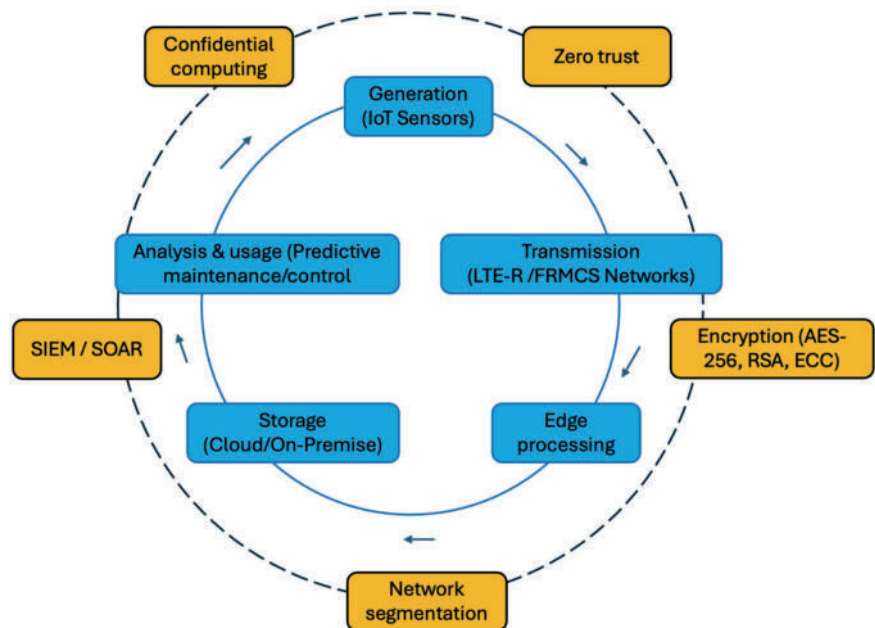


Figura 2 - Rail Data Life-Cycle Protection.
Figure 2 - Rail Data Life-Cycle Protection.

terno di infrastrutture *cloud*, ibride o *on-premise*, ciascuna con differenti implicazioni in termini di controllo, latenza e responsabilità condivisa. Tuttavia, tali ambienti costituiscono bersagli privilegiati per attacchi sofisticati, quali *ransomware*, *escalation* di privilegi, intrusioni persistenti *Advanced Persistent Threats* (APT), o abusi da parte di utenti legittimamente autorizzati (le cosiddette *insider threats*) [27][29][30].

Per mitigare questi rischi, è essenziale l'adozione di controlli di accesso granulari, come *Role-Based Access Control* (RBAC) e *Attribute-Based Access Control* (ABAC), in grado di vincolare l'accesso non solo ai ruoli aziendali ma anche a specifici attributi contestuali (es. posizione, tempo, dispositivo) [25][26][29]. La tracciabilità delle azioni di sistema è garantita mediante *logging* cifrato, archiviato in strutture *append-only*, con firma digitale o basato su tecnologie *blockchain*, così da ottenere *audit trail* resistenti alla manomissione e al non ripudio. Le moderne architetture di *data center* adottano criteri di micro-segmentazione logica, realizzati attraverso policy granulari basate su *Software-Defined Networking* (SDN) o *firewall* distribuiti, così da isolare *workload* sensibili. È inoltre pratica consolidata la segregazione fisica e logica tra ambienti di sviluppo, test e produzione, al fine di evitare contaminazioni incrociate o *escalation* accidentali. Per garantire la continuità operativa, si adottano *backup* immutabili secondo logiche *Write Once Read Many* (WORM) o *snapshot read-only*, abbinati a piani di *disaster recovery* geo-distribuiti, basati su repliche asincrone o sincrone tra regioni geograficamente distanti, così da garantire un rapido *failover* anche in caso di compromissione estesa [26][27]. Un classico esempio è il *tri-data center* con *delta resync*. Infine, la sicurezza viene estesa anche alla fase di elaborazione mediante tecnologie di *confidential computing*, che consentono l'analisi dei dati all'interno di enclave sicure *Trusted Execution Environment* (TEE) come *Software Guard Extensions* (Intel SGX) o *Secure Encrypted Virtualization* (AMD SEV), garantendo che nemmeno l'*hypervisor* o l'amministratore del sistema possano accedere al contenuto in chiaro. L'integrazione con piattaforme SIEM e SOAR consente infine una gestione tempestiva e automatizzata degli incidenti, abilitando un monitoraggio continuo e una risposta coordinata alle minacce [27][30].

3.1. Esempio applicativo: il caso Hitachi Rail e l'architettura lakehouse distribuita su Databricks

Un esempio concreto e industrialmente rilevante di architettura distribuita sicura nel settore ferroviario è rappresentato dalla soluzione implementata da Hitachi Rail in collaborazione con *Databricks*. L'azienda ha adottato un'architettura *lakehouse* per gestire in modo unificato e sicuro l'intero ciclo di vita dei dati, dalla generazione sul campo fino all'analisi centralizzata.

Secondo quanto riportato da *Databricks*, Hitachi Rail raccoglie ed elabora dati provenienti da migliaia di sensori dislocati su treni, sottosistemi di bordo e infrastrutture ferroviarie. Questi dati includono informazioni strutturate (come

aggregated, processed and integrated within decision support systems, simulation, predictive maintenance or railway traffic management [24][27][32]. In these locations, information assumes strategic value and is kept within cloud, hybrid or on-premise infrastructures, each with different implications in terms of control, latency and shared responsibility. However, these environments constitute privileged targets for sophisticated attacks, such as ransomware, privilege escalation, Advanced Persistent Threats (APT) intrusions, or abuse by legitimately authorized users (so-called insider threats) [27][29][30].

To mitigate these risks, adoption of granular access controls is essential, such as Role-Based Access Control (RBAC) and Attribute-Based Access Control (ABAC), capable of binding access not only to corporate roles but also to specific contextual attributes (e.g., location, time, device) [25][26][29]. System action traceability is guaranteed through encrypted logging, stored in append-only structures, with digital signature or based on blockchain technologies, thus obtaining audit trails resistant to tampering and non-repudiation. Modern data center architectures adopt logical micro-segmentation criteria, implemented through granular policies based on Software-Defined Networking (SDN) or distributed firewalls, thus isolating sensitive workloads. It is also established practice to physically and logically segregate development, test and production environments, to avoid cross contamination or accidental escalation. To ensure operational continuity, immutable backups are adopted according to Write Once Read Many (WORM) or read-only snapshot logic, combined with geo-distributed disaster recovery plans, based on asynchronous or synchronous replicas among geographically distant regions, thus ensuring rapid failover even in case of extensive compromise [26][27]. A classic example is tri-data center with delta resync. Finally, security is also extended to processing phase through confidential computing technologies, which allow data analysis within secure enclaves Trusted Execution Environment (TEE) such as Software Guard Extensions (Intel SGX) or Secure Encrypted Virtualization (AMD SEV), ensuring that not even the hypervisor or system administrator can access plaintext content. Integration with SIEM and SOAR platforms finally allows timely and automated incident management, enabling continuous monitoring and coordinated threat response [27][30].

3.1. Application example: The Hitachi Rail case and distributed lakehouse architecture on Databricks

A concrete and industrially relevant example of secure distributed architecture in the railway sector is represented by the solution implemented by Hitachi Rail in collaboration with *Databricks*. The company has adopted a lakehouse architecture to manage in a unified and secure way the entire data life cycle, from field generation to centralized analysis.

metriche operative), semi-strutturate (ad esempio *log in* formato JSON) e non strutturate (come immagini e video), e vengono utilizzati per migliorare le prestazioni operative, l'affidabilità e la sicurezza del servizio ferroviario [32].

La piattaforma *Databricks* consente a Hitachi Rail di:

- unificare silos di dati provenienti da più fonti in una sola base di analisi coerente;
- eseguire analisi predittive avanzate per ottimizzare la manutenzione e ridurre i tempi di fermo;
- implementare controlli granulari sugli accessi ai dati;
- applicare cifratura in transito e a riposo;
- automatizzare l'orchestrazione dei processi analitici e il monitoraggio degli eventi.

Dal punto di vista architetturale, la soluzione si articola in diversi livelli distribuiti: un primo livello *edge* per la raccolta e la pre-elaborazione locale dei dati, un livello intermedio di trasporto protetto attraverso *pipeline* cifrate e segmentate, e infine un livello centrale (*cloud*) in cui i dati vengono conservati e analizzati secondo i principi della *security by design*. Il tutto è integrato in una struttura ibrida coerente con i modelli IT/OT descritti nei framework internazionali di riferimento, come l'IEC 62443 e il NIST SP 800-82 [26][27][32].

Questo caso evidenzia come l'adozione di tecnologie scalabili e resilienti possa rispondere in modo efficace alle esigenze di un ecosistema ferroviario moderno, caratterizzato da distribuzione geografica, eterogeneità dei dati e requisiti stringenti in termini di continuità operativa e sicurezza informatica.

4. Conclusioni

L'evoluzione architetturale delle infrastrutture IT nel settore ferroviario, dalla centralizzazione *on-premise*, passando per le soluzioni *cloud* ed *edge*, fino ai modelli ibridi, ha profondamente ridefinito il paradigma della sicurezza informatica, rendendo la *Cybersecurity* non più un complemento tecnico, bensì un elemento costitutivo e strategico dell'intera filiera digitale. Le specificità del dominio ferroviario, caratterizzato da vincoli di *safety*, continuità operativa e interoperabilità, impongono un approccio multilivello e dinamico alla protezione delle informazioni, delle reti e dei dispositivi.

In tale contesto, è emersa con forza la necessità di integrare la sicurezza informatica sin dalla fase progettuale, secondo il principio di *security by design*, estendendo le contromisure a tutti i *layer*: fisico, di rete, applicativo e dati. Le tecnologie avanzate, tra cui *Zero Trust Architecture*, crittografia *end-to-end*, SIEM, SOAR e *confidential computing*, si configurano oggi come abilitatori fondamentali per un presidio efficace e continuo contro minacce sempre più sofisticate e pervasive.

La protezione del dato ferroviario richiede un approccio sistemico e multilivello. La complessità e l'eterogeneità dei

According to what reported by Databricks, Hitachi Rail collects and processes data from thousands of sensors located on trains, on-board subsystems and railway infrastructures. These data include structured information (such as operational metrics), semi-structured (for example logs in JSON format) and unstructured (such as images and videos), and are used to improve operational performance, reliability and railway service safety [32].

The Databricks platform allows Hitachi Rail to:

- *unify data silos from multiple sources into a single coherent analysis base;*
- *perform advanced predictive analytics to optimize maintenance and reduce downtime;*
- *implement granular controls on data access;*
- *apply encryption in transit and at rest;*
- *automate analytical process orchestration and event monitoring.*

From an architectural perspective, the solution is articulated in several distributed levels: a first edge level for local data collection and pre-processing, an intermediate level of protected transport through encrypted and segmented pipelines, and finally a central (cloud) level in which data is stored and analyzed according to security by design principles. Everything is integrated in a hybrid structure coherent with IT/OT models described in international reference frameworks, such as IEC 62443 and NIST SP 800-82 [26][27][32].

This case highlights how adoption of scalable and resilient technologies can effectively respond to needs of a modern railway ecosystem, characterized by geographic distribution, data heterogeneity and stringent requirements in terms of operational continuity and cybersecurity.

4. Conclusions

The architectural evolution of IT infrastructures in the railway sector, from on-premise centralization, through cloud and edge solutions, to hybrid models, has profoundly redefined the cybersecurity paradigm, making cybersecurity no longer a technical complement, but a constitutive and strategic element of the entire digital supply chain. The specificities of the railway domain, characterized by safety constraints, operational continuity and interoperability, impose a multilevel and dynamic approach to information, network and device protection.

In this context, the need has strongly emerged to integrate cybersecurity from the design phase, according to the security by design principle, extending countermeasures to all layers: physical, network, application and data. Advanced technologies, including Zero Trust Architecture, end-to-end encryption, SIEM, SOAR and confidential computing, are configured today as fundamental enablers for effective and continuous oversight against increasingly sophisticated and pervasive threats.

formati (strutturati, semi-strutturati e non strutturati) richiedono *policy* robuste di autenticazione, validazione, segmentazione del traffico, cifratura multilivello e sorveglianza comportamentale basata su intelligenza artificiale. Come mostrato nel caso Hitachi Rail – Databricks, l'adozione di architetture *lakehouse* e sistemi avanzati di *data governance* rappresenta un *benchmark* industriale per la gestione sicura ed efficiente del patrimonio informativo ferroviario.

Alla luce delle evidenze raccolte, si rende necessario un cambiamento culturale e organizzativo che accompagni l'innovazione tecnologica: la formazione continua del personale, l'adozione di *policy* di *Cybersecurity* integrate, e l'attenzione alla *compliance* normativa (es. GDPR, NIS2) sono le chiavi per costruire un ecosistema ferroviario digitale, resiliente e sicuro. La trasformazione digitale non può prescindere da un rafforzamento della postura *cyber* dell'intero settore, pena l'esposizione a minacce sistemiche in grado di compromettere la sicurezza dei trasporti e la fiducia degli utenti.

Railway data protection requires a systemic and multi-level approach. The complexity and heterogeneity of formats (structured, semi-structured and unstructured) require robust policies for authentication, validation, traffic segmentation, multilevel encryption and behavioral surveillance based on artificial intelligence. As shown in the Hitachi Rail -- Databricks case, adoption of lakehouse architectures and advanced data governance systems represents an industrial benchmark for secure and efficient management of railway information assets.

In light of collected evidence, a cultural and organizational change is necessary to accompany technological innovation: continuous personnel training, adoption of integrated cybersecurity policies, and attention to regulatory compliance (e.g., GDPR, NIS2) are keys to building a digital, resilient and secure railway ecosystem. Digital transformation cannot dispense with strengthening the entire sector's cyber posture, under penalty of exposure to systemic threats capable of compromising transport safety and user trust.

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] Digital Railway - Global Strategic Business Report (Research and Markets, 2025).
- [2] J. PIERIEGUD (2018), *“Digital Transformation of Railways”*. (ISBN 978-83-950826-0-3).
- [3] A. LUGARÀ (2018), *“La manutenzione predittiva ferroviaria ed il ruolo abilitante dell’“Internet of Things” - The railway predictive maintenance and the enabling role of the “Internet of Things”*”, Ingegneria Ferroviaria, Maggio 2018.
- [4] A. LUGARÀ, D. BRUCIAFREDDO (2019), *“La manutenzione predittiva dei ponti ferroviari attraverso un framework basato sull’Internet of Things. Una proposta di implementazione” – “The predictive maintenance of railway bridges through an Internet of Things framework. An implementation proposal”*, Ingegneria Ferroviaria, Ottobre 2019.
- [5] A. LUGARÀ, A. PEDRETTI, S. SURYABANSHI, J. DEPREZ, R. MATEINI, L. URZEDO, M. BARROS (2024), *“The journey of digitalization: how Smart Digital Substations can drive the Industrial Internet of Things revolution”*. The International Council on Large Electric Systems (CIGRE), 30 Agosto 2024.
- [6] A. LUGARÀ, A. VITRANO, N. MAZZOCCA, P. SANNINO (2025), *“Approaches and technologies for analyzing people’s flows in busy transportation nodes using IoT and AI”*, Ingegneria Ferroviaria, Ottobre 2025.
- [7] M. DE BARTOLOMEO, G. CAVALLERI, A. DE NICOLA (2025), *“Quantum computing nel settore ferroviario - Quantum computing in the railway sector”*, Ingegneria ferroviaria, Febbraio 2025.
- [8] A. SCORDAMAGLIA (2019), *“Digitalisation in railway transport. A lever to improve rail competitiveness”*. EPRS | European Parliamentary Research Service.
- [9] B. ARNAUDOV (2022), *“Digitalization in railway transport as a factor for improving the quality of the offered railway service”*.
- [10] P. LI *et al.*, *“Current state and predicted technological trends in global railway intelligent digital transformation”*. China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing, China.
- [11] RAD Data Communication (2024), <https://www.rad.com/wp-content/uploads/2025/01/Communication-for-Trains-and-Railways.pdf>.
- [12] A. DROBIK, M. MAOZ (2017), *“Adapting Your IT Strategy for a Cloud-Dominated Business Application Environment”*. Gartner.
- [13] V. CHOUDHARY (2017), *“Software as a Service: Implications for Investment in Software Development”*. The Paul Merage School of Business, University of California.
- [14] R. DESISTO., R. PAQUET (2007), *“Learn the Economic Advantages of a Pure SaaS Vendor”*. Gartner.
- [15] S. GITTLEN (2017), *“Cloud vs. On-Premises: Finding the Right Balance”*. Computerworld.

- [16] D. LEWERKE (2017), “*Adopting Hybrid Cloud Becomes a Strategic Imperative*”. Harvard Analytic Services, Hybrid Cloud Consulting Practice Insight. Harvard Business Review.
- [17] Y. HAVIV (2018), “*Can Cloud, Big Data and AI Stand More Turmoil?*” Infoworld.
- [18] R. GILL (2018), “*How Edge Computing Completes Cloud*”. Gartner.
- [19] R. FISHER (2018). *Cybersecurity Challenges in the Age of Cloud Computing*. Journal of Information Security, 9, 137–152. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=87661>.
- [20] IBM. https://www.ibm.com/cloud-security?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=CLOUD%20SECURITY.
- [21] Varghese, B., Wang, N. (2016). Challenges and Opportunities in Edge Computing. IEEE International Conference on Smart Cloud.
- [22] Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., Xu, L. (2016). Edge Computing: Vision and Challenges. IEEE Internet of Things Journal, 3(5), 637–646.
- [23] NIST. (2018). Framework for Improving Critical Infrastructure *Cybersecurity* (Version 1.1).
- [24] ENISA – European Union Agency for Cybersecurity. *Railway Cybersecurity – Good Practices in Cyber Risk Management*, 2020.
- [25] ISO/IEC 27001:2022 – *Information security, Cybersecurity and privacy protection – Information security management systems – Requirements*.
- [26] IEC 62443 – *Industrial communication networks – Network and system security*, vari volumi.
- [27] NIST SP 800-82 Rev. 2 – *Guide to Industrial Control Systems Security*, 2015.
- [28] ENISA – *Railway Cybersecurity*, 2021.
- [29] CISA – *Best Practices for Securing Industrial Control Systems (ICS)*, 2021.
- [30] MITRE – *ATT&CK for ICS Matrix*, 2023.
- [31] MITRE Corporation, *MITRE ATT&CK for ICS*, <https://attack.mitre.org/matrices/ics/>.
- [32] Databricks. *Customer Success: Hitachi Rail*. <https://www.databricks.com/customers/hitachi>. *Customer Success: Hitachi Rail*. <https://www.databricks.com/customers/hitachi>.

Notizie dall'interno

Massimiliano BRUNER

TRASPORTI SU ROTAIA

Lazio-Toscana: completata l'attivazione dell'ERTMS sulla Direttissima Roma-Firenze

Un ulteriore fondamentale passo avanti per l'innovazione del sistema ferroviario italiano: sulla linea Alta Velocità Roma-Firenze è stato attivato il terzo e ultimo tratto dotato di tecnologia ERTMS (*European Railway Traffic Management System*), il più evoluto sistema europeo per la supervisione e il controllo del distanziamento dei treni, in grado di garantire livelli sempre più elevati di sicurezza, regolarità ed efficienza del traffico ferroviario (Fig. 1).

FS Engineering, insieme a Rete Ferroviaria Italiana, ha completato l'installazione dell'ERTMS nel tratto compreso tra Orvieto Sud e Settebagni, per una lunghezza complessiva di 88 km.

Con questo intervento si conclude il programma di upgrade tecnologico della "Direttissima", avviato nel maggio 2017 e articolato in tre fasi successive: fase A attivata nel dicembre 2020 relativa al tratto Rovazzano-Arezzo Sud, fase B attivata nel dicembre 2022 che ha interessato il tratto Arezzo Sud-Orvieto Sud (85 km) e fase C, oggetto dell'attivazione odierna, che interessa l'ultimo tratto, da Orvieto Sud a Settebagni e che completa l'adeguamento tecnologico dell'intera linea.

Le attività di attivazione si sono svolte in una estesa finestra operativa, dalle ore 23:00 di venerdì 10 aprile alle ore 15:00 di domenica 12 aprile, coinvolgendo complessivamente circa 300 persone tra personale del Gruppo FS Italiane e imprese appaltatrici. Di queste, circa 250 hanno

operato direttamente lungo la linea e presso il Posto Centrale, mentre circa 50 hanno fornito supporto da remoto, garantendo il presidio continuo di tutte le fasi operative. L'investimento complessivo per l'intervento è pari a circa 150 milioni di euro, finanziati con fondi PNRR.

Con il completamento delle attività, i circa 240 km della Direttissima Roma-Firenze si aggiungono agli oltre 700 km di linee AV già attrezzate con tecnologia ERTMS, un sistema europeo che consente, oltre a una gestione più efficiente della circolazione, anche il raggiungimento dell'interoperabilità tra le reti nazionali.

L'obiettivo del Piano Accelerato ERTMS attuato da RFI è quello di estendere l'adozione del sistema all'intera rete nazionale, per un totale di circa 16.000 km, entro il 2042. Un traguardo reso possibile anche grazie alla pubblicazione di due bandi europei, inclusi nelle attività finanziate dal PNRR, finalizzati al raggiungimento dei target di 2.785 km di rete equipaggiati con il sistema ERTMS entro il mese di giugno 2026.



(Fonte: FS Engineering)

Figura 1 – La Sala Controllo della AV Roma-Firenze.

Il completamento dell'intervento rappresenta pertanto un traguardo strategico per FS Engineering, che ha guidato le attività di progettazione, direzione lavori e project management, consolidando il proprio ruolo di motore dell'innovazione e della sostenibilità e offrendo un contributo concreto all'interoperabilità della rete e allo sviluppo di un trasporto ferroviario sempre più efficiente e competitivo (Da: *Comunicato Stampa FS Engineering, Gruppo FSI*, 12 aprile 2026).

Emilia Romagna: "Giornata della Sicurezza 2026: per una sicurezza sostenibile e leggera"

Il 20 marzo 2026 si è tenuta la quinta edizione della Giornata della Sicurezza di Trenitalia Tper. Alla presenza di oltre 300 persone si sono avvicendati sul palco docenti universitari e attori di teatro, col fine ultimo comune di parlare di sicurezza e di segnalazioni. Queste ultime, in particolare, erano il tema scelto per la Giornata.

Un tema nient'affatto leggero, che gli organizzatori della Giornata hanno cercato di declinare nel modo più accessibile. Del resto, tutti sappiamo che esiste una leggerezza della frivolezza, ma è pur vero che esiste (e che va coltivata) anche una leggerezza della pensosità.

Dopo il benvenuto di A. TULLIO (AD di Trenitalia Tper), sono intervenuti:

- Prof. M. ZANNONI di UniBo, che ha illustrato il progetto della didattica che UniBo e TT stanno realizzando insieme per dotare i futuri macchinisti di un supporto adeguato alla contemporaneità;
- Prof.ssa M. BINA e Prof. C. A. MEINERO di UniMi Università Cattolica del Sacro Cuore, che hanno presentato la seconda edizione del Corso Vigilmente, corso sulla vigilanza consapevole e sull'attenzione che verrà erogato agli Agenti di Condotta di Trenitalia Tper.

Per la regia di L. NAVARRINI, si sono esibiti anche gli attori dell'agenzia Cronopios, che hanno portato in scena tre corti con un tema comune: l'importanza di fare (e di ascoltare) le segnalazioni, perché se nel mondo della narrativa non dare ascolto a una segnalazione è spesso il motore di una storia ben riuscita, nella vita reale l'esito può solo essere quello di avere una "brutta storia" da raccontare.

Ospiti d'eccezione della giornata sono stati S. DAMAGINI (Mercitalia Rail), S. GERVASINI (Trenord), A. LASCHI (Ansfisa), I. PRIOLO (assessora all'Ambiente, Programmazione territoriale, Mobilità e Trasporti, Infrastrutture Regione Emilia-Romagna) e D. SCIDA (Trenitalia).

I cinque hanno partecipato a un momento di dialogo e di confronto, a un vero e proprio gioco di ruolo, costruito attorno alle Carte della Sicurezza di Trenitalia Tper: carte domanda, carte risposta e carte immagine, da interpretare e discutere collettivamente. L'esperimento verrà ripetuto dal gruppo dei Sistemi di Gestione Sicurezza, Qualità e Sostenibilità negli impianti di Trenitalia Tper, durante gli eventi di Safety Talk, la versione "portatile" e itinerante della Giornata (Fig. 2).

Le "Carte della Sicurezza" sono state ideate, realizzate e prodotte da Trenitalia Tper nell'ambito della struttura Sistemi di Gestione delle Sicurezza, Qualità e Sostenibilità.

Nel contesto dell'evento si è tenuto anche l'ormai consueto concorso artistico, quest'anno declinato sul tema della sostenibilità, che ha visto



(Fonte: TrenitaliaTPER)

Figura 2 – La “Tavola Rotonda” con gli ospiti di Trenitalia TPER alla “Giornata della Sicurezza 2026”.

la vittoria di Giuseppe VINCIGUERRA (Trenitalia Tper) che ha presentato un commovente corto animato sul tema dei Sustainability Development Goals, definiti dalle Nazioni Unite “per ottenere un futuro migliore e più sostenibile per tutti”, e sulle conseguenze dello sviluppo non sostenibile.

A fine giornata, durante i saluti di rito, una cascata di palloncini giganti ha investito il pubblico in teatro, ricordando ancora una volta a tutti il valore del gioco, della leggerezza e della sicurezza, che per poter funzionare deve essere sostenuta e spinta da tutti proprio come un palloncino che, altrimenti, rotola a terra (Da: *Diffusione Stampa Trenitalia TPER*, 1 aprile 2026).

Campania-Calabria: AV/AC Salerno-Reggio Calabria, abbattuto l'ultimo diaframma della galleria Caterina

Importante traguardo per la nuova linea Alta Velocità/Alta Capacità Salerno – Reggio Calabria. È stato abbattuto il diaframma della galleria Caterina nel Comune di Buccino (Salerno), nell'ambito dei lavori di realizzazione del Lotto 1A Battipaglia-Romagnano della nuova linea AV

Salerno - Reggio Calabria e dell'interconnessione con la linea esistente Battipaglia – Potenza (Fig. 3).

• LO SCAVO

L'operazione segna il completamento dello scavo della galleria Caterina, effettuato da “Mireille”, una TBM (Tunnel Boring Machine) dal peso di 1.200 tonnellate e dotata di una testa fresante di oltre 10 metri di diametro spinta da 11 motori che generano una potenza di 3.850 kW. La galleria Caterina, lunga oltre 1 km, rappresenta una prima importante opera del Lotto 1A, finanziato in parte con fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

La TBM “Mireille”, dopo il superamento di un breve tratto all'aperto, riprenderà lo scavo per la realizzazione della successiva galleria Sicignano. In contemporanea altre tre grandi talpe meccanizzate “Partenope”, “Leucosia” e “Ligea”, con una testa fresante di oltre 13 metri, sono impegnate nello scavo delle altre gallerie previste in progetto.

• IL LOTTO 1A

Partendo dalla stazione di Battipaglia, la nuova linea si estende per circa 33 km in doppio binario e termina con l'interconnessione di circa 2

km sulla linea storica Battipaglia-Potenza per un'estensione complessiva di circa 35 km. Il tracciato si sviluppa per circa il 50% in galleria, per il 18% in viadotto e per il restante 32% in rilevato/trincea, ottimizzando l'inserimento delle opere nel territorio e interessando i Comuni di Battipaglia, Eboli, Campagna, Contursi Terme, Sicignano degli Alburni, Palomonte e Buccino, in Provincia di Salerno.

I lavori sono stati affidati da Rete Ferroviaria Italiana (Gruppo FS), committente dell'opera, al Consorzio Xenia costituito da Webuild, Impresa Pizzarotti, Ghella e Tunnel Pro sotto la direzione dei lavori di FS Engineering, per un valore complessivo dell'investimento di circa 2,9 miliardi di euro.

• IL PROGETTO

La nuova linea AV/AC Salerno – Reggio Calabria, finanziata anche con fondi PNRR, costituisce la continuità di un itinerario strategico per la connessione tra Nord e Sud ed è parte integrante del Corridoio ferroviario europeo TEN-T Scandinavia - Mediterraneo. L'itinerario da Salerno a Reggio Calabria è stato suddiviso in lotti funzionali.



(Fonte: RFI, Gruppo FSI)

Figura 3 - Completato lo scavo da parte della TBM "Mireille", nell'ambito del Lotto 1A Battipaglia – Romagnano di circa 35 km con un investimento complessivo circa 2,9 miliardi di euro, in parte finanziato con fondi PNRR.

• I BENEFICI

L'intera opera consentirà di incrementare i livelli di accessibilità alla rete AV per diverse zone ad elevata valenza territoriale quali il Cilento e il Vallo di Diano, la costa ionica, l'alto e il basso Cosentino, l'area del Porto di Gioia Tauro e il Reggino, oltre che velocizzare anche relazioni di traffico verso Potenza, verso la Sicilia, verso diverse aree della Calabria e, allo stesso tempo, contribuirà in maniera significativa al potenziamento dell'itinerario merci da/per Gioia Tauro (Da: *Comunicato Stampa RFI, Gruppo FSI*, 10 aprile 2026).

TRASPORTI URBANI

Nazionale: targhe monopattini, tutti i richiedenti potranno essere in regola

Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti rassicura: il sistema è già stato predisposto per garantire a tutti i cittadini che abbiano fatto richiesta del nuovo contrassegno di essere in regola entro il 16 maggio, data di entrata in vigore dell'obbligo.

Eventuali disallineamenti nelle prenotazioni, usati in maniera pretestuosa, sono legati esclusivamente alla fase iniziale di avvio dei nuovi processi e non riflettono la reale capacità operativa degli uffici. Sono infatti già stati prodotti e consegnati alle 103 motorizzazioni, nei tempi previsti, oltre 200.000 contrassegni.

Il MIT è già al lavoro per comunicare nei prossimi giorni nuove modalità di prenotazione - così da assicurare tempi coerenti con le esigenze dell'utenza - e rivendica l'impianto costruito finora: i contrassegni hanno costi contenuti e ridotti tempi di lavorazione delle pratiche (Da: *Comunicato Stampa MIT*, 10 aprile 2026)

Nazionale: prezzo del gasolio: servizi di trasporto autobus a rischio senza correttivi immediati

Misure urgenti ed immediate per tutti i comparti dell'autotrasporto passeggeri contro l'impennata del prezzo dei carburanti per garantire sostenibilità e continuità dei servizi. È quanto chiedono le Associazioni ANAV, ASSTRA ed AGENS che lamentano l'assenza anche nel secondo DL Carburanti appena varato dal Governo di qualsivoglia misura a sostegno del settore.

“Le quotazioni odierne del prezzo del gasolio registrano l'ennesimo rialzo, un +21% rispetto all'inizio del conflitto in Medio Oriente che impone al settore maggiori costi per oltre 40 milioni di euro mensili e quasi 500 milioni di euro su base annua

L'entità della situazione è tale da richiedere misure straordinarie per tutelare le aziende e garantire l'equilibrio economico dei contratti di servizio e dei bilanci. Il protrarsi del conflitto e il rischio più che realistico di ulteriori impennate del prezzo dei prodotti petroliferi sui mercati internazionali delineano un quadro di crescente e grave difficoltà per un settore che garantisce la mobilità di quasi 7 miliardi di cittadini ogni anno e per il quale il gasolio rappresenta la seconda voce di costo, dopo quella per il personale, con un'incidenza

di circa il 20% sui conti aziendali. In questo contesto, il trasporto collettivo diventa ancora più essenziale per mitigare il rincaro dei carburanti sulle famiglie e garantire una mobilità accessibile a tutti.”.

Le Associazioni invocano misure urgenti di contenimento del prezzo del gasolio e sottolineano che “il taglio temporaneo delle accise appena prorogato fino al 1° maggio ha un impatto nullo per le imprese del settore che utilizzano gasolio commerciale soggetto ad accisa ridotta. Urgono correttivi adeguati e ad hoc per le imprese del settore al fine di garantire la continuità dei servizi a favore dei cittadini e salvaguardare l’equilibrio economico dei bilanci aziendali. La crisi non è destinata a rientrare nel breve termine, pertanto chiediamo – dichiarano le Associazioni - che con immediatezza vengano estese a tutte le imprese del trasporto pubblico locale soggetto ad obblighi di servizio pubblico e del trasporto commerciale di linea e di noleggio le misure di recupero dei maggiori sostenuti per l’acquisto di carburanti già adottate per il settore dell’autotrasporto merci”.

- Note per il lettore

A proposito di ASSTRA

ASSTRA è l’Associazione Italiana di Trasporto Pubblico Locale che rappresenta 138 Aziende che offrono servizi del Trasporto Pubblico Urbano, Suburbano ed Extraurbano attraverso: Bus, Tram, Filobus, Metropolitana, Ferrovie locali (non appartenenti a Trenitalia S.p.A.), Navi per il trasporto lagunare e lacuale, funicolari; ma anche servizi scolastici e turistici, parcheggi, Rimozione di veicoli. L’Associazione rappresenta le istanze delle aziende di trasporto pubblico associate difende i loro diritti e i loro interessi, sia nel contesto nazionale che in quello europeo; quindi, offre servizi di consulenza in ambito legale, sindacale, tecnologico, economico-finanziario, ferroviario e assicurativi. ASSTRA fa parte (insieme a Utilitalia) di Confservizi, il sindacato d’impresa che rappresenta e tutela gli Associati che operano nei settori a rilevanza industriale come acqua, gas, energia elettrica, igiene ambientale, trasporti locali.

A proposito di ANAV

ANAV è l’Associazione Nazionale Autotrasporto Viaggiatori che rappresenta - in seno a Confindustria, Federtrasporto e Federturismo - oltre 500 imprese private attive in tutti i segmenti del trasporto passeggeri con autobus: trasporto pubblico locale e regionale, trasporto pubblico di linea a lungo raggio in ambito nazionale ed internazionale (UE ed extra-UE), trasporto scolastico, noleggio autobus con conducente e servizi citysightseeing. Rappresentanza degli interessi, approfondimento tecnico ad ampio spettro, promozione e sostegno ad iniziative di coordinamento e rafforzamento delle imprese associate: questo il focus dell’azione di ANAV in ambito nazionale e in sede europea, dove riveste un ruolo di primo piano nelle Associazioni UITP e IRU che, rispettivamente, rappresentano il settore del trasporto pubblico locale e quello dei servizi di trasporto commerciale.

A proposito di AGENS

AGENS è l’Agenzia Confederale dei Trasporti e Servizi, componente attiva di Confindustria e Federtrasporto, che rappresenta e tutela gli interessi delle imprese associate esercenti servizi di trasporto pubblico locale e di trasporto ferroviario nei rapporti con le istituzioni nazionali e territoriali, a livello nazionale ed internazionale. AGENS rappresenta i soci sotto il profilo istituzionale, economico e sindacale curando l’assistenza in materia sindacale e del lavoro e promuovendo servizi connessi all’attività dei propri soci favorendo i contatti con il mondo imprenditoriale (Da: *Comunicato Stampa congiunto ASSTRA, ANAV, AGENS*, 3 aprile 2026).

TRASPORTI INTERMODALI

Liguria-Lombardia-Veneto: FS Logistix e Logtainer, al via i collegamenti ferroviari merci dai porti di Genova e Vado verso Verona e Milano

Al via i collegamenti ferroviari merci tra il porto di Genova e Vado

Ligure e i terminal di Verona Quadrante Europa e Milano Segrate, frutto della partnership tra FS Logistix e Logtainer (Fig. 4).

L’accordo, siglato dagli AD delle due società S. DE FILIPPIS e P. MONTANARI, contribuisce a rafforzare concretamente l’intermodalità mare-ferro a supporto dei flussi da e verso i porti liguri: le merci che arrivano via nave nei porti vengono caricate direttamente sui treni di Mercitalia Rail per essere trasferite a Verona o Milano e da lì proseguire verso le destinazioni finali in Italia e in Europa.

La collaborazione tra la società logistica del Gruppo FS e l’operatore intermodale controllato dal gruppo GIP 2.0 evolve in una sinergia industriale ancora più concreta, che supera la sola dimensione della trazione per entrare nel vivo della gestione dei flussi logistici. Arrivare negli hub di Segrate e Verona permetterà di avvalersi anche del network intermodale per il centro/nord Europa, collegando di fatto i porti liguri ai principali terminal e porti europei. Una visione condivisa che punta a rendere il trasporto ferroviario la spina dorsale dei flussi marittimi, rafforzando l’integrazione tra porto, terminal *inland* e mercato, contribuendo a una logistica più efficiente, competitiva e sostenibile.

I servizi si aggiungono all’accordo commerciale siglato a maggio 2025 da FS Logistix e Logtainer per lo sviluppo della logistica intermodale marittima. L’intesa prevede l’integrazione di competenze complementari per offrire al mercato soluzioni di trasporto ferro-gomma su un network sempre più esteso, ad alta frequenza e qualità di servizio, con FS Logistix impegnata nella componente ferroviaria e Logtainer come interfaccia commerciale unica verso il mercato (Da: *Comunicato Stampa FS Logistix Gruppo FSI*, 25 marzo 2026)

Nazionale: porti, trasmessi al Parlamento gli esiti delle ispezioni alle Autorità di Sistema Portuale

Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha trasmesso alle Came-



(Fonte: FS Logistix, Gruppo FSI)

Figura 4 – Il piazzale dello scalo merci di Vado Ligure ed un convoglio FS Logistix (Mercitalia Rail) in attesa di partenza per la nuova relazione di trasporto merci.

re le relazioni sugli esiti delle attività ispettive svolte presso l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure occidentale e l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno settentrionale.

I documenti, redatti dalle Commissioni ispettive, contengono le verifiche effettuate e le criticità emerse nel corso delle ispezioni, per consentire le valutazioni nelle sedi competenti, nel quadro dei rapporti istituzionali improntati alla trasparenza e alla collaborazione.

L'iniziativa rientra nelle funzioni di vigilanza attribuite al Ministero dalla legge n. 84 del 1994 e conferma l'attenzione del Governo sul corretto funzionamento del sistema portuale (Da: *Comunicato Stampa MIT*, 1 aprile 2026).

INDUSTRIA

Liguria: Alstom celebra i 120 anni dello stabilimento di Vado Ligure

Alstom ha celebrato i 120 anni dello storico stabilimento di Vado Ligure, pilastro dell'industria ferroviaria italiana fin dal 1906. L'anniversario cade in una fase particolarmente significativa per il Sito, protagonista negli ultimi anni di un percorso di rilancio e consolidamento industria-

le in continuità con gli impegni assunti dall'azienda dopo l'acquisizione di Bombardier Transportation nel 2021. Tra il 2021 e il 2026 sono stati investiti complessivamente circa 20 milioni di euro, destinati alla riorganizzazione e al rafforzamento della produzione, al miglioramento della qualità dei prodotti, al potenziamento commerciale e alla diversificazione delle attività. Inoltre, l'integrazione industriale con le altre sedi italiane di Alstom, in particolare con Savigliano (CN) ha favorito l'allineamento di competenze, processi e metodologie, accelerando lo sviluppo e valorizzando le complementarità sul territorio nazionale.

“Celebrare questo importante traguardo significa rendere omaggio a una storia industriale straordinaria e alle persone che, con competenza e dedizione, hanno reso il Sito un punto di riferimento del settore ferroviario”, ha dichiarato M. VIALE, DG di Alstom Italia. “Grazie agli investimenti del Gruppo, Vado Ligure guarda al futuro con rinnovata ambizione: i risultati che stiamo ottenendo confermano la visione che abbiamo costruito tutti insieme in questi anni di duro lavoro”.

Gli investimenti sul sito di Vado Ligure rientrano anche nel piano industriale di 63,3 milioni di euro annunciati per il periodo 2024-2026 e

che interessa tutti i siti di Alstom in Italia.

All'evento celebrativo hanno preso parte, M. BUCCI, Presidente della Regione Liguria, E. M. PUJIA, Capo del Dipartimento per le infrastrutture e le reti di trasporto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, S. S. BETTINI, Presidente di Federmeccanica, F. GILARDI, Sindaco di Vado Ligure, oltre al Presidente Europa di Alstom A. DELEONE, al management di Alstom e a circa 300 dipendenti. La cerimonia ha visto la partecipazione di importanti clienti e stakeholder. Una speciale performance della Fondazione Luzzati – Teatro della Tosse, dedicata alle maestranze e alla forza del lavoro come motore di sviluppo e crescita sociale, ha reso omaggio a coloro che hanno contribuito al passato e al futuro del sito.

- Uno stabilimento strategico per l'Italia e il territorio

Fin dall'acquisizione del 2021, Alstom ha investito risorse, competenze e tecnologie per rafforzare la competitività del Sito e dare piena attuazione al piano industriale, con l'obiettivo di garantire la continuità produttiva, preservare il know-how, tutelare l'occupazione e sostenere una crescita duratura.

Il Sito di Vado Ligure impiega oggi circa 300 professionisti e rappre-

senta un polo strategico per Alstom, per il territorio e per l'intero sistema industriale nazionale. Grazie agli investimenti degli ultimi anni, lo stabilimento si è trasformato in un centro altamente specializzato, inserito in un processo produttivo moderno che unisce competenze tecniche avanzate e tecnologie all'avanguardia.

- Il piano industriale messo a punto è volto a potenziare il Sito di Vado Ligure lungo tre direttrici:

Rafforzamento della produzione delle locomotive Traxx Universal, principale asset industriale del Sito. Le oltre 250 unità vendute in Italia confermano la solidità di una piattaforma d'eccellenza, in continua evoluzione grazie a sviluppi tecnologici mirati: dalle versioni Last Mile, capaci di operare anche su linee non elettrificate, alle varianti multisistema per i principali corridoi internazionali, fino ai modelli in grado di raggiungere i 200 km/h. Un percorso che punta ad accrescere interoperabilità, versatilità e competitività su scala europea.

Diversificazione del proprio perimetro industriale, ampliando le competenze oltre la produzione di locomotive. Tra le nuove attività rientrano l'allestimento della Power Car del primo treno a idrogeno d'Italia — progetto simbolo della transizione energetica nel trasporto ferroviario — e il rafforzamento del ruolo nella manutenzione e nelle grandi revisioni, comprese lavorazioni complesse su treni ad alta velocità in servizio internazionale. Il nuovo stabile in costruzione consentirà di incrementare ulteriormente capacità e tipologie di intervento, aprendo la strada a lavorazioni complete su convogli regionali e ad alta velocità.

Investimenti in tecnologia, che stanno consolidando la trasformazione del Sito in un polo altamente specializzato. Tra le infrastrutture già operative figurano gli impianti per incollaggi strutturali, la Prova Pioggia per testare i veicoli in condizioni estreme, il Test Track per le verifiche dinamiche e la Control Room, che monitora in tempo reale centinaia di locomotive in esercizio. L'integra-

zione di queste soluzioni con nuovi strumenti digitali e processi aggiornati consente di migliorare qualità, affidabilità ed efficienza delle attività industriali.

- “Binari d'innovazione”: un'esposizione permanente per il territorio e la comunità

Fondato nel 1906 dalla Westinghouse, lo stabilimento di Vado Ligure diventa rapidamente uno dei principali poli produttivi del ferroviario italiano. Qui nasce la E.550, prima locomotiva elettrica trifase del Paese, seguita da modelli storici come E.636, E.444, E.633, E.652 ed E.464. Negli anni più recenti, il Sito ha contribuito allo sviluppo dei treni ad alta velocità e consolidato il proprio core business con la piattaforma di locomotive Traxx. Oltre 2000 locomotive realizzate in più di 120 anni testimoniano un legame profondo tra competenze, innovazione e territorio.

Per valorizzare oltre un secolo di storia industriale, è stata presentata in anteprima “Binari d'innovazione”, un'esposizione permanente all'interno dello stabilimento. Uno spazio pensato come punto di incontro tra memoria e innovazione, dove la cultura industriale si preserva e allo stesso tempo si rinnova. Il percorso ripercorre l'evoluzione delle locomotive prodotte a Vado Ligure attraverso oggetti originali, modelli, fotografie e contributi multimediali, dando spazio sia ai progressi tecnologici, sia alle persone e alle competenze che li hanno resi possibili.

Lo spazio, all'interno di una delle palazzine storiche di inizio secolo, è progettato come un ambiente dinamico, composto da dimostrazioni pratiche, attività didattico-scientifiche e installazioni interattive che permettono di conoscere in modo accessibile i principi dell'ingegneria ferroviaria e dell'innovazione. Un'opportunità concreta per avvicinare giovani e studenti alle discipline STEM e al mondo mecatronico, stimolando curiosità e nuove competenze.

Realizzato grazie alla collaborazione di organizzazioni e volontari

del territorio tra cui Unione Industriali della Provincia di Savona, Treno Club Savona, A.C.M.E. srl, “Binari d'innovazione” nasce con l'ambizione di diventare un punto di riferimento culturale aperto alla comunità, a studenti, famiglie e appassionati. L'esposizione sarà aperta al pubblico su prenotazione a partire da Maggio 2026.

- Dietro ogni grande storia, le persone

La cerimonia è anche stata l'occasione per valorizzare l'esperienza, il talento e il contributo delle persone che costituiscono l'elemento distintivo della crescita e dell'innovazione aziendali. Sono stati celebrati i “Guardiani e Custodi della Memoria”, un riconoscimento all'eccellenza e alla tradizione in un passaggio di testimone ai più giovani che hanno il compito di proseguire il cammino di innovazione della mobilità (Da: *Comunicato Stampa Alstom*, 13 aprile 2026).

Nazionale: ANFIA, mercato italiano delle vetture nel mese di marzo

A marzo 2026, il mercato italiano dell'auto totalizza 185.367 immatricolazioni, pari al 7,6% (secondo i dati pubblicati oggi dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) in più rispetto ai volumi di marzo 2025. Nei primi tre mesi del 2026 i volumi complessivi si attestano a 484.802 unità, con una crescita del 9,2% rispetto al primo trimestre 2025.

R. VAVASSORI, Presidente di ANFIA, commenta così i risultati del mese di marzo. “A marzo il mercato italiano dell'auto registra il terzo mese consecutivo in crescita (+7,6%), complice un giorno lavorativo in più rispetto allo stesso mese del 2025 (22 giorni contro 21).

Anche il primo trimestre dell'anno chiude con una variazione positiva del 9,2%, oltre 40mila unità in più rispetto a gennaio-marzo 2025.

Di rilievo la crescita delle autovetture ‘Made in China’(si intendono le autovetture prodotte in Cina da tutti i Costruttori, non solo cinesi) immatricolate in Italia che superano le

64mila unità nel trimestre, con una quota di mercato del 13,2%.

Guardando alle alimentazioni, prosegue il buon andamento delle auto ricaricabili BEV (8,7% di quota nel mese), anche grazie alla coda degli incentivi, e PHEV (8,5%), che, nel complesso, rappresentano il 17,2% dell'immatricolato nel mese.

Bisogna, tuttavia, scongiurare il rischio di non raggiungere il target PNRR al 30 giugno dal momento che si sta creando un circolo vizioso di mancate immatricolazioni causate dall'eccessiva esposizione finanziaria dei concessionari. Auspichiamo che il MASE acceleri le pratiche di rimborso, così da dare certezza a concessionari e consumatori."

Analizzando nel dettaglio le immatricolazioni per alimentazione (dati provvisori), le autovetture a benzina vedono il mercato di marzo in calo del 18,6%, con quota di mercato del 20,2%; allo stesso modo, le diesel calano del 29,6% con quota del 6,9%. Nel primo trimestre dell'anno, le immatricolazioni di auto a benzina calano del 18,6% e quelle delle auto diesel registrano una flessione del 23,6%, rispettivamente con quote di mercato del 19,8% e del 7%.

Le autovetture *mild* e *full hybrid* aumentano del 20,2% nel mese, con una quota del 50,3%, mentre nel cumulato crescono del 25,8%, con una quota del 51,5%.

Le immatricolazioni di autovetture ricaricabili incrementano dell'85,2% a marzo e rappresentano il 17,2% del mercato del mese (10% a marzo 2025); nel primo trimestre aumentano dell'85,8% e hanno una quota del 16,1% (in aumento di 6,7 punti percentuali rispetto al primo trimestre del 2025).

Nel dettaglio, le auto elettriche hanno una quota dell'8,7% nel mese e del 7,9% nel cumulato; le vendite crescono del 72,1%, a marzo e del 65,7% nei primi tre mesi dell'anno. Le ibride plug-in aumentano del 100,7% a marzo e del 110,1% nel cumulato, rappresentando l'8,5% delle immatricolazioni complessive del singolo mese e l'8,3% del totale da inizio anno.

Infine, le autovetture a gas rappresentano il 5,3% dell'immatricolato di marzo, interamente composto da autovetture GPL (in calo del 25,6% nel mese). Nel cumulato, le immatricolate a gas calano del 34,4%. Nel primo trimestre del 2026, le alimentate a gas costituiscono il 5,5% del mercato.

Le emissioni medie di CO₂ delle nuove immatricolazioni di marzo calano del 6,4% e scendono a 110,0 g/km rispetto a quelle di marzo 2025. Nel cumulato, diminuiscono del 5,7% e si attestano a 111,2 grammi per km percorso.

Nel cumulato, Fiat Panda, Fiat Grande Panda e Jeep Avenger occupano, rispettivamente, la prima, seconda e terza posizione tra le autovetture *mild/full hybrid*. Decima Fiat 600. Tra le dieci PHEV più vendute non ci sono modelli a rappresentare il Gruppo Stellantis, mentre tra le elettriche Leapmotor T03 si trova al primo posto e Citroen C3 al terzo. Segue Fiat Grande Panda al nono posto e Leapmotor, con il modello B10, al decimo.

In riferimento al mercato per segmenti, a marzo sono ancora i SUV a costituire la fetta più consistente del mercato, con una quota del 59,3%. I volumi sono in crescita del 13,1% rispetto a marzo 2025.

Nel dettaglio, i SUV piccoli rappresentano il 12,9% del mercato del mese (+8,3% rispetto a marzo 2025), i SUV compatti il 26,4% (+5,2%) e i SUV medi hanno una quota del 13% (+35,9%), mentre le vendite di SUV grandi sono il 7% del totale (+19,6%). Il 20,1% dei SUV venduti nel mese di marzo è del Gruppo Stellantis.

Nel primo trimestre 2026, con un incremento del 14,7% delle immatricolazioni, i SUV detengono una quota del 58%.

Continua l'ottima performance di Jeep Avenger, prima nella top ten dei SUV piccoli. Stellantis è rappresentata anche da Fiat 600 al quinto posto, Alfa Romeo Junior al sesto e Opel Mokka in ottava posizione. Tra i SUV compatti, Peugeot 2008 è l'ottava auto più venduta del segmento.

Peugeot 3008 occupa la quarta

posizione nella top ten dei SUV medi. Alfa Romeo Tonale chiude al decimo posto nella stessa categoria, quattro posizioni al di sotto di Jeep Compass, che si posiziona al sesto posto. Tra i SUV grandi, Peugeot 5008 occupa la sesta posizione.

Nel mese, le autovetture utilitarie e superutilitarie rappresentano il 30,4% del mercato, con volumi in crescita del 6,7% rispetto a quelli di marzo 2025, mentre nel trimestre crescono del 7,2%, a fronte di una quota del 31,9%.

Il modello più venduto dei segmenti A e B rimane Fiat Panda. Del Gruppo Stellantis si trovano nella top ten del cumulato anche Fiat Grande Panda al secondo posto, Citroen C3 al terzo, Leapmotor T03 al quarto, Peugeot 208 all'ottavo e Opel Corsa al nono posto.

Le auto dei segmenti medi hanno una quota del 7,7% a marzo, con un mercato in calo del 17% rispetto allo stesso mese del 2025. Nel cumulato, i segmenti C, D ed E hanno una market share del 7,4% (-12,6%). In classifica, è Peugeot 308 a rappresentare il Gruppo Stellantis, collocandosi al settimo posto.

Secondo l'indagine ISTAT, a marzo 2026 si registra un peggioramento sia dell'indice del clima di fiducia dei consumatori (base 2010=100), che cala da 97,4 a 92,6, sia dell'indice composito del clima di fiducia delle imprese (Iesi), da 97,4 a 97,3.

In riferimento al clima di fiducia dei consumatori, diminuisce anche l'indice relativo all'opportunità attuale all'acquisto di beni durevoli, tra cui l'automobile, che passa da -50,1 a -63,9.

Ancora secondo le stime ISTAT, a marzo 2026 l'indice nazionale dei prezzi al consumo registra un aumento dello 0,5% su base mensile e dell'1,7% su base annua (da +1,5% del mese precedente). L'andamento dell'inflazione risente della risalita dei prezzi degli Energetici - regolamentati (da -11,6% a -1,3%) e non (da -6,2% a -2,4%) - e della accelerazione di quelli degli Alimentari non lavorati (da +3,7% a +4,4%); in rallentamento,

invece, i prezzi dei Servizi ricreativi, culturali e per la cura della persona (da +4,9% a +3%), dei Servizi relativi ai trasporti (da +2,8% a +2,4%) e dei Servizi relativi all'abitazione (da +4,5% a +4,2%).

Nel settore dei Beni energetici non regolamentati, accelerano i prezzi del Gasolio per mezzi di trasporto (da -1,5% a +12,5%; +12,0% su febbraio), del Gasolio per riscaldamento (da -4,6% a +9,7%; +13% su febbraio) e della Benzina (da -9,1% a -2,9%; +4,8% su febbraio); al contrario, si amplia la flessione dei prezzi dell'Elettricità mercato libero (da -4,1% a -5%) e del Gas di città e gas naturale mercato libero (da -12,1% a -12,7%).

A marzo 2026, il Gruppo Stellantis, inclusa Leapmotor, registra una quota di mercato del 31%, con volumi in crescita del 9,9% rispetto allo stesso mese del 2025. Nel cumulato da inizio anno, si registra invece una crescita del 15,5%, a fronte di una market share del 32,4%.

Sono cinque i modelli del Gruppo Stellantis nella top ten di marzo, con Fiat Panda stabile in testa alla classifica (11.117 unità), seguita, al secondo posto, da Jeep Avenger (5.085) e, al terzo, da Leapmotor T03 (5.022), che sale di una posizione rispetto alla classifica del mese precedente. In quarta posizione troviamo invece Fiat Grande Panda (4.385), seguita, al quinto posto, da Citroen C3 (4.152).

Il mercato di DR Automobiles, coi suoi marchi DR, EVO, ICH-X, Sportequipe e Tiger, è in calo del 5,6% a marzo 2026 rispetto a marzo 2025, mentre nei primi tre mesi dell'anno chiude in flessione del 4,8% rispetto a gennaio-marzo 2025. Il Costruttore molisano costituisce l'1,2% del mercato nel mese e l'1,3% nel cumulato. Per finire, il mercato dell'usato totalizza 559.286 trasferimenti di proprietà al lordo delle *minivolture* a concessionari a marzo 2026, il 9,1% in più rispetto a marzo 2025. Nei primi tre mesi dell'anno, i trasferimenti di proprietà sono 1.524.362, in crescita del 2,6% rispetto allo stesso periodo del 2025 (Da: *Comunicato Stampa ANFIA*, 1 aprile 2026).

VARIE

Veneto: American Airlines premia l'Aeroporto di Venezia Marco Polo con la customer cup

- Introduzione

American Airlines premia l'Aeroporto di Venezia Marco Polo con la Customer Cup, un riconoscimento a livello globale che valorizza le eccellenti performance operative del team nel corso del quarto trimestre dello scorso anno.

La premiazione coincide con la ripresa dei collegamenti stagionali da Venezia agli Stati Uniti d'America, inclusi i voli estivi di questa stagione per il Philadelphia International Airport (PHL) e il Dallas Fort Worth (DFW).

- Il premio

I rappresentanti del team di American Airlines e Gruppo SAVE hanno celebrato oggi la vittoria della Customer Cup per il quarto trimestre 2025. Questo riconoscimento, assegnato dalla compagnia aerea, premia l'impegno del team nel garantire eccellenza operativa, attenzione all'esperienza di viaggio dei passeggeri e sicurezza.

La Customer Cup è stata consegnata agli addetti di scalo della compagnia aerea per aver raggiunto e superato gli obiettivi previsti, che includono puntualità nell'orario di partenza, capacità di ridurre i tempi necessari per far ripartire un volo, consegna bagagli e commenti positivi dei passeggeri sull'esperienza complessiva in aeroporto. Un risultato che conferma l'aeroporto Marco Polo di Venezia tra gli aeroporti più performanti e testimonia l'impegno del Gruppo SAVE nel garantire elevati standard operativi. Il premio mette a confronto tutte le destinazioni della compagnia a livello globale, segmentate per dimensione e affinità operativa.

“Il riconoscimento della Customer Cup riflette l'eccellenza dell'esperienza offerta ai passeggeri dal nostro team locale, dai partner commercia-

li e dall'aeroporto di Venezia Marco Polo che insieme contribuiscono a elevare il viaggio” ha dichiarato J. A. FREIG, VP *International and Inflight Dining Operations* di American Airlines.

“Venezia rimane una destinazione chiave per il nostro network internazionale e siamo lieti di offrire ai passeggeri una presenza in continua crescita nell'area, con collegamenti ora verso due importanti destinazioni statunitensi: Philadelphia e Dallas Fort Worth. Questi due hub garantiscono un accesso comodo a numerose mete negli Stati Uniti, in Canada, nei Caraibi, in Messico e in America Latina.”

“Ogni anno oltre centotrentamila passeggeri di American Airlines utilizzano il nostro aeroporto grazie ai voli diretti su Philadelphia e Dallas, hub per noi complementari in quanto garantiscono prosecuzioni capillari su aree distinte degli Stati Uniti”, ha dichiarato M. SCARPA, Amministratore Delegato del Gruppo SAVE. “L'hub di Philadelphia copre infatti la Costa Est e il Midwest del Paese, mentre l'hub di Dallas costituisce un ottimo snodo per raggiungere la California, la Costa Ovest ed il Centro America, in particolare il Messico. Il riconoscimento consegnato al team della compagnia aggiunge un nuovo tassello nel percorso di intensificazione dei voli a Venezia, con l'auspicio che American Airlines arrivi ad estendere i suoi collegamenti anche oltre la stagione estiva”.

La premiazione coincide con la ripresa dei collegamenti stagionali con gli Stati Uniti d'America. Ieri, lunedì 30 marzo, sono ripartiti i voli diretti tra l'Aeroporto di Venezia Marco Polo (VCE) e il Philadelphia International Airport (PHL), ai quali si aggiungeranno i collegamenti diretti con Dallas Fort Worth (DFW) a partire dal 22 maggio. Entrambi i collegamenti opereranno su base giornaliera fino al termine della stagione estiva.

Philadelphia International Airport (PHL) funge da principale hub transatlantico della compagnia e offre ai passeggeri numerosi collegamenti per proseguire il loro viaggio con co-

modi voli in coincidenza verso oltre 120 destinazioni tra Stati Uniti, Canada e Caraibi. I voli tra Venezia e Philadelphia saranno operati da aeromobili Boeing 787-8.

L'aeroporto di Dallas Fort Worth (DFW) è il principale hub per American e offre ai passeggeri numerosi collegamenti per proseguire il loro viaggio con comodi voli in coincidenza verso oltre 225 destinazioni tra Stati Uniti, Canada, Messico, Caraibi e America Latina. I voli tra Venezia e Dallas Fort Worth saranno operati da aeromobili Boeing 787-8.

- Un'esperienza premium per i passeggeri

Tutti i voli tra Venezia e gli Stati Uniti saranno operati da moderni aeromobili che offrono ai passeggeri un'esperienza completa di alto livello che include poltrone di Business Class e Premium Economy, interni all'avanguardia, Wi-Fi ad alta velocità e un sistema di intrattenimento a bordo con 1.500 contenuti, gratuiti e regolarmente aggiornati, fruibili da ciascuna poltrona.

Oltre ai servizi offerti a bordo, American continua a investire nell'esperienza di viaggio grazie a un ecosistema digitale più evoluto, che fornisce ai passeggeri spiegazioni chiare e in tempo reale in caso di irregolarità operative e mette a disposizione strumenti self-service – come la riprotezione del volo, il tracciamento dei bagagli e l'accesso immediato ai voucher idonei – direttamente nell'app e su aa.com.

A terra, i passeggeri possono apprezzare un portfolio di lounge completamente rinnovato, che include Admirals Club e *Flagship Lounge* nuove o ampliate in hub chiave come Philadelphia, Miami, Chicago e altri aeroporti, unitamente a servizi premium come il caffè e champagne disponibili nelle lounge e a bordo.

- Nota per il lettore: American Airlines Group (NASDAQ: AAL)

American Airlines è una compagnia aerea globale premium che collega gli Stati Uniti al resto del mondo. Le sue radici risalgono al 1926, quando operava come vettore di po-

sta aerea nel Midwest. Oggi American effettua più di 6.000 voli al giorno verso oltre 350 destinazioni in più di 60 Paesi, trasportando ogni anno oltre 200 milioni di passeggeri. Forte di un team orgoglioso e talentuoso composto da 130.000 professionisti dell'aviazione, American realizza quotidianamente la propria missione: prendersi cura delle persone nel viaggio della loro vita, ogni giorno.

La più grande compagnia aerea del mondo celebra con orgoglio il suo centenario nel 2026, un traguardo che riflette un secolo di innovazione e lo spirito Forever ForwardSM, che ha trasformato l'industria e il mondo. American ha introdotto il primo servizio cargo aereo di linea, la prima lounge aeroportuale e il primo programma fedeltà di una compagnia aerea, continuando ancora oggi a reinventare l'esperienza dei passeggeri. La compagnia è inoltre membro fondatore dell'alleanza Oneworld, i cui membri servono più di 900 destinazioni in tutto il mondo (Da: *Comunicato Ufficio Stampa di American Airlines in Italia, Martinengo Communication*, 31 marzo 2026).

Nazionale: pubblicazioni, torna il "Giornale del Genio Civile (GGC)"

È online il nuovo numero del Giornale del Genio Civile (GGC), iniziativa del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, con una nuova veste grafica ed editoriale.

Nato nel 1863 e pubblicato con continuità fino al 2005, il Giornale del Genio Civile ha rappresentato per oltre un secolo e mezzo un punto di riferimento per la divulgazione del sapere tecnico-scientifico, della cultura delle opere pubbliche e del ruolo svolto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nello sviluppo infrastrutturale del Paese.

Dopo vent'anni, la rivista torna oggi come spazio di approfondimento dedicato ai grandi temi ingegneristici, infrastrutturali e strategici di competenza del Consiglio e del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

L'obiettivo è offrire uno strumen-

to autorevole e aggiornato per seguire l'evoluzione del settore delle costruzioni, raccontare i processi di semplificazione normativa, valorizzare l'innovazione tecnologica applicata alle opere pubbliche e accompagnare la diffusione delle principali scelte ministeriali in materia di investimenti infrastrutturali.

Il numero inaugurale, intitolato "Dentro il PNRR", è dedicato al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, nell'ambito del quale il MIT gestisce oltre 41 miliardi di euro assegnati all'Italia. Una responsabilità che va oltre la dimensione della spesa pubblica e che rappresenta una leva concreta di trasformazione strutturale, capace di incidere sulla competitività, sulla sostenibilità e sulla qualità delle infrastrutture nazionali (Da: *Comunicato Stampa MIT*, 27 marzo 2026).

Nazionale: nasce "In Viaggio Sicuri", il nuovo magazine di ANSFISA

In Viaggio SICURI è il nuovo magazine (Fig. 5) di ANSFISA, pensato per diventare un punto di riferimento nell'analisi e nella divulgazione dei temi legati alla sicurezza delle infrastrutture e dei sistemi di trasporto. Il progetto punta a promuovere consapevolezza e cultura della sicurezza, rendendo più accessibili le conoscenze e i temi che riguardano la qualità e l'affidabilità delle nostre infrastrutture e dei sistemi di trasporto.

L'iniziativa si inserisce coerentemente nell'ambito dello sforzo complessivo che l'Agenzia sta compiendo per dare seguito a uno degli elementi fondanti della sua mission istituzionale: sensibilizzare pubblico di settore e cittadinanza alle tematiche della sicurezza, centrali e imprescindibili per l'efficienza e la funzionalità dei sistemi di trasporto esistenti e in via di sviluppo. Costruire spazi di confronto e approfondimento capaci di valorizzare il lavoro di chi, ogni giorno, contribuisce a garantire reti e sistemi di trasporto all'altezza delle sfide contemporanee e favorisce la condivisione di evidenze, l'interpretazione

dei fenomeni e l'emersione di punti di vista qualificati. La nuova pubblicazione vuole offrire una piattaforma di contenuti che renda accessibili temi tecnici e complessi, valorizzando dati, analisi, esperienze professionali e contributi specialistici sostenendo lo scambio informativo e il dialogo tra Istituzioni, operatori del settore e cittadini.

In Viaggio SICURI – commenta D. CAPOMOLLA, Direttore di ANSFISA, vuole essere un contributo informativo capace di accompagnare il lavoro svolto dall'Agenzia ogni giorno, ovvero quello di rafforzare la cultura della sicurezza come valore collettivo e prerequisito essenziale per parlare di mobilità moderna e affidabile. Un contributo concreto, a supporto di un'evoluzione del settore basata su competenza, responsabilità e visione (Da: *Comunicato Stampa ANSFISA*, 3 aprile 2026).



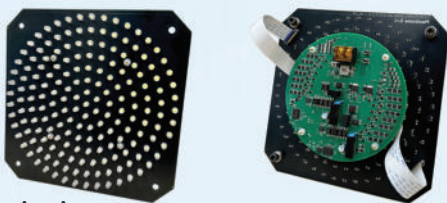
(Fonte: ANSFISA)

Figura 5 - La copertina della prima pubblicazione del magazine di ANSFISA.



Visibilità, affidabilità, robustezza

La gamma **Ator** è composta da unità luminose a LED progettate per applicazioni ferroviarie e stradali con architettura elettronica al massimo livello di sicurezza, elevata visibilità, robustezza meccanica, prestazioni costanti anche in condizioni ambientali severe. Disponibile nelle versioni: Bianco, Giallo e Rosso. Ogni unità riproduce un solo aspetto luminoso ed è adatta a funzionamento fisso o lampeggiante.



Applicazioni

Il modulo **Ator** di segnali a matrice LED è destinato alla protezione della circolazione stradale, specie in corrispondenza dei passaggi a livello e sono progettati per l'integrazione con impianti computerizzati.

Vantaggi principali

- Tecnologia: LED ad alta efficienza
- Diametro: 200 mm
- Alimentazione: 12 Vcc o 12Vca 50Hz nominali

- Assorbimento tipico: 10 W
- Intensità luminosa: elevata
- Custodia con protezione: IP55
- Resistenza agli urti: IR3
- Durata di vita > 100.000 ore
- Funzionamento da -40 °C a +70 °C

Caratteristiche elettriche

- Tensione nominale di alimentazione: 12 Vcc - 12Vca
- Campo di alimentazione funzionale: 9 - 13 V
- Campo di corrente assorbita: 0,5 - 1,3 A
- Assorbimento tipico a 12 Vcc: 0,8 A
- Potenza assorbita tipica: 10 W

Caratteristiche ottiche EN12368

- Diametro superficie di emissione: 200 mm
- Intensità luminosa sull'asse ottico: 1300 cd (tipico)
- Colori disponibili: rosso, giallo, bianco
- Apertura: livello di prestazione 3/2
- Apertura: tipo M
- Effetto fantasma: Classe 5 (attualmente abbiamo raggiunto la classe 4).

Caratteristiche meccaniche

- Grado di protezione: IP55
- Resistenza all'impatto: IR3
- Lente di dispersione sostituibile

Notizie dall'estero

News from foreign countries

Massimiliano BRUNER

TRASPORTI SU ROTAIA **RAILWAY TRANSPORTATION**

Svizzera: in treno verso le mete estive europee

Per l'estate 2026 le FFS propongono un'ampia gamma di collegamenti ferroviari verso destinazioni di vacanza europee: dalla Svizzera sarà possibile raggiungere comodamente in treno mete come Rimini, Aix-en-Provence, Marsiglia o Firenze. L'estate, però, è anche tempo di cantieri. Sulla rete ferroviaria internazionale sono previste varie restrizioni e modifiche dell'orario a causa di lavori.

Per l'estate 2026 le FFS propongono numerosi collegamenti ferroviari diretti verso destinazioni di vacanza in Italia, Francia, Germania e Austria. Al contempo, in concomitanza con la riduzione dei flussi di pendolari, nel periodo estivo si concentra un'elevata attività di cantieri ferroviari. Prima di intraprendere un viaggio è quindi consigliabile consultare sempre l'orario online su FFS.ch o nell'app Mobile FFS.

- Senza cambi in riva all'Adriatico

Dal 30 maggio al 4 ottobre 2026 sarà operativo un nuovo collegamento diretto da Zurigo a Rimini. Tutto l'anno sono inoltre direttamente raggiungibili città come Verona (da Ginevra, Losanna e Zurigo) e Firenze (da Zurigo). Tutti questi collegamenti fermano anche a Bellinzona, Lugano e Chiasso. Vi sono inoltre numerosi collegamenti diretti con Milano, a sua volta punto di partenza per numerose altre destinazioni in tutta la Penisola.

Come negli scorsi anni, anche quest'estate il gestore dell'infrastrut-

tura italiana RFI eseguirà lavori di costruzione sull'asse del Sempione. Pertanto, dal 7 giugno al 26 luglio 2026 i treni EC tra Ginevra, Losanna, Basilea, Berna e Milano non circoleranno, oppure saranno operativi in modo discontinuo. Dal 26 giugno al 27 luglio 2026 saranno soppressi anche i treni RE tra Iselle di Trasquera e Domodossola. Circoleranno vari autobus sostitutivi. Maggiori informazioni sono disponibili alla pagina FFS «Autobus sostitutivi per i viaggi via Domodossola verso Milano».

- Direttamente nel sud della Francia

Dal 16 aprile al 2 novembre 2026, partendo da Losanna e Ginevra in TGV nei giorni da giovedì a lunedì è possibile raggiungere direttamente Avignone, Aix-en-Provence e Marsiglia. Dal 27 giugno al 23 agosto 2026 questi treni circolano addirittura tutti i giorni.

A causa di importanti lavori di costruzione presso la stazione di La Plaine, tra il 27 luglio e il 16 agosto 2026 i TGV in arrivo dalla Francia circoleranno solo fino ad Annemasse, dove sarà necessario effettuare un cambio. Per raggiungere Annemasse da Ginevra è possibile utilizzare il Léman Express oppure il RE33.

- Con il treno notturno nella regione turistica del Wörthersee in Austria

Addormentarsi a Zurigo, svegliarsi a Klagenfurt: così è possibile raggiungere quotidianamente, in maniera comoda e diretta, la regione turistica intorno al Wörthersee. Anche altre destinazioni come Graz e Vienna sono raggiungibili con il treno notturno. Verso la capitale austriaca sono disponibili diversi collegamenti

diretti anche durante il giorno con il Railjet da Zurigo.

A causa di lavori, tra Buchs SG e Feldkirch è previsto un blocco totale del traffico dal 14 giugno al 14 ottobre 2026, con conseguenti soppressioni di treni e dirottamenti via St. Margrethen. Per i treni deviati, tra cui quelli notturni, il tempo di percorrenza si allunga di un'ora. Tra Sargans e Feldkirch circoleranno autobus sostitutivi.

- Direttamente a Brema con treni diurni e notturni

Da Zurigo e Basilea circolano più volte al giorno treni diretti per Brema, raggiungibile anche di notte con il Nightjet di nuova generazione, che prosegue poi fino ad Amburgo. Brema è, tra l'altro, un punto di partenza ideale per le destinazioni turistiche vicine, come il Mare del Nord con le isole della Frisia orientale.

- Lavori di costruzione durante il periodo estivo

Sui collegamenti dalla Svizzera verso Francia, Italia, Austria e altri Paesi dell'Europa orientale, nonché all'interno di Francia, Germania, Italia e Austria, anche quest'anno sono previsti diversi cantieri. Una panoramica è disponibile sul sito FFS "Cantieri e cambiamenti d'orario in Europa" (Da: *Comunicato Stampa FFS*, 16 aprile 2026).

Switzerland: take the train to european summer destinations

For summer 2026, SBB is offering a wide range of rail connections to European holiday destinations: from Switzerland, it will be possible to conveniently reach destinations such as Rimini, Aix-en-Provence, Marseille, and Florence by train. However, summer is also a time of construction. Various restrictions and timetable changes are planned on the international rail network due to construction work.

For summer 2026, SBB is offering numerous direct rail connections to holiday destinations in Italy, France, Germany, and Austria. At the same time, with reduced commuter traffic, summer is also a time of intense

construction activity. Therefore, it is always advisable to check the online timetable at SBB.ch or on the SBB Mobile app before embarking on a journey.

- *No changes on the Adriatic coast*

From May 30 to October 4, 2026, a new direct connection from Zurich to Rimini will be in operation. Cities such as Verona (from Geneva, Lausanne, and Zurich) and Florence (from Zurich) are also directly accessible year-round. All these connections also stop in Bellinzona, Lugano, and Chiasso. There are also numerous direct connections to Milan, which in turn is a departure point for numerous other destinations throughout Italy.

As in previous years, the Italian infrastructure operator RFI will be carrying out construction work on the Simplon axis this summer. Therefore, from June 7 to July 26, 2026, EC trains between Geneva, Lausanne, Basel, Bern, and Milan will not run, or will operate discontinuously. From June 26 to July 27, 2026, RE trains between Iselle di Trasquera and Domodossola will also be cancelled. Various replacement buses will operate. More information is available on the SBB page "Replacement buses for journeys via Domodossola to Milan".

- *Directly to the South of France*

From April 16 to November 2, 2026, TGV trains from Lausanne and Geneva will run directly to Avignon, Aix-en-Provence, and Marseille from Thursday to Monday. From June 27 to August 23, 2026, these trains will even run daily.

Due to major construction work at La Plaine station, between July 27 and August 16, 2026, TGV trains arriving from France will only run to Annemasse, where a transfer will be required. To reach Annemasse from Geneva, you can use the *Léman Express* or the RE33.

- *Night train service to the Wörthersee holiday region in Austria*

Fall asleep in Zurich, wake up in Klagenfurt: this is a convenient and direct daily service to the Wörthersee holiday region. Other destinations such as Graz and Vienna can also be

reached by night train. Several direct connections to the Austrian capital are also available during the day with the Railjet from Zurich.

Due to construction work, a complete traffic ban is planned between Buchs SG and Feldkirch from June 14 to October 14, 2026, resulting in train cancellations and rerouting via St. Margrethen. For diverted trains, including night trains, the travel time will be extended by one hour. Replacement buses will run between Sargans and Feldkirch.

- *Direct to Bremen with day and night trains*

Direct trains run several times a day from Zurich and Basel to Bremen, which can also be reached at night with the new-generation Nightjet, which then continues to Hamburg. Bremen is also an ideal starting point for nearby tourist destinations, such as the North Sea and the East Frisian Islands.

- *Construction work during the summer*

Several construction sites are planned for connections from Switzerland to France, Italy, Austria, and other Eastern European countries, as well as within France, Germany, Italy, and Austria. An overview is available on the SBB website "Construction sites and timetable changes in Europe" (From: SBB Press Release, April 16th, 2026).

TRASPORTI URBANI URBAN TRANSPORTATION

Serbia: la prima metropolitana di Belgrado, un passo storico per la mobilità urbana e la crescita economica

Alstom si è aggiudicata un contratto chiavi in mano da 915 milioni di euro per la realizzazione della Linea 1 della metropolitana di Belgrado, il primo sistema metropolitano completamente automatizzato in Serbia. Questo progetto, che nella prima fase collegherà Makiško Polje a Karaburma, contribuirà ad alleviare la gestione del traffico in superficie

e a liberare il potenziale di Belgrado come capitale europea di riferimento (Fig. 1).

Attraversando direttamente il centro città, la prima fase della Linea 1 si estenderà per 15 km e comprenderà 15 stazioni, di cui 11 km di gallerie. Si tratta di una trasformazione strutturale: spostando una parte significativa del trasporto pubblico cittadino sotterraneo, il progetto allevierà la cronica congestione del traffico in superficie e libererà il potenziale di Belgrado come capitale europea più accessibile e funzionale. L'introduzione di uno dei sistemi automatizzati più moderni al mondo fungerà da moltiplicatore per l'attrattività economica della città, creando un ambiente più efficiente sia per i residenti che per gli investimenti internazionali.

"La decisione di Belgrado di costruire la sua prima metropolitana completamente automatizzata è un investimento pragmatico e audace per il futuro della città e riflette la forte leadership e la visione dimostrate dalle autorità serbe", ha affermato A. DELEONE, Presidente di Alstom Europe. "La Linea 1 della metropolitana cambierà radicalmente il modo in cui quasi due milioni di residenti si spostano in città, offrendo un'alternativa affidabile e sicura al trasporto su strada. Questo progetto non riguarda solo la mobilità; si tratta di fornire le moderne infrastrutture necessarie a Belgrado per sostenere la sua crescita e raggiungere i suoi obiettivi economici e climatici a lungo termine".

In questo progetto per l'azienda di servizi pubblici Belgrade Metro & Train, Alstom, in qualità di integratore di sistema, fornirà una soluzione completa chiavi in mano per la metropolitana, comprensiva di 32 treni Metropolis a tre carrozze senza conducente, segnalamento e telecomunicazioni, alimentazione elettrica, binari, porte di banchina, attrezzature per il deposito, un centro di controllo centralizzato e sistemi completi di sicurezza informatica. La metropolitana sarà dotata dell'avanzata tecnologia Urbalis CBTC di Alstom, che consentirà un funzionamento completamente automatizzato, ad alta ca-



(Fonte - Source: Alstom)

Figura 1 - Sistemi metro Metropolis, “per mantenere vive le città”.
 Figure 1 - Metropolis metro systems, “keeping cities breathing”.

pacità e affidabile. I treni Metropolis saranno prodotti nello stabilimento Alstom di Valenciennes, in Francia.

Il progetto beneficia del sostegno finanziario del governo francese, a testimonianza della solida cooperazione bilaterale tra Francia e Serbia. Alstom ha ufficialmente avviato la fase di progettazione della Linea 1 della metropolitana.

L'introduzione della tecnologia di metropolitana senza conducente apporterà vantaggi concreti, tra cui una maggiore frequenza, una maggiore capacità di trasporto passeggeri, una migliore affidabilità operativa e una maggiore sicurezza. Il sistema chiavi in mano consentirà un funzionamento affidabile ed efficiente dal punto di vista energetico, con intervalli tra i treni fino a 90 secondi, supportato da un centro di controllo integrato all'avanguardia e da una piattaforma di sicurezza informatica.

Alstom è un pioniere nei sistemi di metropolitana automatizzata, con quasi 30 linee senza conducente in funzione in tutto il mondo, tra cui a Parigi, Singapore e Lione. Con oltre 50 anni di esperienza e 80 sistemi chiavi in mano in servizio commerciale a livello globale, Alstom è un partner affidabile per progetti metropolitani complessi. Tra i riferimenti recenti figurano la REM di Montreal, la metropolitana di Riyadh, la linea 4 di Atene,

la linea 18 di Parigi, la linea C di Tolosa, la linea 2 di Panama, la linea 3 di Guadalajara e la linea 2020 della metropolitana di Dubai (Da: Comunicato Stampa Alstom, 27 marzo 2026).

Serbia: Belgrade's first metro, a historic leap in urban mobility and economic growth

Alstom has secured a €915 million turnkey contract to deliver Belgrade's Metro Line 1, the first fully automated metro system in Serbia. This project, connecting in the first phase Makiško Polje to Karaburma will alleviate surface congestion and unlock Belgrade's potential as a leading European capital city (Fig. 1).

By cutting directly through the city center, the first phase of Metro Line 1 will span 15 km and 15 stations, including 11 km of tunnels. This is a structural transformation: by moving a significant portion of the city's transit underground, the project will alleviate chronic surface congestion and unlock Belgrade's potential as a more accessible, functional European capital. The introduction of one of the world's most modern automated systems will serve as a multiplier for the city's economic attractiveness, creating a more efficient environment for both residents and international investment.

“Belgrade's decision to build its first fully automated metro is a pragmatic

and bold investment in the city's future and it reflects the strong leadership and vision demonstrated by the Serbian authorities” said A. DELEONE, President of Alstom Europe. “Metro Line 1 will fundamentally change how nearly two million residents navigate their city, providing a reliable and safe alternative to road transit. This project is not just about mobility; it is about delivering the modern infrastructure necessary for Belgrade to sustain its growth and meet its long-term economic and climate objectives”.

In this project for the public utility company, Belgrade Metro & Train, Alstom, as system integrator will deliver a full turnkey metro solution, including 32 Metropolis driverless three-car trains, signaling and telecommunications, power supply, trackwork, platform screen doors, depot equipment, a centralized control center, and comprehensive cybersecurity systems. The metro will be equipped with Alstom's advanced Urbalis CBTC technology, enabling fully automated, high-capacity and reliable operations. The Metropolis trains will be manufactured at Alstom's Valenciennes site in France.

The project benefits from French government funding support, underlining the strong bilateral cooperation between France and Serbia. Alstom has now officially entered the design phase for Metro Line 1.

The introduction of driverless metro technology will bring tangible benefits, including increased frequency, higher passenger capacity, improved operational resilience and enhanced safety. The turnkey system will enable reliable, energy-efficient operations, with headways of up to 90 seconds, supported by a state-of-the-art integrated control center and cybersecurity platform.

Alstom is a pioneer in automated metro systems, with nearly 30 driverless lines in operation worldwide, including in Paris, Singapore and Lyon. With more than 50 years of experience and 80 turnkey systems in commercial service worldwide, Alstom is a trusted partner for complex metro projects. Recent references include Montreal REM, Riyadh Metro, Athens Line 4, Grand Paris Line 18, Toulouse Line C, Panama Line 2, Guadalajara Line 3 and Dubai Metro Route 2020 (From: Alstom Press Release, March 27th, 2026).

TRASPORTI INTERMODALI INTERMODAL TRANSPORTATION

Internazionale: tariffa fissa, impatto tangibile, DHL Global Forwarding lancia il nuovo portafoglio GoGreen Plus

DHL Global Forwarding, specialista del trasporto aereo e marittimo di DHL Group, annuncia il lancio del suo nuovo portafoglio GoGreen Plus, una gamma di tre prodotti per la decarbonizzazione che rendono la logistica a basse emissioni più facile e accessibile per i clienti di tutto il mondo. Il nuovo servizio GoGreen Plus Base, primo del suo genere, offre una riduzione predefinita delle emissioni del 10%, per tutte le spedizioni idonee, a una tariffa fissa. Questo, garantisce ai clienti una riduzione verificata delle emissioni senza costi aggiuntivi rispetto alla tariffa ordinaria.

Panoramica del portafoglio GoGreen Plus:

- GoGreen Plus Base – riduzione predefinita delle emissioni del 10% attraverso soluzioni Book & Claim, tariffa fissa forfettaria, modello con opzione di annullamento

- GoGreen Plus Premium – riduzione delle emissioni dell'85% grazie a soluzioni Book & Claim, con prezzi definiti per tratta
- GoGreen Plus Select – soluzioni di decarbonizzazione su misura con livelli di riduzione delle emissioni flessibili per i principali clienti GoGreen Plus, personalizzate in base alle diverse supply chain

Con GoGreen Plus Base, DHL offre una soluzione scalabile che applica un prezzo fisso su tutti i mercati, tipi di spedizione e rotte, indipendentemente dall'origine o dalla destinazione. "Non è necessario investire milioni per fare la differenza. Qualsiasi azienda può iniziare in piccolo, con pochi euro in più per spedizione e senza sforzi aggiuntivi. Si tratta di un importante passo avanti verso la realizzazione di supply chain più sostenibili su larga scala", afferma K. Brost, Vicepresidente e Responsabile globale del programma GoGreen presso DHL Global Forwarding.

GoGreen Plus Base, Premium e Select si basano sulla decarbonizzazione reale della catena del valore, resa possibile dall'approccio "Book & Claim", che consente a DHL di sostituire direttamente i combustibili fossili con combustibili sostenibili all'interno della rete dell'azienda logistica e di assegnare i benefici ambientali ai clienti paganti, anche se le loro spedizioni non viaggiano fisicamente sui veicoli alimentati da tali carburanti.

Il potenziamento del portafoglio GoGreen Plus arriva in un momento in cui la domanda di servizi affidabili a basse emissioni continua ad aumentare. Il portafoglio GoGreen Plus riflette il costante impegno del Gruppo nell'aiutare i clienti a decarbonizzare le loro supply chain attraverso soluzioni insourcing trasparenti e attendibili. "Siamo orgogliosi di introdurre soluzioni che cambiano davvero ciò che i clienti possono aspettarsi dalla logistica a basse emissioni" afferma A. RASMUSSEN, Direttore Commerciale di DHL Global Forwarding.

Il portafoglio GoGreen Plus supporta la roadmap di sostenibilità generale di DHL Group, compreso il

suo obiettivo di raggiungere emissioni nette di gas serra pari a zero entro il 2050 e il suo obiettivo intermedio di utilizzare il 30% di carburanti sostenibili entro il 2030. Con questo aggiornamento del portafoglio, DHL accelera la disponibilità di logistica a emissioni ridotte e alternative più sostenibili per tutti i clienti.

- Nota per il lettore: DHL

DHL è un operatore a livello mondiale nel settore della logistica. Le divisioni DHL offrono un portafoglio impareggiabile di servizi logistici che vanno dalla consegna di pacchi nazionali e internazionali, alle soluzioni di spedizione e di fulfillment per l'e-commerce, al trasporto espresso internazionale, stradale, aereo e marittimo, fino alla gestione della supply chain industriale.

Con circa 400.000 dipendenti in 220 Paesi e territori in tutto il mondo DHL collega in modo sicuro e affidabile persone e aziende, consentendo scambi commerciali globali sostenibili. Grazie a soluzioni specializzate per i mercati e i settori in crescita, tra cui la tecnologia, il life science e la sanità, l'ingegneria, l'industria manifatturiera e l'energia, la mobilità e il retail, DHL è decisamente posizionata come "l'azienda di logistica per il mondo".

DHL fa parte del Gruppo DHL. Il Gruppo ha generato un fatturato di oltre 84,2 miliardi di euro nel 2024. Grazie a pratiche commerciali sostenibili e all'impegno nei confronti della società e dell'ambiente, il Gruppo dà un contributo positivo al mondo. Il Gruppo DHL mira a raggiungere una logistica a emissioni zero nel 2050 (Da: *Comunicato Stampa DHL*, 9 aprile 2026).

International: flat rate, tangible impact, DHL Global Forwarding launches the new GoGreen Plus portfolio

DHL Global Forwarding, DHL Group's air and ocean freight specialist, announces the launch of its new GoGreen Plus portfolio, a range of three decarbonization products that make low-carbon logistics easier and more accessible for customers world-

wide. The new GoGreen Plus Base service, the first of its kind, offers a pre-defined 10% emissions reduction for all eligible shipments at a flat rate. This guarantees customers a verified reduction in emissions at no additional cost to their standard rate.

GoGreen Plus Portfolio Overview:

- GoGreen Plus Base – 10% pre-defined emissions reduction through Book & Claim solutions, flat rate, cancellation option
- GoGreen Plus Premium – 85% emissions reduction through Book & Claim solutions, with defined pricing per lane
- GoGreen Plus Select – Tailored decarbonization solutions with flexible emissions reduction levels for key GoGreen Plus customers, customized to their individual supply chains

With GoGreen Plus Base, DHL offers a scalable solution that applies a fixed price across all markets, shipment types, and routes, regardless of origin or destination. “You don’t need to invest millions to make a difference. Any company can start small, with just a few euros more per shipment and no additional effort. This is an important step towards building more sustainable supply chains at scale,” says K. BROST, Vice President and Global Head of the GoGreen Program at DHL Global Forwarding.

GoGreen Plus Base, Premium, and Select are based on the true decarbonization of the value chain, enabled by the “Book & Claim” approach. This allows DHL to directly replace fossil fuels with sustainable fuels within the logistics company’s network and pass on the environmental benefits to paying customers, even if their shipments do not physically travel on vehicles powered by those fuels.

The expansion of the GoGreen Plus portfolio comes at a time when demand for reliable, low-emission services continues to grow. The GoGreen Plus portfolio reflects the Group’s ongoing commitment to helping customers decarbonize their supply chains through transparent and reliable insetting solutions. “We are proud to introduce

solutions that truly change what customers can expect from low-emission logistics,” says A. RASMUSSEN, Commercial Director, DHL Global Forwarding.

The GoGreen Plus portfolio supports DHL Group’s overall sustainability roadmap, including its goal of achieving net-zero greenhouse gas emissions by 2050 and its interim target of using 30% sustainable fuels by 2030. With this portfolio update, DHL is accelerating the availability of low-emission logistics and more sustainable alternatives for all customers.

- Note to reader: DHL

DHL is a global logistics operator. DHL divisions offer an unparalleled portfolio of logistics services, ranging from domestic and international parcel delivery, shipping and fulfillment solutions for e-commerce, international express, road, air, and ocean freight, and industrial supply chain management.

With approximately 400,000 employees in 220 countries and territories worldwide, DHL safely and reliably connects people and businesses, enabling sustainable global trade. With specialized solutions for growth markets and sectors, including technology, life sciences and healthcare, engineering, manufacturing and energy, mo-

bility, and retail, DHL is firmly positioned as “the logistics company for the world.”

DHL is part of the DHL Group. The Group generated sales of over €84.2 billion in 2024. Through sustainable business practices and a commitment to society and the environment, the Group makes a positive contribution to the world. The DHL Group aims to achieve zero-emission logistics by 2050 (From: DHL Press Release, April 9, 2026).

INDUSTRIA MANUFACTURES

Germania: Siemens e Akiem presentano la nuova locomotiva Vectron Dual Mode elettrica a batteria

Siemens Mobility, leader tecnologico e sostenibile nel settore ferroviario, e Akiem, fornitore leader in Europa di servizi di leasing e manutenzione per locomotive e treni passeggeri, hanno firmato un accordo quadro per l’acquisto di 80 locomotive Vectron (Fig. 2), con un ordine fermo di 50 unità, che include il lancio delle nuove locomotive Vectron Dual Mode elettriche a batteria e un’opzio-



(Fonte - Source: Siemens Mobility)

Figura 2 - Nuovo Vectron Dual Mode Elettrico/Batteria: innovazione basata su un concetto collaudato; l’accordo riguarda 80 locomotive Vectron con un ordine fermo di 50 unità e le prime consegne ad Akiem previste per il 2029/2030.
Figure 2 - New Vectron Dual Mode Electric/Battery: innovation based on proven concept; the agreement covers 80 Vectron locomotives with firm order of 50 units and the first deliveries to Akiem planned for 2029/2030.

ne per ulteriori 30 unità. Con la nuova locomotiva, Siemens Mobility sviluppa ulteriormente la sua collaudata piattaforma Vectron Dual Mode ed espande la famiglia Vectron con una soluzione a batteria.

Le locomotive possono operare sia con alimentazione da linea aerea che su tratti non elettrificati utilizzando batterie di trazione. Siemens Mobility consegnerà le prime locomotive a partire dal 2029/2030, consentendo ad Akiem, in qualità di cliente di lancio, di offrirle in leasing al mercato. L'accordo si basa sulla consolidata partnership tra le due aziende. Prima di quest'ultimo ordine, Akiem aveva già effettuato diversi ordini fermi a Siemens Mobility per un totale di 120 locomotive Vectron e Vectron Dual Mode a partire dal 2021.

Con la nuova Vectron Dual Mode a batteria, Siemens Mobility supporta la decarbonizzazione del trasporto ferroviario, consentendo operazioni efficienti e rispettose del clima su tratte non completamente elettrificate, rafforzando ulteriormente il trasporto merci ferroviario sostenibile in un contesto di crescente domanda.

“La decisione di Akiem rappresenta un forte voto di fiducia nella nostra tecnologia e apprezziamo enormemente questa fiducia. Con la Vectron Dual Mode Electric/Battery, compiamo un importante passo avanti nello sviluppo della collaudata piattaforma Vectron, aggiungendo un nuovo membro completamente elettrico alla famiglia Vectron”, ha dichiarato A. RODENBECK, CEO Rolling Stock di Siemens Mobility. “Per i clienti, questo si traduce in una maggiore flessibilità operativa su tratte non elettrificate, supportando al contempo la transizione verso operazioni ferroviarie più sostenibili.”

“I team di Akiem e Siemens condividevano la stessa visione: Vectron Dual Mode Electric/Battery sarebbe stata la soluzione ideale per soddisfare la stragrande maggioranza delle esigenze dei nostri clienti che operano su linee non elettrificate, riducendo significativamente i costi operativi rispetto alle soluzioni at-

tualmente disponibili sul mercato, nonché le emissioni di CO₂ e il rumore”, ha dichiarato F. ROCHEFORT, CEO di Akiem. “Vectron Dual Mode Electric/Battery rappresenta la naturale e affidabile evoluzione della collaudata piattaforma Dual Mode. Siamo lieti di ampliare il nostro portafolio Vectron, innovando e differenziandoci a vantaggio dei nostri clienti in tutta Europa.”

- Vectron Dual Mode Electric/Battery: innovazione basata su un concetto collaudato

La nuova Vectron Dual Mode Electric/Battery è costruita sulla collaudata piattaforma Vectron Dual Mode ed è progettata per una gamma di operazioni simile. Invece di un motore diesel, utilizza un sistema modulare di batterie di trazione, che consente alla locomotiva di operare sia sotto linee aeree che su tratte senza elettrificazione continua. È progettato con configurazioni di batterie flessibili fino a oltre 2 MWh ed è in grado di erogare fino a 2.400 kW alle ruote sia in modalità batteria che con alimentazione da linea aerea CA. Il nuovo Vectron Dual Mode Electric/Battery è inoltre progettato per velocità fino a 160 km/h, uno sforzo di trazione massimo di 300 kN, un peso di circa 90 tonnellate e una potenza di alimentazione del treno di 480 kVA.

Siemens Mobility è uno dei leader nelle tecnologie di trazione alternative per il settore ferroviario e promuove costantemente la decarbonizzazione con soluzioni ibride e a batteria collaudate, ad esempio sviluppando ulteriormente la piattaforma Vectron verso varianti con alimentazione a batteria, come il Vectron con modulo di alimentazione a batteria. Nel settore ferroviario regionale, Siemens Mobility consente inoltre operazioni a basse emissioni su linee parzialmente o non elettrificate con il Mireo Plus B (a batteria) e il Mireo Plus H (a idrogeno). Allo stesso tempo, Siemens Mobility continua ad ampliare il proprio portafoglio di soluzioni di trazione alternative per offrire agli operatori ulteriori opzioni per servizi ferroviari rispettosi del clima (Fonte:

Comunicato Stampa Siemens Mobility, 24 marzo 2026).

Germany: Siemens and Akiem present new Vectron Dual Mode Locomotive Electric/Battery version

Siemens Mobility, a technology and sustainability leader in rail and Akiem, Europe's leading provider of locomotive and passenger train leasing and maintenance, have signed a framework agreement for the purchase of 80 Vectron locomotives (Fig. 2), with a firm order of 50, which includes the launch of the new Vectron Dual Mode Electric/Battery locomotives and an option for 30 additional units. With the new locomotive, Siemens Mobility is further developing its proven Vectron Dual Mode platform and expanding the Vectron family with a battery-based solution.

The locomotives can operate both under overhead line power and on nonelectrified sections using traction batteries. Siemens Mobility will deliver the first locomotives from 2029/2030, enabling Akiem, as the launch customer, to offer them for lease to the market. The agreement builds on the long-standing partnership between the two companies. Prior to this latest order, Akiem had already placed several firm orders with Siemens Mobility for a total of 120 Vectron and Vectron Dual Mode locomotives since 2021.

With the new battery-based Vectron Dual Mode, Siemens Mobility supports rail decarbonization by enabling efficient, climate-friendly operations on routes without end-to-end electrification, further strengthening sustainable rail freight as demand continues to grow.

“Akiem's decision is a strong vote of confidence in our technology, and we greatly value that trust. With the Vectron Dual Mode Electric/Battery, we are taking a major development step based on the proven Vectron platform, adding a new fully electric member to the Vectron family,” said A. RODENBECK, CEO Rolling Stock, Siemens Mobility. “For customers, this means greater operational flexibility on routes where

electrification is not continuous, while supporting the transition to more sustainable rail operations."

"Akiem and Siemens' teams shared a common vision that Vectron Dual Mode Electric/Battery will meet the vast majority of our customer needs when operating on non-electrified lines, significantly reducing costs of operations against existing market solutions, while reducing CO₂ emission and noise," said F. ROCHEFORT, CEO Akiem. "Vectron Dual Mode Electric/Battery is a natural and reliable continuity of the proven Dual Mode platform. We are delighted to extend our Vectron portfolio, while innovating and differentiating to the benefit of our customers everywhere in Europe."

- *Vectron Dual Mode Electric/Battery: innovation based on proven concept*

The new Vectron Dual Mode Electric/Battery is built on the proven Vectron Dual Mode platform and is designed for a similar range of operations. Instead of a diesel engine, it uses a modular traction battery system, allowing the locomotive to run both under overhead lines and on routes without continuous electrification. It is planned with flexible battery configurations of up to more than 2 MWh and is designed to deliver up to 2,400 kW to the wheels in both battery mode and when operating under AC overhead line power. The new Vectron Dual Mode Electric/Battery is also designed for speeds of up to 160 km/h, a maximum tractive effort of 300 kN, a weight of approximately 90 tons, and comes with a train supply power of 480 kVA.

Siemens Mobility is one of the leaders in alternative traction technologies for rail and is consistently advancing decarbonization with proven battery and hybrid solutions – for example, by further developing the Vectron platform toward battery-enabled variants such as the Vectron with Battery Power Module. In regional rail, Siemens Mobility is also enabling low-emission operations on partially or non-electrified routes with the Mireo Plus B (battery) and the Mireo Plus H (hydrogen). At the same time, Siemens Mobility

continues to expand its portfolio of alternative traction solutions to provide operators with additional options for climate-friendly rail services (From: Siemens Mobility Press Release, March 24th, 2026).

VARIE OTHERS

Italia-Croazia: strumenti digitali per il trasporto multimodale ferroviario delle merci, i risultati di un progetto internazionale

Lo scenario attuale del trasporto ferroviario delle merci nell'area Italia-Croazia mostra un significativo mismatch tra la domanda (da parte degli utenti) e l'offerta all'interno delle catene di trasporto multimodale. Una delle ragioni principali consiste nella carenza, frammentazione, scarsa visibilità e mancanza di trasparenza delle informazioni relative alle opportunità del trasporto ferroviario, ragioni che determinano, in ultima analisi, uno scarso utilizzo della modalità di trasporto su rotaia. Come prassi corrente di mercato, gli utenti sono soggetti quasi sempre a procedure di negoziazione privata con gli operatori ferroviari, all'interno di un'architettura multi-attoriale molto complessa (dove giocano un ruolo le società ferroviarie, gli operatori terminalisti, i gestori dell'infrastruttura, gli MTO) ed in un quadro fortemente "nazionale" in entrambe le aree – elemento, questo, peraltro caratterizzante l'intero territorio europeo. Nell'ambito del progetto europeo TRANSPONEXT, è stato sviluppato, da parte del CFLI, uno strumento digitale transfrontaliero - denominato "ScanRail" – in grado di fornire informazioni relative all'offerta ferroviaria agli operatori utenti in Italia e Croazia in modo trasparente, consolidato, standardizzato ed integrato a livello transfrontaliero, in modo da supportare i relativi processi decisionali finalizzati a scelte ottimali nell'ambito delle catene di trasporto multimodale e favorendo, quindi, l'utilizzo della modalità ferroviaria.

Da un punto di vista metodologico, lo strumento è stato sviluppato adottando una metodologia comune transfrontaliera basata su una raccolta dati tra Italia e Croazia, che ha specificato l'insieme degli attributi del trasporto ferroviario da rilevare (origini, destinazioni, orari di partenza, orari di arrivo, tempi di transito e distanze, stime di costo, emissioni) e determinate tipologie di connessioni ferroviarie multimodali a carattere transfrontaliero (connessioni dirette ed indirette, di natura multimodale marittima piuttosto che terrestre).

Le attività hanno anche messo in evidenza alcune significative criticità esistenti, soprattutto per la scarsa disponibilità di informazioni sul versante croato. Lo strumento viene quindi integrato sulla piattaforma TRANSPONEXT al fine di renderlo accessibile ed usufruibile agli utenti del trasporto secondo modalità user-friendly. Attraverso l'utilizzo dello strumento digitale gli operatori, invece di affrontare processi e procedure *time-consuming*, manuali, opache ed estenuanti, possono ottenere un quadro molto ampio relativo all'offerta ferroviaria merci transfrontaliera con un semplice "click", aumentando così l'attrattività del trasporto ferroviario nella regione geografica.

- Nota per il lettore

"TRANSPONEXT" (Next Chapter in the Transport of Goods), Interreg Italy-Croatia. Chi scrive ha supportato le attività del CFLI (Centro di Formazione e Logistica Intermodale), uno dei partner di progetto (Da: *M. MAZZARINO, Dipartimento di Culture del Progetto, Università IUAV di Venezia, CFLI, Centro di Formazione Logistica Intermodale*, 16 aprile 2026).

Italy-Croatia: Digital Tools for multimodal rail freight transport, results of an international project

The current rail freight transport scenario in the Italy-Croatia region shows a significant mismatch between demand (from users) and supply within multimodal transport chains. One of the main reasons for

this is the lack, fragmentation, poor visibility, and lack of transparency of information regarding rail transport opportunities, which ultimately leads to low use of rail transport. As is common market practice, users are almost always subject to private negotiation procedures with rail operators, within a highly complex multi-stakeholder architecture (in which railway companies, terminal operators, infrastructure managers, and MTOs all play a role) and within a strongly “national” framework in both areas—a characteristic of the entire European region. As part of the European TRANSPONEXT project, the CFLI has developed a cross-border digital tool—called “ScanRail”—that provides rail service information to operators in Italy and Croatia in a transparent, consolidated, standardized, and integrated manner across borders. This supports decision-making processes aimed at optimal choices within multimodal transport chains, thus promoting the use of rail.

From a methodological perspective, the tool was developed using a common cross-border methodology based on data collection between Italy and Croatia. This specified the set of rail transport attributes to be collected (origins, destinations, departure times, arrival times, transit times and distances, cost estimates, emissions) and specific types of cross-border multimodal rail connections (direct and indirect connections, and multimodal maritime or land connections).

The activities also highlighted some significant existing critical issues, particularly the limited availability of information on the Croatian side. The tool is therefore being integrated into the TRANSPONEXT platform to make it accessible and usable for transport users in a user-friendly manner. By the digital tool, operators, rather than dealing with time-consuming, manual, opaque, and exhausting processes and procedures, can obtain a comprehensive overview of cross-border rail freight services with a simple click, thus increasing the attractiveness of rail transport in the region.

- *Note to the reader*

“TRANSPONEXT” (Next Chapter in the Transport of Goods), Interreg Italy-Croatia. The author supported the activities of the CFLI (Intermodal Training and Logistics Center), one of the project partners. (From: M. MAZZARINO, Department of Project Cultures, IUAV University of Venice, CFLI, Intermodal Training and Logistics Center, April 16th, 2026).

USA: La NASA dà il bentornato sulla Terra agli astronauti della missione Artemis II

I primi astronauti ad aver raggiunto la Luna in oltre mezzo secolo sono tornati sulla Terra dopo una missione da record a bordo del volo di prova Artemis II della NASA (Fig. 3).

Gli astronauti della NASA R. WISEMAN, V. GLOVER e C. KOCH, e l'astronauta della CSA (Agenzia Spaziale Canadese) J. HANSEN sono ammarati alle 17:07 PDT di venerdì al largo della costa di San Diego, completando un viaggio di quasi 10 giorni che li ha portati a 252.756 miglia da casa, alla massima distanza dalla Terra mai raggiunta.

“Reid, Victor, Christina e Jeremy, bentornati a casa e congratulazioni per questo traguardo davvero storico. “Artemis II ha dimostrato straordinaria abilità, coraggio e dedizione, spingendo l'equipaggio di Orion, dell'SLS (Space Launch System) e dell'esplorazione umana oltre ogni limite. Come primi astronauti a volare su questo razzo e su questa navicella spaziale, l'equipaggio ha accettato rischi significativi al servizio della conoscenza acquisita e del futuro che siamo determinati a costruire. La NASA riconosce inoltre il contributo di tutto il personale NASA, insieme ai nostri partner internazionali, la cui competenza e il cui impegno sono stati essenziali per il successo di questa missione. Con Artemis II completata, l'attenzione si sposta ora con fiducia sull'assemblaggio di Artemis III e sulla preparazione al ritorno sulla superficie lunare, alla costruzione della base e alla volontà di non abbandonare mai più la Luna.”

Dopo l'ammarraggio nell'Oceano

Pacifico, gli astronauti sono stati accolti da una squadra congiunta della NASA e delle forze armate statunitensi che li ha aiutati a uscire dalla navicella in mare aperto e li ha trasportati in elicottero alla USS John P. Murtha per i primi controlli medici. L'equipaggio dovrebbe rientrare al Johnson Space Center della NASA a Houston sabato 11 aprile.

Durante la loro missione, WISEMAN, GLOVER, KOCH e HANSEN hanno percorso in totale 694.481 miglia (circa 111.000 km). Il loro sorvolo lunare li ha portati più lontano di qualsiasi altro essere umano prima di loro, superando il precedente record di distanza stabilito dagli astronauti dell'Apollo 13 nel 1970.

Il primo equipaggio di Artemis è stato lanciato a bordo del razzo SLS della NASA alle 18:35 del 1° aprile, dalla piattaforma di lancio 39B del Kennedy Space Center della NASA in Florida. Con una spinta di 8,8 milioni di libbre (circa 4 milioni di kg) al decollo, il razzo di costruzione americana ha spinto l'equipaggio all'interno della navicella Orion nello spazio, portandola in orbita con estrema precisione dopo un conto alla rovescia senza intoppi condotto dal team di controllo del lancio di Artemis della NASA.

Durante il primo giorno nello spazio, gli astronauti e le squadre a terra hanno controllato la navicella spaziale – chiamata Integrity dall'equipaggio – per verificare che tutti i sistemi funzionassero correttamente prima del viaggio verso la Luna. La NASA ha anche messo in orbita terrestre quattro CubeSat di partner internazionali.

Il secondo giorno del volo di prova, con tutti i sistemi funzionanti, il modulo di servizio di Orion ha acceso il suo motore principale, immettendo gli astronauti su una traiettoria che li ha portati a 6.530 km dalla superficie lunare nel punto di massimo avvicinamento.

“L'equipaggio di Artemis II è tornato a casa. I sistemi di rientro, discesa e atterraggio hanno funzionato come previsto e il test finale è stato



Figura 3 – La navicella spaziale Orion della NASA con a bordo i membri dell'equipaggio della missione Artemis II: gli astronauti della NASA R. WISEMAN (comandante), V. GLOVER (pilota), C. KOCH (specialista di missione) e J. HANSEN (astronauta dell'Agenzia Spaziale Canadese), sono stati visti ammarare alle 17:07 PDT nell'Oceano Pacifico al largo delle coste della California, venerdì 10 aprile 2026. La missione Artemis II della NASA ha portato WISEMAN, GLOVER, KOCH e HANSEN in un viaggio di 10 giorni intorno alla Luna e ritorno sulla Terra (Fonte: NASA).

Figure 3 – NASA's Orion spacecraft with Artemis II crewmembers NASA astronauts R. WISEMAN, commander; V. GLOVER, pilot; C. KOCH, mission specialist; and CSA (Canadian Space Agency) astronaut J. HANSEN, mission specialist aboard was seen as it splashed down at 5:07 p.m. PDT in the Pacific Ocean off the coast of California, Friday, April 10, 2026. NASA's Artemis II mission took WISEMAN, GLOVER, KOCH, and HANSEN on a 10-day journey around the Moon and back to Earth (Source: NASA).

completato come da programma. Questo momento appartiene alle migliaia di persone di quattordici paesi che hanno costruito, testato e riposto la loro fiducia in questo veicolo. Il loro lavoro ha protetto quattro vite umane che viaggiavano a 40.000 km/h e le ha riportate sane e salve sulla Terra”, ha

dichiarato l'amministratore associato della NASA, A. KSHATRIYA. “Artemis II ha dimostrato la validità del veicolo, degli equipaggi, dell'architettura e della collaborazione internazionale che riporteranno l'umanità sulla superficie lunare. Reid, Victor, Christina e Jeremy hanno portato le speranze di questo mondo più lontano di quanto gli esseri umani abbiano mai fatto in oltre mezzo secolo. Cinquantatré anni fa, l'umanità ha lasciato la Luna. Questa volta, siamo tornati per restare. Il futuro è nelle nostre mani.”

Con gli astronauti a bordo per la prima volta, gli ingegneri hanno sottoposto Orion a una valutazione completa in volo. L'equipaggio ha testato i sistemi di supporto vitale della navicella, confermando che Orion è in grado di ospitare esseri umani nello spazio profondo. Durante diverse dimostrazioni di pilotaggio, i membri dell'equipaggio hanno preso il controllo manuale della navicella, pilotando Orion per convalidarne la manovrabilità e raccogliere dati che guideranno le future operazioni di *rendez-vous* e attracco con i lander per missioni umane durante Artemis III e oltre.

L'equipaggio ha completato una serie di test per definire le modalità di svolgimento delle future missioni lunari della NASA, tra cui valutazioni del funzionamento del veicolo spaziale durante le esercitazioni dell'equipaggio, delle attrezzature e procedure di emergenza, delle tute spaziali del sistema di sopravvivenza dell'equipaggio Orion e di altri sistemi critici del veicolo spaziale.

WISEMAN, GLOVER, KOCH e HANSEN hanno anche supportato ricerche scientifiche per aiutare la NASA a preparare gli astronauti a vivere e lavorare sulla Luna, mentre l'agenzia costruisce una base lunare e guarda a Marte. Questi esperimenti, tra cui la ricerca AVATAR, che studia come i tessuti umani reagiscono alla microgravità e all'ambiente di radiazioni dello spazio profondo, e altri studi sulle prestazioni umane nella ricerca, stanno raccogliendo dati essenziali sulla salute per le missioni di lunga durata.

Durante il loro sorvolo lunare del 6 aprile, gli astronauti hanno catturato più di 7.000 immagini della superficie lunare e di un'eclissi solare, durante la quale la Luna ha oscurato il Sole dal punto di osservazione di Orione. Le immagini includono viste suggestive del sorgere e del tramonto della Terra, crateri da impatto, antiche colate laviche, la nostra galassia, la Via Lattea, e fratture superficiali e variazioni di colore sul terreno lunare.

Hanno documentato la topografia lungo il terminatore, il confine tra il giorno e la notte lunare, dove la luce solare radente proietta lunghe ombre sulla superficie, creando condizioni di illuminazione simili a quelle della regione del Polo Sud, dove gli astronauti dovrebbero atterrare nel 2028. L'equipaggio ha anche proposto possibili nomi per due crateri lunari e ha segnalato lampi di impatto meteoritico sul lato notturno della Luna.

La ricerca scientifica di Artemis II aprirà la strada alle future missioni sulla superficie lunare, contribuendo a migliorare le operazioni di missione e ad addestrare gli astronauti a utilizzare un giudizio ponderato per

identificare aree di grande interesse scientifico ed esplorativo.

Con l'equipaggio sano e salvo sulla Terra, la NASA e i suoi partner si concentreranno ora sulla preparazione della missione Artemis III del prossimo anno, quando un nuovo equipaggio della capsula Orion testerà le operazioni integrate con i lander lunari di costruzione commerciale in orbita terrestre bassa.

Nell'ambito di un'epoca d'oro di innovazione ed esplorazione, la NASA invierà astronauti del programma Artemis in missioni sempre più impegnative per esplorare una porzione maggiore della Luna al fine di ottenere scoperte scientifiche, benefici economici, stabilire una presenza umana duratura sulla superficie lunare e gettare le basi per l'invio dei primi astronauti – astronauti americani – su Marte (Da: *Comunicato Stampa NASA*, 10 aprile 2026).

USA: NASA welcomes Artemis II Moonfarers back to Earth

The first astronauts to travel to the Moon in more than half a century are back on Earth after a record-setting mission aboard NASA's Artemis II test flight (Fig. 3).

NASA astronauts R. WISEMAN, V. GLOVER, and C. KOCH, and CSA (Canadian Space Agency) astronaut J. HANSEN splashed down at 5:07 p.m. PDT Friday off the coast of San Diego, completing a nearly 10-day journey that took them 252,756 miles from home at their farthest distance from Earth.

"Reid, Victor, Christina, and Jeremy, welcome home, and congratulations on a truly historic achievement. "Artemis II demonstrated extraordinary skill, courage, and dedication as the crew pushed Orion, SLS (Space Launch System), and human exploration farther than ever before. As the first astronauts to fly this rocket and spacecraft, the crew accepted significant risk in service of the knowledge gained and the future we are determined to build. NASA also acknowledges the contributions of the entire NASA workforce, along with our in-

ternational partners, whose expertise and commitment were essential to this mission's success. With Artemis II complete, focus now turns confidently toward assembling Artemis III and preparing to return to the lunar surface, build the base, and never give up the Moon again."

After splashdown in the Pacific Ocean, the astronauts were met by a combined NASA and U.S. military team that assisted them out of the spacecraft in open water and transported them via helicopter to the USS John P. Murtha for initial medical checkouts. The crew members are expected to return to NASA's Johnson Space Center in Houston on Saturday, April 11.

During their mission, WISEMAN, GLOVER, KOCH, and HANSEN flew 694,481 miles in total. Their lunar flyby took them farther than any humans have ever traveled before, surpassing the previous distance record set by Apollo 13 astronauts in 1970.

The first Artemis crew launched on NASA's SLS rocket at 6:35 p.m. April 1, from Launch Pad 39B at the agency's Kennedy Space Center in Florida. With 8.8 million pounds of thrust at liftoff, the American-built rocket propelled the crew inside the Orion spacecraft to space, delivering it to orbit with pinpoint accuracy after a smooth countdown conducted by the agency's Artemis launch control team.

During the first day in space, the astronauts and teams on the ground checked out the spacecraft — named Integrity by the crew — to confirm all systems were healthy ahead of the transit to the Moon. NASA also deployed four CubeSats from international partners to Earth orbit.

On the second day of the test flight, with all systems Go, Orion's service module fired its main engine, placing the astronauts on a trajectory that brought them 4,067 miles above the lunar surface at their closest approach.

"The Artemis II crew is home. The entry, descent, and landing systems performed as designed and the final test was completed as intended. This

moment belongs to the thousands of people across fourteen countries who built, tested, and trusted this vehicle. Their work protected four human lives traveling at 25,000 miles per hour and brought them safely back to Earth," said NASA Associate Administrator A. KSHATRIYA. "Artemis II proved the vehicle, the teams, the architecture, and the international partnership that will return humanity to the lunar surface. Reid, Victor, Christina, and Jeremy carried the hopes of this world farther than humans have traveled in more than half a century. Fifty-three years ago, humanity left the Moon. This time, we returned to stay. The future is ours to win."

With astronauts aboard for the first time, engineers put Orion through a full in-flight evaluation. The crew tested the spacecraft's life support systems, confirming Orion can sustain humans in deep space. During several piloting demonstrations, crew members took manual control of the spacecraft, flying Orion to validate its handling and collect data that will guide future rendezvous and docking operations with human-rated landers during Artemis III and beyond.

The crew completed a series of tests to inform how NASA will fly future missions to the Moon, including evaluations of how the spacecraft operates during crew exercise, emergency equipment and procedures, the Orion crew survival system spacesuits, and other critical spacecraft systems.

WISEMAN, GLOVER, KOCH, and HANSEN also supported scientific investigations to help NASA prepare astronauts to live and work on the Moon as the agency builds a Moon Base and looks toward Mars. These experiments — including the AVATAR investigation, which studies how human tissue responds to microgravity and the deep space radiation environment, and other human research performance studies — are gathering essential health data for long-duration missions.

During their April 6 lunar flyby, the astronauts captured more than 7,000 images of the lunar surface and a solar eclipse, during which the Moon

blocked the Sun from Orion's vantage point. The imagery includes striking views of earthset and earthrise, impact craters, ancient lava flows, our Milky Way galaxy, and surface fractures and color variations across the lunar terrain.

They documented the topography along the terminator — the boundary between lunar day and night — where low-angle sunlight casts long shadows across the surface, creating illumination conditions similar to those in the South Pole region where astronauts are scheduled to land in 2028. The

crew also proposed potential names for two lunar craters and reported meteoroid impact flashes on the night side of the Moon.

Artemis II science will pave the way for future missions to the Moon's surface by helping advance mission operations and training astronauts to use well-informed judgment to identify areas of high interest for science and exploration.

With the crew safely on Earth, NASA and its partners now will turn attention to preparing for next year's

Artemis III mission, when a new Orion crew will test integrated operations with commercially built Moon landers in low Earth orbit.

As part of a Golden Age of innovation and exploration, NASA will send Artemis astronauts on increasingly challenging missions to explore more of the Moon for scientific discovery, economic benefits, establish an enduring human presence on the lunar surface, and lay the groundwork for sending the first astronauts – American astronauts – to Mars (From: NASA Press Release, April 10th, 2026).

Francesco Natoni

GLI SCAMBI FERROVIARI



COSTO DELLA PUBBLICAZIONE



Intero € 30,00
Soci CIFI € 24,00

PER INFO E PRENOTAZIONI



+39 - 064742986 -
064882129



info@cifi.it



IF Biblio

Arbra BARDHI, Massimiliano BRUNER, Ivan CUFARI

INDICE PER ARGOMENTO

- 1 – CORPO STRADALE, GALLERIE, PONTI, OPERE CIVILI
- 2 – ARMAMENTO E SUOI COMPONENTI
- 3 – MANUTENZIONE E CONTROLLO DELLA VIA

- 4 – VETTURE
- 5 – CARRI
- 6 – VEICOLI SPECIALI
- 7 – COMPONENTI DEI ROTABILI

- 8 – LOCOMOTIVE ELETTRICHE
- 9 – ELETTROTRENI DI LINEA
- 10 – ELETTROTRENI SUBURBANI E METRO
- 11 – AZIONAMENTI ELETTRICI E MOTORI DI TRAZIONE
- 12 – CAPTAZIONE DELLA CORRENTE E PANTOGRAFI
- 13 – TRENI, AUTOMOTRICI E LOCOMOTIVE DIESEL
- 14 – TRASMISSIONI MECCANICHE E IDRAULICHE
- 15 – DINAMICA, STABILITÀ DI MARCIA, PRESTAZIONI, SPERIMENTAZIONE

- 16 – MANUTENZIONE, AFFIDABILITÀ E GESTIONE DEL MATERIALE ROTABILE
- 17 – OFFICINE E DEPOSITI, IMPIANTI SPECIALI DEL MATERIALE ROTABILE

- 18 – IMPIANTI DI SEGNALAMENTO E CONTROLLO DELLA CIRCOLAZIONE - COMPONENTI
- 19 – SICUREZZA DELL'ESERCIZIO FERROVIARIO
- 20 – CIRCOLAZIONE DEI TRENI

- 21 – IMPIANTI DI STAZIONE, NODALI E LORO ESERCIZIO
- 22 – FABBRICATI VIAGGIATORI
- 23 – IMPIANTI PER SERVIZIO MERCI E LORO ESERCIZIO

- 24 – IMPIANTI DI TRAZIONE ELETTRICA

- 25 – METROPOLITANE, SUBURBANE
- 26 – TRAM E TRAMVIE

- 27 – POLITICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI, TARIFFE
- 28 – FERROVIE ITALIANE ED ESTERE
- 29 – TRASPORTI NON CONVENZIONALI
- 30 – TRASPORTI MERCI
- 31 – TRASPORTO VIAGGIATORI
- 32 – TRASPORTO LOCALE
- 33 – PERSONALE

- 34 – FRENI E FRENATURA
- 35 – TELECOMUNICAZIONI
- 36 – PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
- 37 – CONVEGNI E CONGRESSI
- 38 – CIFI
- 39 – INCIDENTI FERROVIARI
- 40 – STORIA DELLE FERROVIE
- 41 – VARIE

I lettori che desiderano fotocopie delle pubblicazioni citate in questa rubrica, e per le quali è autorizzata la riproduzione, possono farne richiesta al CIFI - Via Giolitti, 48 - 00185 ROMA. Prezzo forfettario delle riproduzioni: - € 6,00 fino a quattro facciate e € 0,50 per facciata in più, oltre le spese postali ed IVA. Spedizione in porto assegnato. Si eseguono ricerche bibliografiche su argomenti a richiesta, al prezzo di € 6,00 per un articolo segnalato e € 2,00 per ogni copia in più dello stesso articolo, oltre le spese postali ed IVA.

Tutte le riviste citate in questa rubrica sono consultabili presso la Biblioteca del CIFI - Via Giolitti, 48 - 00185 ROMA - Tel. 0647306454; FS (970) 66454 – Segreteria: Tel. 064882129.

CONDIZIONI DI ABBONAMENTO IF - INGEGNERIA FERROVIARIA ANNO 2026

(Gli Abbonati possono decidere di ricevere IF - Ingegneria Ferroviaria online)

Prezzi IVA inclusa [€/anno]	Cartaceo	Online
- Ordinari	60,00	50,00
- Per il personale non ingegnere del Ministero delle Infrastrutture, e dei Trasporti, delle Ferrovie e Tranvie in concessione e Pensionati FS	45,00	35,00
- Studenti (allegare certificato di frequenza Università) ^(*) - (copia rivista solo online)		25,00
- Estero	180,00	50,00

^(*) Gli Studenti, dopo i 3 anni di iscrizione gratuita come nuovi associati, fino al compimento del 28° anno di età, possono iscriversi al CIFI quali Soci Juniores con una quota annua di € 25,00 che include l'invio online delle Riviste "IF - Ingegneria Ferroviaria" e "la Tecnica Professionale".

I pagamenti possono essere effettuati (specificando la causale del versamento) tramite:

- CCP **31569007** intestato al CIFI - Via G. Giolitti, 46 - 00185 Roma;
- bonifico bancario sul c/c n. 000101180047 - Unicredit Roma, Ag. Roma Orlando - Via Vittorio Emanuele Orlando, 70 - 00185 Roma. IBAN IT29U0200805203000101180047 - BIC: UNCRITM1704;
- pagamento online, collegandosi al sito www.cifi.it;
- in contanti o tramite Carta Bancomat.

Il rinnovo degli abbonamenti dovrà essere effettuato entro e non oltre il 31 marzo dell'annata richiesta. Se entro suddetta data non sarà pervenuto l'ordine di rinnovo, l'abbonamento verrà sospeso.

Per gli abbonamenti sottoscritti dopo tale data, le spese postali per la spedizione dei numeri arretrati saranno a carico del richiedente.

Per ulteriori informazioni: Redazione Ingegneria Ferroviaria - tel. 06.4827116 - E mail: redazioneif@cifi.it

RICHIESTA FASCICOLI ARRETRATI ED ESTRATTI

Prezzi IVA inclusa

Un fascicolo € 8,00; doppio o speciale € 16,00; un fascicolo arretrato: Italia € 16,00; Estero € 20,00.

Estratto di un singolo articolo apparso su un numero arretrato € 9,50 compreso di spedizione; formato cartaceo compreso di spedizione; € 7,50 formato PDF.

I versamenti, anticipati, potranno essere eseguiti nelle medesime modalità previste per gli abbonamenti.

TERMS OF SUBSCRIPTION TO IF - INGEGNERIA FERROVIARIA YEAR 2026

(The subscriber can decide to receive IF - Ingegneria Ferroviaria online)

Price including VAT	Paper	Online
- Normal (Italy)	60.00	50.00
- Infrastructure and Transport Ministry staff, local railways staff, retired FSI staff	45.00	35.00
- Students (University attesting documentation required) ^(*) - (online version of IF journal)		25.00
- Foreign countries	180.00	50.00

^(*) After 3 years of free association, students younger than 28 can enroll as CIFI Junior Associates with a yearly rate of € 25.00, which includes the online "IF - Ingegneria Ferroviaria" and "la Tecnica Professionale" subscription.

The payment can be performed (specifying the motivation) by:

- CCP **31569007** to CIFI - Via G. Giolitti, 46 - 00185 Roma;
- Bank transfer on account n. 000101180047 - UNICREDIT Roma, Ag. Roma Orlando - Via Vittorio Emanuele Orlando, 70 - 00185 Roma. IBAN: IT29U0200805203000101180047 - BIC: UNCRITM1704;
- Online, on the website www.cifi.it;
- Cash or by Debit Card.

The renewal of the subscription must be performed within March 31st of the concerned year. In case of lack of renewal after this date, the subscription will be suspended.

For further information you can contact: Redazione Ingegneria Ferroviaria - Ph: +39.06.4827116 - E mail: redazioneif@cifi.it

PURCHASE OF OLD ISSUES AND ARTICLES

Price including VAT

Single Issue € 8.00; Double or Special Issue € 16.00; Old Issue: Italy € 16.00; Foreign Countries € 20.00.

Single article (print) € 9.50 with shipping included; € 7.50 digital article (PDF).

The payment, anticipated, may be performed according to the same procedures applied for subscriptions.

- 70 Un matematico bi-obiettivo guidato dai dati per l'ottimizzazione energetica degli orari in una rete ferroviaria passeggeri

(ALS - MADSEN - JENSEN)

A data-driven bi-objective matheuristic for energy-optimising timetables in a passenger railway network

Journal of Rail Transport Planning & Management, Giugno 2013, pagg. 25, figg.14. Biblio 47 Titoli.

Il trasporto ferroviario diventa una modalità di trasporto sempre più importante per soddisfare le future esigenze di viaggio. In particolare, l'efficienza energetica del trasporto ferroviario rispetto a quello aereo e ad altri modi di viaggiare via terra diventa fondamentale nel tentativo globale di ridurre le emissioni di CO₂ e di altri gas serra per contenere i cambiamenti climatici. Per questo motivo, l'UE ha dichiarato che il 2021 sarebbe stato l'anno della ferrovia per promuovere viaggi sostenibili e lavorare per raggiungere l'obiettivo di rendere l'Europa il primo continente neutrale dal punto di vista climatico entro il 2050 e di tagliare il 55% delle emissioni di CO₂ prima del 2030. Inoltre, una riduzione del consumo energetico è auspicabile da parte delle società di gestione dei treni (TOC) per ridurre i costi [...].

Rail transport is becoming an increasingly important mode of transport to meet future travel needs. In particular, the energy efficiency of rail transport compared to air and other modes of land travel is becoming crucial in the global effort to reduce CO₂ and other greenhouse gas emissions to curb climate change. For this reason, the EU declared that 2021 would be the year of rail to promote sustainable travel and work towards the goal of making Europe the first climate-neutral continent by 2050 and cutting CO₂ emissions by 55 per cent before 2030. In addition, a reduction in energy consumption is desirable by train operating companies (TOCs) to reduce costs [...].

- 71 Stima del consumo energetico diretto e delle emissioni di CO₂ dei sistemi di trasporto passeggeri ad alta velocità su rotaia, maglev transrapid e hyperloop

(JANIĆ)

Estimation of direct energy consumption and CO₂ emission by high speed rail, transrapid

maglev and hyperloop passenger transport systems

International Journal of Sustainable Transportation, Luglio 2021, pagg. 15, figg.11. Biblio 62 Titoli.

Il presente lavoro si occupa della stima del consumo diretto di energia e delle relative emissioni di gas serra esclusivamente, compresa la CO₂, da parte dei sistemi di trasporto passeggeri High Speed Rail (HSR), Trans Rapid Maglev (TRM) e Hyperloop (HL). Ciò include lo sviluppo dei corrispondenti modelli analitici basati sull'energia meccanica e la loro applicazione in base agli scenari operativi specificati. I modelli analoghi sono stati sviluppati e applicati al sistema di trasporto aereo di passeggeri (APT) a scopo di confronto. I risultati dell'applicazione dei modelli proposti in determinate condizioni hanno indicato che il consumo energetico medio e totale e le relative emissioni di CO₂ dei tre sistemi sono stati generalmente sensibili, cioè elastici, alle variazioni della distanza del viaggio senza scalo e della capacità del veicolo/treno [...].

This paper deals with estimation of direct energy consumption and related emissions of GHG exclusively, including CO₂, by the High Speed Rail (HSR), Trans Rapid Maglev (TRM), and Hyperloop (HL) passenger transport systems. This includes developing the corresponding analytical models based on the mechanical energy and applying them according to the specified what-if operating scenarios. The analogous models are developed and applied to the Air Passenger Transport (APT) system for comparison purposes. The results of the application of the proposed models under given conditions have indicated that the average and total energy consumption and related emission of CO₂ of the three systems have been generally sensitive, i.e. elastic to variations of the nonstop journey distance and the vehicle/train seating capacity. Their average values have decreased more than proportionally and total values in proportion with increasing of the nonstop journey distance. Both have decreased with increasing of the vehicle/train seating capacity per departure [...].

L'ALTA VELOCITÀ FERROVIARIA

Il CIFI ha pubblicato l'ALTA VELOCITÀ FERROVIARIA.

Il nuovo volume rappresenta un riferimento unico ed originale della storia e della evoluzione dell'Alta Velocità in Italia, dalle prime direttissime, alla Firenze-Roma, alle nuove linee AV-AC di recente entrate in servizio. Un immancabile "compagno" della *Storia e Tecnica Ferroviaria* già edita dal CIFI e un testo indispensabile per tutti i cultori, studiosi e appassionati del modo delle ferrovie. Una strenna ideale per ... se stessi, oltre che per amici personali, clienti e dipendenti delle aziende.

Volume in pregiata edizione, cartonato, formato A4, pagine 208 a colori ampiamente illustrate.

INDICE

- Ricerca e sviluppo della Velocità ferroviaria
- Le caratteristiche tecniche dell'AV
- Linee AV nel mondo
- Le Direttissime in Italia
- Nasce l'Alta Velocità-Alta Capacità
- Le Nuove Linee
- Milano-Bologna e Bologna-Firenze
- Nuove linee sui valichi alpini

Prezzo di copertina € 40,00. Per sconti, spese di spedizione e modalità di acquisto consultare la pagina "Elenco di tutte le pubblicazioni CIFI" sempre presente nella Rivista.





COLLEGIO INGEGNERI
FERROVIARI ITALIANI

IL CIFI PRESENTA UNA NUOVA PUBBLICAZIONE



COSTO DELLA PUBBLICAZIONE



Intero € 35,00

Soci CIFI € 28,00

PER INFO E PRENOTAZIONI

info@cifi.it 

+39 - 064742986 - 064882129 



COLLEGIO INGEGNERI
FERROVIARI ITALIANI

Nicola TILLI e Claudio SPALVIERI

COMPENDIO DI TRAZIONE ELETTRICA FERROVIARIA
Elementi di Trazione Elettrica, impianti e sicurezza elettrica

Il Compendio di Trazione Elettrica Ferroviaria affronta in modo organico:

- la costruzione della linea di contatto in piena linea, in stazione e in galleria;
- il circuito di terra di protezione TE, il circuito di ritorno TE e i circuiti di alimentazione, con attenzione alle linee di alimentazione, ai sezionamenti e alle diverse tipologie di schemi TE e relative protezioni;
- le interazioni tra linea di contatto e l'organo di captazione: il pantografo;
- le problematiche e le soluzioni in materia di sicurezza elettrica in ambito ferroviario.

Gli autori del **Compendio** hanno adottato come base il *Capitolato tecnico TE* di RFI, integrando - in sezioni specifiche - approfondimenti dedicati alle linee AV/AC 2x25kVca. Il testo tiene conto delle *Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI)*, nonché delle normative vigenti e delle norme CEI applicabili al settore ferroviario.

Per garantire una lettura scorrevole, gli autori hanno evitato, ove possibile, di appesantire l'esposizione, affidando alle numerose note a piè di pagina le considerazioni più tecniche. Il lettore può così concentrarsi fin da subito sulle nozioni fondamentali, per poi approfondire in modo mirato grazie a un'apposita sezione conclusiva interamente dedicata agli approfondimenti tematici.



Frutto dell'esperienza diretta degli autori e della sintesi delle migliori pubblicazioni del settore, questo compendio è uno strumento prezioso per ingegneri, tecnici, progettisti e studenti che vogliono approfondire o aggiornare le proprie conoscenze sulle infrastrutture ferroviarie moderne.

Il libro ha formato 17 x 24cm, 550 pagine, prezzo cartaceo € 60.
 Per le modalità di acquisto consultare la pagina "Elenco di tutte le pubblicazioni CIFI" sempre presente nella Rivista "La Tecnica Professionale" oppure il sito www.cifi.it

Elenco di tutte le Pubblicazioni CIFI

1 – TESTI SPECIFICI DI CULTURA PROFESSIONALE

1.1 – Cultura Professionale - Trazione Ferroviaria

- 1.1.6 E. PRINCIPE – “Impianti di riscaldamento ad aria soffiata” (Vol. 1° e 2°) € 20,00
- 1.1.10 A. MATRICARDI - A. TAGLIAFERRI – “Nozioni sul freno ferroviario” € 15,00
- 1.1.11 V. MALARA – “Apparecchiature di sicurezza per il personale di condotta” € 30,00
- 1.1.12 G. PIRO – “Cenni sui sistemi di trasporto terrestri a levitazione magnetica” € 15,00

1.2 – Cultura Professionale - Armamento ferroviario

- 1.2.3 L. CORVINO – “Riparazione delle rotaie ed apparecchi del binario mediante la saldatura elettrica ad arco” (Vol. 6°) € 15,00
- 1.2.4 F. SCHINA “La Costruzione del Binario” € 30,00
- 1.2.5 F. NATONI “Gli scambi ferroviari” € 30,00

1.3 – Cultura Professionale - Impianti Elettrici Ferroviari

- 1.3.17 U. ZEPPA – “Impianti di Sicurezza - Gestione guasti e lavori di manutenzione” € 30,00
- 1.3.18 N. TILLI – C. SPALVIERI – “Compendio di Trazione Elettrica Ferroviaria” € 60,00

2 – TESTI GENERALI DI FORMAZIONE ED AGGIORNAMENTO

- 2.2 L. MAYER – “Impianti ferroviari - Tecnica ed Esercizio” (Nuova edizione a cura di P.L. Guida-E. Milizia) € 50,00
- 2.5 G. BONO - C. FOCACCI - S. LANNI – “La Sovrastruttura Ferroviaria” € 50,00
- 2.7 L. FRANCESCHINI - A. GAROFALO - R. MARINI - V. RIZZO – “Elementi generali dell’esercizio ferroviario” 2a Edizione € 40,00
- 2.8 P.L. GUIDA - E. MILIZIA – “Dizionario Ferroviario - Movimento, Circolazione, Impianti di Segnalamento e Sicurezza” € 35,00
- 2.9 P. DE PALATIS – “L’avvenire della sicurezza - Esperienze e prospettive” € 20,00
- 2.10 AUTORI VARI – “Principi ed applicazioni pratiche di Energy Management” € 25,00
- 2.12 R. PANAGIN – “Costruzione del veicolo ferroviario” € 40,00
- 2.13 F. SENESI - E. MARZILLI – “Sistema ETCS Sviluppo e messa in esercizio in Italia” € 40,00
- 2.14 AUTORI VARI – “Storia e Tecnica Ferroviaria - 100 anni di Ferrovie dello Stato” € 50,00
- 2.15 F. SENESI - E. MARZILLI – “ETCS, Development and implementation in Italy (English ed.)” € 60,00
- 2.16 E. PRINCIPE – “Il veicolo ferroviario - carrozze e carri” € 20,00
- 2.18 B. CIRILLO - L.C. COMASTRI - P.L. GUIDA - A. Ventimiglia – “L’Alta Velocità Ferroviaria” € 40,00
- 2.19 E. PRINCIPE – “Il veicolo ferroviario - carri” € 30,00
- 2.20 L. LUCCINI – “Infurtuni: Un’esperienza per capire e prevenire” € 7,00

- 2.21 AUTORI VARI – “Quali velocità quale città. AV e i nuovi scenari territoriali e ambientali in Europa e in Italia” € 150,00
- 2.22 G. ACQUARO - “I Sistemi di Gestione della Sicurezza Ferroviaria” € 25,00
- 2.23 F. CIUFFINI – “Orario Ferroviario - Integrazione e Connettività” € 30,00
- 2.25 F. BOCCHIMUZZO – “La Realizzazione dei Lavori pubblici nelle Ferrovie - volume 1 Le regole generali” € 38,00
- 2.26 ERTMS/ETCS – Pianificazione e Funzioni Base - Volume A - Fabio Senesi e Autori Vari prezzo di copertina € 32,00
- 2.33 Collana ERTMS/ETCS – Cofanetto contenente i Volumi A-B-C-D-E-F + Appendice - Fabio Senesi e Autori Vari € 224,00
- 2.34 M. MORZIELLO – “High Speed Railway System” € 34,00
- 2.35 F. SENESI e AUTORI VARI – “ERTMS/ETCS - Planning and Basic Functions” € 32,00
- 2.36 G.P. PAVIRANI “La Manutenzione della Infrastruttura” € 36,00
- 2.37 V. VALFRÈ – G. STANZANI – D. OCCHIENA “Le Protezioni da Doppie Contatti Ordinati e Separati Con Verifica Dimensionale dei Parametri di Linea” Formato Digitale PDF € 34,00
- 2.38 M. GERLINI – P. MORI – R. PAIELLA “Architettura Ferroviaria” € 120,00
- 2.39 C. CIPOLLINI – G. COSTA – “La Rivoluzione con il Ferro” € 40,00

3 – TESTI DI CARATTERE STORICO

- 3.1. G. PAVONE – “Riccardo Bianchi: una vita per le Ferrovie Italiane” € 15,00
- 3.3. G. PALAZZOLO (in Cd-Rom) – “Cento Anni per la Sicilia” Omaggio per residenti Regione Sicilia € 6,00
- 3.5. AUTORI VARI – La Museografia Ferroviaria e il museo di Pietrarsa € 12,00
- 3.6. Ristampa del volume a cura del CIFI “La Stazione Centrale di Milano” ed. 1931 € 100,00
- 3.7. V. GUADAGNO – “Economia e Ferrovie Preunitarie fra “Ante Storia” e primo periodo (1839-1848)” € 50,00

4 – ATTI CONVEGNI

- 4.4. ROMA – “Next Station”, bilingue italo inglese (3-4 febbraio 2005) € 40,00
- 4.8. ROMA – “Stazioni ferroviarie italiane - qualità, funzionalità” € 40,00
- 4.9. BARI – DVD “Stato dell’arte e nuove progettualità per la rete ferroviaria pugliese” (6 giugno 2008) Omaggio per residenti Regione Puglia € 15,00
- 4.10. BARI – DVD Convegno “Il sistema integrato dei trasporti nell’area del mediterraneo” (18 giugno 2010) Omaggio per residenti Regione Puglia € 25,00
- 4.11. Una Stagione Straordinaria – Atti Convegno Milano del 20 aprile 2021 € 25,00

6 – TESTI ALTRI EDITORI

	Tante Vite (Storie di ferrovia e resistenza)" € 16,00
6.5.	E. PRINCIPE (ed. Veneta) – "Treni italiani con Carrozze Media Distanza" € 25,00
6.6.	E. PRINCIPE (ed. Veneta) – "Treni italiani con carrozze a due piani" € 28,00
6.7.	E. PRINCIPE (ed. La Serenissima) – "Treni italiani Eurostar City Italia" € 35,00
6.8.	E. PRINCIPE – "Treni italiani - ETR 500 Frecciarossa" € 25,00
6.9.	V. FINZI (ed. Coedit) – "I miei 50 anni in ferrovia". € 20,00
6.10.	E. PRINCIPE (ed. Veneta) – "Le carrozze dei nuovi treni di Trenitalia" € 24,00
6.11.	R. MARINI (ed. Plasser & Theurer - Plasser Italiana). "Treni nel Mondo" € 30,00
6.12.	A. BUSSI (ed. Luigi Pellegrini Editore) "Due Vite,
6.61.	M. MORZIELLO "Sistema Ferroviario Italiano Alta Velocità" € 34,00
6.64.	G. MAGENTA (ed. Gaspari) – "Un Mondo su rotaia" € 29,00
6.65.	A. CARPIGNANO – "La Locomotiva a vapore (Viaggio tra tecnica e condotta di un Mezzo di ieri)" 2° Edizione - L'Artistica Editrice Savigliano (CN) € 70,00
6.66.	P. MESSINA – "Ferrovie e Filobus nella Pubblicità" ... € 26,00
6.67.	P. MESSINA – "Per Mare intorno all'Elba e verso il Continente – Traghetti, imbarcazioni e navi da crociera" € 23,00
6.68.	P. MESSINA – "I Trasporti all'Elba" € 28,00

N.B.: I prezzi indicati sono comprensivi dell'I.V.A. Gli acquisti delle pubblicazioni, con pagamento anticipato, possono essere effettuati mediante versamento sul conto corrente postale 31569007 intestato al Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani, Via Giolitti, 46 – 00185 Roma o tramite bonifico bancario: UNICREDIT – AGENZIA ROMA ORLANDO – VIA V. EMANUELE, 70 – 00185 ROMA – IBAN: IT29U0200805203000101180047. Nella causale del versamento si prega indicare: "Acquisto pubblicazioni". La ricevuta del versamento dovrà essere inviata unitamente al modulo sottoindicato. Per spedizioni l'importo del versamento dovrà essere aumentato del 10% per spese postali.

Sconto del 20% per i soci CIFI (individuali, collettivi e loro dipendenti)

Sconto del 15% per gli studenti universitari - Sconto alle librerie: 25%

**Sconto del 10% per gli abbonati alle riviste La Tecnica Professionale e Ingegneria Ferroviaria
(Solo tramite bonifico bancario o conto corrente postale; per informazioni contattare info@cifi.it)**

Modulo per la richiesta dei volumi

I volumi possono essere acquistati on line tramite il sito www.cifi.it compilando e inviando per posta ordinaria o via e-mail il modulo allegato unitamente alla ricevuta di versamento.

Richiedente: (Cognome e Nome).....

Indirizzo: Telefono:

P. I.V.A./C.F.:..... (l'inserimento di Partita IVA o C. Fiscale è obbligatorio)

Conferma con il presente l'ordine d'acquisto per:

n..... (in lettere.....) copie del volume:

n..... (in lettere.....) copie del volume:

n..... (in lettere.....) copie del volume:

La consegna dovrà avvenire al seguente indirizzo:

.....

Data

Si allega la ricevuta del versamento

Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (P.I. 00929941003)

Via Giolitti, 46 - 00185 Roma - Tel. 06/4882129-06/4742986 - Fs 970/66825 - Fax 06/4742987 e-mail: info@cifi.it

FORNITORI DI PRODOTTI E SERVIZI

Costruttori di materiale rotabile ed impianti ferroviari – Società di progettazione – Produttori di ricambi e prodotti vari per le ferrovie – Imprese appaltatrici di lavori di ogni genere per ferrovie nazionali, regionali, metropolitane e di trasporto pubblico urbano.

- A** Lavori ferroviari, edili e stradali – Impianti di riscaldamento e sanitari – Lavori vari
- B** Studi e indagini geologiche-palificazioni
- C** Attrezzature e materiali da costruzione
- D** Meccanica, metallurgia, macchinari, materiali, impianti elettrici ed elettronici
- E** Impianti di aspirazione e di depurazione aria
- F** Prodotti chimici ed affini
- G** Articoli di gomma, plastica e vari
- H** Rilievi e progettazione opere pubbliche
- I** Trattamenti e depurazione delle acque
- L** Articoli e dispositivi per la sicurezza sul lavoro
- M** Tessuti, vestiario, copertoni impermeabili e manufatti vari
- N** Vetrofanie, targhette e decalcomanie
- O** Formazione
- P** Enti di certificazione
- Q** Società di progettazione e consulting
- R** Trasporto materiale ferroviario
- S** Servizi assicurativi

A **Lavori ferroviari, edili e stradali
Impianti di riscaldamento e sanitari
Lavori vari**

B **Studi e indagini
geologiche-palificazioni**

C **Attrezzature e materiali
da costruzione**

MARGARITELLI FERROVIARIA S.p.A. – Via Adriatica, 109 – 06135 PONTE SAN GIOVANNI (PG) – Tel. 075/597211 – Fax 075/395348 – www.margaritelli.com –

Progettazione e produzione di manufatti per armamento ferroviario, tranviario e per metropolitane in cemento armato, cemento armato precompresso, legno e legno impregnato – Trattamenti preservanti del legno.

MEFA ITALIA, VIA GB MORGAGNI 16/B, 20005 POGLIANO M.SE (MI), T. 02 93 54 01 95, HYPERLINK “mailto:info@mefa.it” info@mefa.it, HYPERLINK “http://www.mefa.it” www.mefa.it Vendita e dimensionamento di elementi di supporto e fissaggio di impianti, sistemi modulari di sostegno anche antisismici, collari per tubazioni, giunti, raccordi, stazioni di allarme per impianti antincendio.

D **Meccanica, metallurgia,
macchinari, materiali,
impianti elettrici ed elettronici**

ARTHUR FLURY S.r.l. – Via Settimio Raimondi, 7G – 44034 COPPARO (FE) – Tel. +39/3471759819 – E-mail: info@afluryitalia.it – Produzione materiali per linee aeree ferroviarie, tranviarie e metropolitane (trazione elettrica). Isolatori di sezioni per tutte le velocità (da 30 a 250 Km/h) e tensioni elettriche in corrente continua e alternata. Morsetteria in CuNiSi ad alta resistenza meccanica per tutti i tipi di filo di contatto, terminali, morse di amarro e giunti a innesto rapido per fune portante. Pendini tradizionali e regolabili in altezza, pendini elastici – smorzatori per usi su alta velocità e linee tradizionali. Dispositivi di messa a terra e corto circuito. Soluzioni personalizzate e speciali su misura.

BONOMI EUGENIO S.p.A. – Via Mercanti, 17 – 25018 MONTICHIARI (BS) – Tel. 030/9650304 – Fax 030/962349 – E-mail: info.eb@gruppo-bonomi.com – www.gruppo-bonomi.com – Progettazione linee ferroviarie e tranviarie – Produzione di componenti ed accessori per i settori trazione elettrica e segnalamento – Sospensioni per linee tradizionali ed Alta Velocità – Dispositivi di pensionamento a contrappesi ed oleodinamici, morsetteria e connettori, attrezzatura ed utensili meccanici ed oleodinamici (prodotti per linee da 1,5 kV a 25 kV).

BOSCH SECURITY SYSTEMS S.p.A. – Via M.A. Colonna, 35 – 20149 MILANO (MI) – Tel. 02/36961 – E-mail: it.securitysystems@bosch.com – Prodotti e soluzioni in ambito Security, Safety e Communication per applicazioni di: videosorveglianza e artificial intelligence, rilevazione intrusione, rivelazione incendio, audio evacuazione e controllo degli accessi. Tecnologie innovative per la protezio-

ne dei beni e delle persone, e per l'efficiamento dei processi e dei servizi.

CANAVERA & AUDI S.p.A. Regione Malone, 6 – 10070 CORIO (TO) - Tel. 011/928628 – Fax 011/9282709 - E-mail: info@canavera.com - Sito web: www.canavera.com - Stampaggio a caldo particolari in acciaio fino a 200 kg - Lavorazioni meccaniche - Taglio laser, piega, saldatura e assemblaggio in acciaio e alluminio di serbatoi, componenti e strutture per carri, carrozze, tram e metropolitane.

CINEL OFFICINE MECCANICHE S.p.A. Via Sile, 29 – 31033 CASTELFRANCO VENETO (TV) – Tel. 0423/490471 – Fax 0423/498622 – E-mail: info@cinelspa.it – www.cinelspa.it – Stabilimenti: Via Sile, 29 – 31033 Castelfranco Veneto (TV) – Via Scalo Merci, 21 – 31030 Castello di Godego (TV) – Forniture per i settori ferroviario e tranviario: scambi ferroviari e tranviari, Kit cuscinetti elastici e autolubrificanti, Kit piastre per controrotaie 33C1, giunti isolanti incollati, piastre, piastrine, ganasce di giunzione, blocchi, caviglie, chiavarde, casse di manovra per deviatoio e accessori, tiranterie, zatteroni, traverse cave, fermascambi, immobilizzatori, dispositivi di bloccaggio, apparecchiature per segnalamento e sicurezza, passaggi a livello, materiali per rotabili.

G.C.F.E. S.p.A. – Via F. Fellini, 4 – 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) – Tel. 02/89536.100 – Fax 02/89536536 – www.colasrail.com – Impianti fissi di trazione elettrica chiavi in mano per trasporti ferroviari, metropolitane e tranvie – Studi di fattibilità, progettazione e realizzazione di linee di contatto, ferroviarie ed urbane – Sottostazioni elettriche per alimentazione in c.c. e c.a. – Linee primarie; impianti di telecomando – Impianti luce e forza motrice.

DOT SYSTEM S.r.l. – Via Marco Biagi, 34 – 23871 LOMAGNA (LC) – Tel. +39/039/92259202 – Fax +39/039/92259290 – E-mail: info@dotsystem.it – www.dotsystem.it – Monitor grafici LCD di banco per locomotive e carrozze pilota – Terminali grafici LCD per logica di treno e gestione dati diagnostici – Schede di comunicazione per Bus MVB classe 1, 2, 3 e 4 – Gateway MVB-Ethernet, MVB-CAN, MVB-RS485, MVB-Wireless – Moduli di ingresso/uscita digitali ed analogici per Bus MVB, CAN, ecc. – Cartelli indicatori grafici e tecnologia LED per interni ed esterni.

EBRebosio S.r.l. – Via Mercanti, 17 – 25018 MONTICHIARI (BS) – Tel. 030/9650304 – Fax 030/962349 – E-mail: info.eb@gruppo-bonomi.com – www.gruppo-bonomi.com – Progettazione linee ferroviarie e tranviarie – Produzione di componenti ed accessori per i settori trazione elettrica e segnalamento – Isolatori in silicone d'ormeggio, di sospensione, di sezione – Sospensioni per linee tradizionali ed Alta Velocità – Isolatori in resina epossidica per interno, scaricatori, sezionatori, interruttori (prodotti per linee da 1,5 kV a 500 kV).

ESIM S.r.l. – Via Degli Ebanisti, 1 – 70123 BARI – Tel. 080/5328425 – Fax +39/080/5368733 – E-mail: info@esim-group.com – www.esimgroup.com – **Sede di Roma: Via Sallustiana, 1/A** – Tel. 06/4819671 – Fax 06/48977008 – Progettazione e messa in opera di impianti elettrici, di telecomunicazione, di segnalamento e di trazione elettrica – Realizzazione e installazione di sistemi di diagnostica ferroviaria.

FAIVELEY TRANSPORT ITALIA S.p.A. – Via Volvera, 51 – 10045 PIOSSASCO (TO) – Tel. 011/9044.1 – Fax 011/9064394 – www.faiveley.com

Sistemi e prodotti a marchio SAB WABCO: Impianti di frenatura pneumatici, elettropneumatici, elettromeccanici ed elettroidraulici, freni a pattino tradizionali e a magneti permanenti, per veicoli ferroviari, metropolitani e tranviari – Sistemi di frenatura per treni ad alta velocità – Sistemi di antipattinaggio e antislittamento – Attuatori pneumatici, unità frenanti, regolatori di timoneria, gamma completa dei dischi del freno in ghisa e in acciaio – Compressori a pistoni, compressori rotativi a vite, essiccatori d'aria, unità di produzione e trattamento dell'aria compressa – Sistemi diagnostici di bordo di manutenzione – Apparecchiature elettroniche di comando e controllo del freno. *Sistemi e prodotti a marchio faiveley:* Convertitori statici di potenza e carica batterie – Impianti di riscaldamento e condizionamento – Porte e comandi porte – Sistemi di piattaforme – Porte di accesso treno – Pantografi – Interruttori di alta tensione – Sistemi di scatola nera – Registratori di eventi (DIS) – Sistemi diagnostici e telediagnostici di bordo – Sistemi di videosorveglianza.

FASE S.a.s. di Eugenio Di Gennaro & C. – Via del Lavoro, 41 – 20030 SENAGO (MI) – Tel. 02/9986557-02/9980622 – Fax 02/9986425 – E-mail: info@fase.it – www.fase.it – Strumentazione da quadro (indicatori analogici e digitali – TA e TV – Shunts e divisori di tensione) – Convertitori statici di misura – Strumentazione di bordo per mezzi rotabili (Treni A.V. – Locomotive elettriche e diesel-idrauliche – Veicoli ferroviari – Metropolitane e tranvie) – Apparecchiature elettroniche di misura e diagnostica costruite su specifica del Cliente – Fanali di coda e indicatori luminosi a led.

GALLOTTI 1881 S.r.l. – Via Codrignano, 57/a – 40026 IMOLA (BO) – Tel. 0542/690987 – Fax 0542/690987 – E-mail: gallotti@gallotti1881.com – www.gallotti1881.com – Costruzione con progettazione di strutture metalliche per il segnalamento ferroviario, strutture metalliche speciali, piantane ed attrezzature unifer, carpenterie metalliche e meccaniche.

GECO S.r.l. – Via Ugo Foscolo, 9 – 28066 GALLIATE (NO) – CF e P. Iva: IT01918320035 – Tel. 0321/806957 – E-mail: info@gecoitalia.biz – Progettazione, integrazione, prodotti, servizi ingegneristici e sviluppo software per applicazioni di informazione al pubblico, sincronizzazione oraria, videosorveglianza, diffusione audio, rilevazione incendio, sicurezza, antintrusione avvalendosi di

tecnologie innovative e partner altamente qualificati in ambito ferroviario.

GEOSEC S.r.l. – Via Mercalli 2/a, 43126 Parma – Tel. 0521/339323 - E-mail: commerciale@geosec.it - <http://www.geosec.it> - GEOSEC S.r.l. è specializzata nel consolidamento dei rilevati ferroviari attraverso iniezioni mirate di polimeri ad espansione controllata, con monitoraggio degli effetti tramite tomografia della resistività elettrica (ERT 3D), anche in configurazione wireless e senza interruzione del traffico ferroviario. Offriamo inoltre: Interventi di iniezione per la riduzione e il blocco delle infiltrazioni d'acqua nelle gallerie. Posa di pali presso-infissi per barriere antirumore. Iniezioni di polimeri espandenti per la mitigazione del rischio di liquefazione del terreno.

GOLDSCHMIDT ITALIA S.r.l. – Via Sirtori, 11 – 20017 RHO (MI) – Tel. 02/93180932 – Fax 02/93501212 – Materiali ed attrezzature per la saldatura alluminotermica delle rotaie.

ISOIL INDUSTRIA S.p.A. – Via F.lli Gracchi, 27 – 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) – Tel. 02/660271 – Fax 02/6123202 – E-mail: vendite@isoil.it – www.isoil.com – Strumentazione del materiale rotabile: Pick-up ad effetto Hall per misure di velocità anche multicanale – Generatori di velocità – Sensori Radar ad effetto doppler per velocità e distanza – Indicatori di velocità standard e applicazioni di sicurezza (SIL 2) – Juridical Recorder – MMI: Multifunctional Display per ERTMS – Videocamere – Passenger Information – Switch e Fotocellule di Sicurezza per porte – Livelli carburante – Pressostati e Termostati – Agente esclusivo di: DEUTA WERKE / JAQUET / GEORGIN / KAMERA & SYSTEM TECHNIK.

LA CELSIA SAS – Via A. Di Dio, 109 – 28877 ORNAVASSO (VB) – Tel. 0323/837368 – Fax 0323/836182 – Dal 1974 progettazione, produzione e vendita di contatti elettrici sinterizzati ed affini, materiali sinterizzati da metallurgia delle polveri, connessioni flessibili e particolari vari, annessi per interruttori, commutatori, sezionatori per tutte le apparecchiature elettromeccaniche di potenza e trasmissione dell'energia.

LUCCHINI RS S.p.A. – Via G. Paglia, 45 – 24065 LOVERE (BG) – Tel. 035/963562 – Fax 035/963552 – E-mail: rollinstock@lucchini.it – www.lucchini.it – Materiale rotabile per trasporti ferroviari urbani, suburbani e metropolitani; ruote cerchiate; ruote elastiche; ruote monoblocco; assili; cerchioni; boccole; sale montate da carro, carrozza e locomotiva completa di componenti; cuori fusi al manganese per scambi ferroviari – Riparazione e ripristino di sale montate con sostituzione di ruote e cerchioni – Revisione e collaudo di altri componenti.

M. PAVANI SEGNALAMENTO FERROVIARIO S.r.l. – Via Per Mirandola, 24 - 41033 Concordia sulla Secchia (MO) – Tel. 0386 565128 - E-mail: admin@mpavani.com - www.mpavani.com - Progettazione, installazione e messa in opera di impianti elettrici, di telecomunicazione e

di segnalamento - Fornitura e installazione di Kit cavi RED, ADP e QDS - Installazione e messa in servizio di impianti di videosorveglianza e antintrusione - Realizzazione di impianti per la copertura radio, rilevamento e spegnimento incendi, diffusione sonora - Progettazione, produzione, fornitura e installazione di apparecchi illuminanti.

MARINI IMPIANTI INDUSTRIALI S.p.A. – Via A. Chiarucci, 1 – 04012 CISTERNA DI LATINA – Tel. 06/96871088 – Fax 06/96884109 – E-mail: info@mariniimpianti.it – www.mariniimpianti.it – Registratori Cronologici di Eventi (RCE) – Monitoraggio della temperatura delle rotaie (UMTR) – Apparecchiature di diagnostica centralizzate degli impianti di Segnalamento di linea e di stazione (SDC) – Sistemi di supervisione – Strumenti di misura per sotto stazioni – Rilevatore differenziale per segnali luminosi alti a commutazione statica SDO – Generatore di alimentazione 83 Hz PSK – Progettazione ed installazione degli impianti.

MATISA S.p.A. – Via Ardeatina, km. 21 – Loc. S. Palomba – 00040 POMEZIA (ROMA) – Tel. 06/918291 – Telefax 06/91984574 – E-mail: matisa@matisa.it – Vagliatrici, rinalzatrici, profilatrici, veicoli di servizio per infrastruttura e catenaria, drasine di misura della geometria del binario, treni di costruzione nuovo binario, incavigliatrici, foratrasverse, forarotaie, apparecchiatura di controllo, segarotaie, gruppi rinalzatrici a lame vibranti.

MICROELETRICA SCIENTIFICA S.p.A. – Via Lucania, 2 – 20090 BUCCINASCO (MI) – Tel. +39/02/575731 – E-mail: info.MIL@microelettrica.com – www.microelettrica.com – Applicazioni Bordo Veicolo ed Industriali di: – Contattori e Sezionatori fino a 4.000V ca/cc – Interruttori Extrarapidi in fino a 4.000V e 10.000A in cc – Relè di protezione ca/cc – Trasduttori e Sistema di Misura – Resistenze di frenatura, MAT del neutro, filtri e banchi di carico – Metering, Sistemi di misura in Tensione e Corrente, Misura dell'Energia a bordo veicolo secondo norma EN50463 – Unità Funzionali e Box integrati – Ventilatori Assiali e Ventilatori Centrifughi.

MONT-ELE S.r.l. – Via Cavera, 21 – 20034 GIUSSANO (MI) – Tel. 0362/850422 – Fax 0362/851555 – E-mail: mont-ele@mont-ele.it – www.mont-ele.it – Ingegneria di sottostazioni di conversione e di sottostazioni di alimentazione sistemi A.V. 25 kV – Produzione di quadri innovativi, alimentatori, raddrizzatori, sezionatori bipolari, quadri filtri, quadri misure – Produzione commutatori 3600 V 3000 A, sezionatori bipolari 3000 A, trasduttori di corrente, quadri di sezionamento 25 kV (52 kW) e sezionatori di alta tensione – Realizzazione di impianti, sottostazioni fisse e mobili lato alternata e continua.

MOSDORFER RAIL S.r.l. – Sede operativa: Via Achille Grandi, 46 – 20017 RHO (MI) – Tel. +39 02/64088142 – E-mail: inforail.it@mosdorfer.com – Sviluppo e produzione di componenti T.E. per la linea di contatto ferroviaria e tramviaria: TENSOREX C+, sospensioni in alluminio ed

acciaio, isolatori compositi, dispositivi di messa a terra, morsetti in CuNiSi, in bronzo/alluminio ed acciaio forgiato. MOSDORFER RAIL S.r.l. fa parte della Multinazionale austriaca KNILL GROUP, leader mondiale nella progettazione, produzione e fornitura di morsetteria per linee di trasmissione ad alta tensione.

ORA ELETTRICA S.r.l. a socio unico – Sede legale: Corso XXII Marzo, 4 – 20135 MILANO – Sede operativa: Via Filanda, 12 – 20010 CORNAREDO (MI) – Tel. +39/02/93563308 – Fax +39/02/93560033 – E-mail: info@ora-elettrica.com – www.ora-elettrica.com – Progettazione, produzione, commercializzazione, installazione e manutenzione di apparecchiature elettroniche specifiche per la gestione del tempo: centrali orarie controllate via DCF e GPS, NTP server, sistemi di supervisione, orologi analogici e digitali (per interni ed esterni), orologi da pensilina, orologi monumentali da facciata, RCE Registratori Cronologici di Eventi, sistemi integrati per il controllo degli accessi veicolari e pedonali, sistemi TVPL, TVCC, sistemi di rilevamento presenze certificati SAP.

PANDROL S.r.l. – Via De Capitani, 14/16 – 20864 AGRATE BRIANZA (MB) – Tel. +39/039/9080007/ +39/039/9153752 – E-mail: info.it@pandrol.com – www.pandrol.com – Sistemi di attacco ferroviari per traverse in calcestruzzo armato e precompresso.

PISANI S.r.l. – Via Vilfredo Pareto, 20 – 27058 VOGHERA (PV) – Tel. +39/347/4318990 – E-mail: giorgio@pisani.eu – Sistemi informatizzati, non invasivi di monitoraggio e certificazione dei processi di realizzazione e controllo in esercizio della lunga rotaia saldata e della posizione plano altimetrica del binario.

PLASSER ITALIANA S.r.l. – Via del Fontanaccio, 1 – 00049 VELLETRI (ROMA) – Tel. 06/9610111 – Fax 06/9626155 – E-mail: info@plasser.it – www.plasser.it – Commercializzazione, riparazione e manutenzione di macchine per la costruzione e la manutenzione del binario ferroviario – Risanatrici, rinalzatrici, profilatrici, stabilizzatrici dinamiche, vetture di rilevamento e sistemi per la diagnostica del binario e della linea di contatto, saldatrici mobili per rotaie, autocarrelli con gru e piattaforme, autocarrelli per tesatura frenata linee di contatto, carrelli portabobine, dispositivi per video-ispezione linee ferroviarie e binario, rappresentanza attrezzature Robel.

POSEICO S.p.A. – Via Pillea, 42-44 – 16153 GENOVA – Tel. 010/8599400 – Fax 010/8682006-010/8681180 – E-mail: semicond@poseico.com – www.poseico.com – Dispositivi a semiconduttori di potenza (Diodi, Tiristori, GTO's, IGBT Press-pack, ecc.) – Dissipatori ad acqua per il raffreddamento di dispositivi di potenza sia press-pack che moduli – Assiemati di potenza con raffreddamento in aria naturale, aria forzata ed acqua – Ponti raddrizzatori per applicazioni industriali e di trazione – Analisi di guasto e servizio di collaudo – Riparazioni di assiemati di potenza – Distribuzione e/o commercializzazione di componenti nel campo dell'elettronica di potenza.

PROJECT AUTOMATION S.p.A. – Viale Elvezia, 42 – 20052 MONZA (MI) – Tel. 039/2806233 – Fax 039/2806434 – www.p-a.it – Sistemi ed apparecchiature di segnalamento, controllo e supervisione del traffico per metrotranvie e tranvie – Radiocomando scambi, casse di manovra carrabili, sistemi di controllo semaforico – Priorità mezzi pubblici – Sistemi di controllo e gestione traffico stradale.

RAND ELECTRIC S.r.l. – Via Padova, 100 – 20131 MILANO – Tel. 02/26144204 – Fax 02/26146574 – Canaline, fascette, sistemi di identificazione, guaine corrugate, guaine metalliche ricoperte, tutte con caratteristiche di reazione al fuoco e tossicità entro i parametri della specifica FS 304142 – Connettori elettrici di potenza standard o custom.

SCHAEFFLER ITALIA S.r.l. – Via Dr. Georg Schaeffler, 7 – 28015 MOMO (NO) – Tel. 0321/929211 – Fax 0321/929300 – E-mail: info.it@schaeffler.com – www.schaeffler.it – Cuscinetti volventi a marchio FAG e INA, standard e speciali, boccole ferroviarie, snodi sferici, attrezzature di montaggio e smontaggio, diagnostica.

S.I.D.O.N.I.O. S.p.A. – Via IV Novembre, 51 – 27023 CASOLNOVO (PV) – Tel. 0381/92197 – Fax 0381/928414 – E-mail: sidonio@sidonio.it – Impianti di sicurezza e segnalamento ferroviario – Impianti di elettrificazione ed illuminazione (linee BT/MT) – Opere stradali e ferroviarie – Scavi, demolizioni e costruzioni murarie – Impianti di telecomunicazione.

SITE S.p.A. – Divisione Trasporti – Via della Chimica, 3 – 40064 OZZANO DELL'EMILIA (BO) – Tel. 051/794820 – E-mail: site@sitespa.it – www.sitespa.it/railways – IMPIANTI DI SEGNALAMENTO FERROVIARIO: Progettazione e realizzazione di impianti di segnalamento per la sicurezza ferroviaria – Progettazione, fornitura, installazione, integrazione e messa in servizio di sistemi di segnalamento come il Blocco Automatico a Correnti Codificate, Sistemi di Controllo Marcia del Treno, Apparati Centrali Elettrici a Itinerari, etc. – Manutenzione, formazione e assistenza tecnica – RETI & SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI: Progettazione e realizzazione di reti Wireline e Wireless, di reti GSM-R e di sistemi SDH – Progettazione, fornitura, installazione, integrazione e messa in servizio di sistemi di: Informazione al Pubblico, Videosorveglianza, Supervisione per la sicurezza e la manutenzione, telefonia selettiva, Bigliettazione, etc. – Manutenzione, Formazione e assistenza tecnica – MESSA IN SICUREZZA GALLERIE: Progettazione layout impianti di Messa in Sicurezza delle Gallerie – Realizzazione di impianti per la copertura radio, il rilevamento e spegnimento incendi, la telefonia d'emergenza, diffusione sonora d'emergenza, illuminazione d'emergenza, etc.

SPII S.p.A. – Via Don Volpi, 37 angolo Via Montoli – 21047 SARONNO (VA) – Tel. 02/9622921 – Fax 02/9609611 – www.spil.it – info@spil.it – Temporizzatori elettromeccanici, multifunzione e digitali – Programmatori elettro-

meccanici, multifunzionali e digitali – Microinterruttori ed elementi di contatto di potenza – Elettromagneti – Relè di potenza e ausiliari – Relè di controllo tensione frequenza e corrente – Teleruttori per c.a. e per c.c., per bassa ed alta tensione – Sezionatori – Motori e motoriduttori frazionari in c.c. – Connettori – Dispositivi di interblocco multiplo a chiave – Combinatori e manipolatori – Equipaggiamenti integrati completi per la trazione pesante e leggera.

SUPERUTENSILI S.r.l. – Via A. Del Pollaiuolo, 14 – 50142 FIRENZE – Tel. 055/717457 – Fax 055/7130576 – Forniture ferrotranviarie: filtri e pannelli filtranti, utensili, macchinari, strumenti di misurazione, rimozione graffiti, certificazioni CE e rimessa a norma macchinari, grassi e lubrificanti.

TECNEL SYSTEM S.p.A. – Via Brunico, 15 – 20126 MILANO – Tel. 02/2578803 r.a. – Fax 02/27001038 – E-mail: tecnel@tecnelsystem.it – www.tecnelsystem.it – Pulsanti – Interruttori – Selettori – Segnalatori serie SWT04 per banchi manovra – Segnalatori a LED serie SI 30 – Pulsanti apertura/chiusura porte serie 56 e 57 – Pulsanti mancorrente richiesta fermata serie SWT84 – Pulsanti ed interruttori antivandalo – Sistemi di comando e protezione porte – Avvisatori ottici ed acustici – Sirene – Temporizzatori – Sensori movimento/presenza apertura porte – Pressacavi AGRO in materiale sintetico, ottone nichelato, acciaio inox – Guaina aperta autoavvolgente AGROsnap.

TEKFER S.r.l. – Via Gorizia, 43 – 10092 BEINASCO (TO) – Tel. 011/0712426 – Fax 011/0620580 – E-mail: segreteria@tekfer.com – www.tekfer.com – Sistemi per impianti di sicurezza e segnalamento – Apparecchiature per il blocco automatico – INFILL – Codificatori statici – Relè elettronici (TR, HR, DR, relè a disco e altri) – Prodotti per 83,3 Hz (generatori di potenza fino a 15 kVA, filtri e rifasatori) – Telecomandi in sicurezza – Diagnostica impianti – Progettazione e installazione impianti.

TESMEC RAIL – C/Da Bajone z.i. snc – Via Fogazzaro, 51 – 70053 MONOPOLI (BA) – Tel. 080/9374002 – Fax 080/4176639 – E-mail: info@tesmec.com – www.tesmec.com – Progettazione, costruzione e commercializzazione di mezzi d'opera ferroviari per l'elettrificazione e la manutenzione della catenaria: autoscale multifunzione ad assi e carrelli, scale motorizzate e unità di stendimento. Veicoli e sistemi per la diagnostica dell'armamento e della catenaria; sistemi diagnostici per il rilievo di difetti nelle gallerie ferroviarie e per la valutazione degli apparecchi di binario.

T&T S.r.l. – Via Vicinale S. Maria del Pianto – Complesso Polifunzionale Inail – Torre 1 – 80143 NAPOLI – Tel./ Fax 081/19804850/3 – E-mail: info@ttsolutions.it – www.ttsolutions.it – T&T (Technology & Transportation) opera da anni in ambito ferroviario offrendo servizi di consulenza ingegneristica – Specializzata per attività di System & Test Engineering – Progettazione e Sviluppo di Siste-

mi Embedded Real-Time per applicazioni Safety-Critical, Analisi RAMS, Verifica & Validazione, Preparazione Safety Assessment, Supporto alla Progettazione e alla Configurazione di Impianti di Segnalamento Ferroviario, Commissioning & Maintenance.

VAIA CAR S.p.A. – Via Isorella, 24 – 25012 CALVISANO (BS) – Tel. 030/9686261 – Fax 030/9686700 – E-mail: vaiacar@vaiacar.it – Saldatrici mobili strada-rotaia per la saldatura elettrica a scintillio delle rotaie – Gru mobili/ Escavatori strada-rotaia completi di accessori intercambiabili – Macchine operatrici mobili strada-rotaia con equipaggiamenti specifici – Macchine operatrici mobili ferroviarie e/o strada-rotaia per la manutenzione delle linee ferroviarie e delle linee elettriche aeree – Attrezzature speciali per il sollevamento, la movimentazione, la posa e la sostituzione di scambi ferroviari, campate, traverse e rotaie – Attrezzature speciali per il sollevamento, la movimentazione, la posa e la sostituzione di scambi e campate tranviari e/o metropolitani – Treni completi di sistemi per la costruzione delle linee ferroviarie ad alta velocità – Treni di sostituzione delle rotaie con sistemi per il carico e lo scarico delle rotaie – Unità di rinalzata del binario e di compattamento della massicciata.

VOESTALPINE RAILWAY SYSTEMS ITALY S.r.l. - Via Alessandria, 91 – 00198 Roma – Tel. 06/84241106 – E-mail: railwaysystems-italy@voestalpine.com – www.voestalpine.com/railway-systems – Progettazione, Consulenza, Produzione, Service e Logistica di Scambi ferroviari A.V., Apparecchi di binario convenzionali e tranviari, Rotaie Vignole e a gola, Casse di manovra ferroviarie e segnalamento completo tranviario – Sistemi diagnostici e monitoraggio per scambi e per materiale rotabile.

E Impianti di aspirazione e di depurazione aria

F Prodotti chimici ed affini

G Articoli di gomma, plastica e vari

FLUORTEN S.r.l. – Via Cercone, 34 – 24060 CASTELLI CALEPIO (BG) – Tel. 035/4425115 – Fax 035/848496 – E-mail: fluorten@fluorten.com – www.fluorten.com – Semilavorati e prodotti finiti in PTFE e RULON® per industria meccanica, chimica, elettrica ed elettronica – Progettazione, costruzione stampi e stampaggio tecnopolimeri – Esclusivista Du Pont per l'Italia di semilavorati e finiti in Du Pont™ VESPEL®. Produzione di piastre in PTFE Certificate dal Politecnico di Milano a norma EN 1337-2. Certificazione sistema di gestione qualità per il settore

aerospaziale EN 9100:2009 Certificate n. 5695/0. Certificazione sistema di gestione qualità ISO 9001:2008 Certificate n. 21. Certificazione sistema di gestione ambientale ISO 14001:2004 Certificate n. 27.

KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG – Goellstrasse, 8 – D-84529 TITTMONING (Germania) – Tel. +49(8683)701-151 – Fax +49(8683)701-45151 – www.strail.com – STRAIL sistemi di attraversamenti a raso & STRAILastic sistemi di isolamento per rotaie – Goellstrasse, 8 – D 84529 TITTMONING – Tel. +39/392/9503894 – Fax +39/02/87151370 – E-mail: tommaso.sa vi@strail.it – www.strail.it – Sistemi modulari in gomma vulcanizzata per attraversamenti a raso STRAIL, innoSTRAIL, pedeSTRAIL, pontiSTRAIL – Moduli esterni per i carichi più pesanti – veloSTRAIL – Moduli interni che eliminano la gola – Per tutti i tipi di traffico, strade e armamento (anche per ponti, scambi, gallerie, curve, impianti industriali) – Dispositivi elastici per la riduzione del rumore, delle vibrazioni oltre che per l'isolamento elettrico del binario – STRAILastic_P, STRAILastic_S, STRAILastic_R, STRAILastic_K, STRAILastic_DUO, STRAILastic_USM ed infine STRAILastic_A costituiscono la gamma completa di questa nuova linea.

PANTECNICA S.p.A. – Via Magenta, 77/14A – 20017 RHO (MI) – Tel. 02/93261020 – Fax 02/93261090 – E-mail: info@pantecnica.it – www.pantecnica.it – Sistemi antivibranti per materiale rotabile e per armamento ferrotranviario – Completa gamma di guarnizioni per tenuta fluidi – Certificata ISO 9001:2015 e EN 9120:2018 – Fornitore Trenitalia.

PLASTIROMA S.R.L. – VIA PALOMBARESE, km 19,100 – 00012 GUIDONIA MONTECELIO (ROMA) – Tel. 0774/367431-32 – Fax 0774/367433 – E-mail: info@plastiroma.it – www.plastiroma.it – Morsetterie, contropiastre, cassette per C.D.B., materiale isolante per C.D.B., segnali bassi di manovra, segnali alti di chiamata, shunt, componenti in materiale plastico per relè FS, progettazione di articoli tecnici.

H Rilievi e progettazione opere pubbliche

ABATE dott. ing. Giovanni – Via Piedicavallo, 14 – 10145 TORINO – Tel./Fax 011/755161 – Cell. 335/6270915 – E-mail: abateing@libero.it – Armamento ferroviario – Progettazione e direzione lavori di linee ferroviarie, metropolitane e tranviarie – Armamento ferroviario e linee per trazione elettrica – Redazione di progetti costruttivi preliminari e definitivi comprensivo dei piani di sicurezza e di coordinamento sia in fase di progettazione che in fase di esecuzione per raccordi industriali – Rilievi e tracciamenti finalizzati alla progettazione di linee ed impianti ferroviari.

ISiFer S.r.l. – Sede legale: Via Mazzini, 15 – 80053 CASTELLAMMARE DI STABIA (NA) – Sede operativa: Via Gorizia, 1 – CICCIANO (NA) – Tel. 081/5741055 – Fax

081/5746835 – E-mail: segreteria@isifer.com – info@isifer.com – www.isifer.com – Azienda di ingegneria specializzata nel settore ferroviario con particolare riferimento alle attività di Concezione, Progettazione, Realizzazione, Verifica, Validazione, Collaudo, Messa in Servizio, Diagnostica e Manutenzione.

PRISMA ENGINEERING S.r.l. – Via Villa Lidia, 45 – 16014 CERANESI (GE) – Tel./Fax 010/7172078 – E-mail: nadia.barbagelata@prismaengineering.net – www.prismaengineering.net – Impianti di segnalamento ferroviario – Realizzazione Progetti di Fattibilità, Definitivi, Esecutivi e Costruttivi di impianti IS (ACEI-ACC-ACCM-SCMT-ERT-MS_L2) – Realizzazioni di Verifiche e Validazioni dei progetti comprese prove di campo.

I Trattamenti e depurazione delle acque

L Articoli e dispositivi per la sicurezza sul lavoro

SCHWEIZER ELECTRONIC S.r.l. (SEIT) – Sede Centrale: Via Santa Croce, 1 – 20122 MILANO – Tel. +39/02/89426332 – Fax +39/02/83242507 – E-mail: franco.pedrinazzi@schweizer-electronic.com – www.schweizer-electronic.com – Sede legale: Via Gustavo Modena, 24 – 20129 Milano – Sistemi di Sicurezza Protezione Cantieri (SAPC) e può fornire servizio chiavi in mano, di protezione cantieri con SAPC “Sistema Minimel 95”, comprensivo di: Progettazione, installazione, formazione del personale, disinstallazione, manutenzione ed a richiesta gestione del SAPC in cantiere con proprio personale – Sistemi di segnalamento fisso, Minimel, ISP, che integrano le parti mobili di SAPC Minimel 95 nel segnalamento esistente – Sistemi di comunicazione nell'ambito della sicurezza ad alto contenuto tecnologico.

M Tessuti, vestiario, copertoni impermeabili e manufatti vari

N Vetrofanie, targhette e decalcomanie

O Formazione

D&T srl – Largo Promessi Sposi - 20142 Milano – Tel. 3486979791 – E-mail: dt.marketing@datatech.net – http://www.datatech.com/ – Shrail è una divisione di D&T, azienda che crea sofisticati simulatori per mezzi di trasporto (treni, tram, metro, filobus) e di apparati cen-

trali. Fornisce anche simulazioni di folle e un simulatore 3D per supportare la formazione sulla manutenzione ferroviaria.

P Enti di certificazione

ITALCERTIFER S.p.A. – Piazza della Stazione, 45 – 50123 FIRENZE – Tel. 055/2988811 – Fax 055/264279 – www.italcertifer.it – Organismo notificato n. 1960 (Direttiva 2008/57/CE) – Verificatore indipendente di sicurezza (linee guida ANSF) – Organismo di ispezione di tipo A (norma EN 17020) per sottosistemi ferroviari e per la validazione di progetti civili – Laboratori accreditati per prove di componenti e sottosistemi ferroviari.

Q Società di progettazione e consulting

INTERLANGUAGE S.r.l. – Strada Scaglia Est 134 – 41126 MODENA – Tel. 059/344720 – Fax 059/344300 – E-mail: info@interlanguage.it – www.interlanguage.it – Traduzioni tecniche, giuridiche, finanziarie e pubblicitarie – Impaginazione grafica, localizzazione software e siti web. Qualificati nel settore ferroviario.

BONIFICA S.p.A. – Via della Camilluccia 67, 00135 Roma – Tel. 06 415391 – PEC: bonificaspa@legalmail.it. Società Italiana di ingegneria civile specializzata nella progettazione, direzione lavori e project management di infrastrutture di trasporto. Opera nei settori stradale, ferroviario, portuale, oltre che in ambito ambientale e idraulico. Fornisce servizi

di ingegneria multidisciplinare dalla fattibilità alla progettazione esecutiva, supporto alle gare e controllo dei progetti. Dal 2015 BONIFICA S.p.A. adotta la metodologia BIM operando ai più elevati livelli di maturità del processo, con esperienze concrete nel 4d e 5d Modeling.

R Trasporto materiale ferroviario

FERRENTINO S.r.l. – Via Trieste, 25 – 17047 VADO LIGURE (SV) – Tel. 019/2160203 – Cell. +39/3402736228 – Fax 019/2042708 – E-mail: alessandroferrentino@gmail.com – www.ferrentinoconsulship.com – Consulenza e organizzazione trasporti, imbarchi, sbarchi per materiale ferroviario – Assistenza e consulenza per imballo, protezione e movimentazione pezzi eccezionali.

S Servizi assicurativi

ASSIFIDI SPA – Piazza del Sole 81 – 00144 Roma – tel.06.87652053 – E-mail: info@assifidi.it - <http://www.assifidi.it> - Broker di Assicurazioni specializzato nel settore degli appalti, delle costruzioni e professioni tecniche. Assistenza nella partecipazione a gare d'appalto, affidamenti cauzioni, analisi dei bandi di gara, per quanto attiene aspetti fideiussori ed assicurativi, collocamento delle garanzie e coperture previste in caso di aggiudicazione. Responsabilità Civile Professionale, RC Progettista "ex Merloni", Responsabilità Civile verso Terzi e Dipendenti, All Risks studio professionale, Tutela Legale, Cyber Risk, Piani Sanitari.

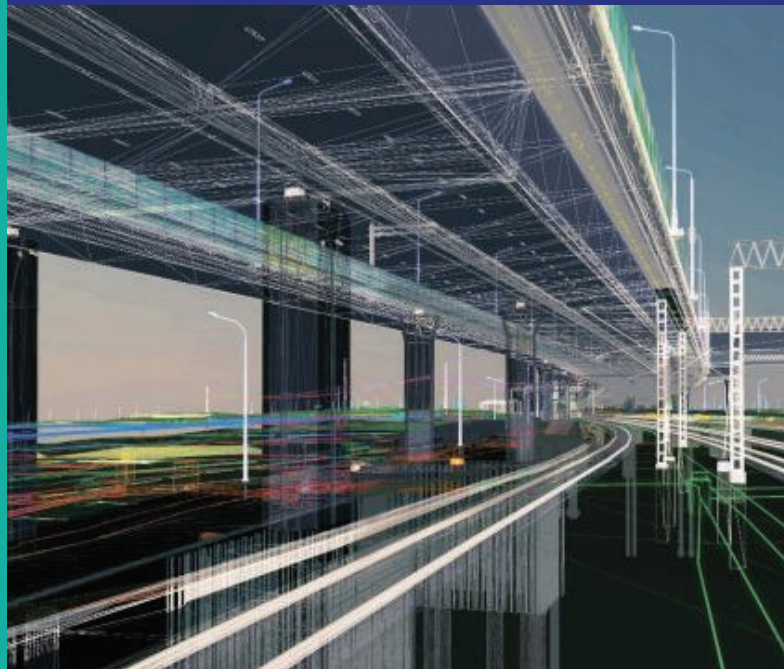
Prof. Ing. Stefano Ricci, *direttore responsabile*
Registrazione del Trib. di Roma 16 marzo 1951, n. 2035 del Reg. della Stampa

Stab. Tipolit. Ugo Quintily S.p.A. - Roma
Finito di stampare nel mese di Maggio 2026
Printed in May 2026

PER SVILUPPARE LA CULTURA DEI TRASPORTI SCEGLI I CORSI SU



[HTTPS://WWW.FERROVIE.ACADEMY/CORSI/](https://www.ferrovie.academy/corsi/)
[HTTPS://WWW.CIFI.IT/CIFI-SERVIZI/ACQUISTO-CORSI/](https://www.cifi.it/cifi-servizi/acquisto-corsi/)



FORMAZIONE TECNICO AMMINISTRATIVA

- Codice appalti, gestione progetti e lavori di ferrovie
- Codice appalti 2023 gestione progetti e lavori ferrovie, strade e aeroporti
- Esperto tecnico gare d'appalto di ferrovie
- Gare d'appalto e criteri di aggiudicazione
- Strategie e pratiche per vincere gare nel settore ferroviario internazionale
- Direzione lavori negli appalti di ferrovie
- RUP ferroviario e supporto al RUP
- Subappalto ferroviario
- Computo metrico ferroviario e contabilità Lavori
- Modifiche e varianti, appalti di ferrovie e impianti fissi con D. Lgs 50/2016
- Modifiche e varianti in corso d'opera con D. Lgs 36/2023
- Riserve dell'appaltatore
- Collegio Consultivo Tecnico
- Esperto collaudo tecnico amministrativo di ferrovie, strade e impianti fissi

FORMAZIONE SPECIALISTICA

- IS-0 Installatori di impianti di sicurezza e segnalamento di tipo elettromeccanico
- IS-1 Progettisti, verificatori, validatori di impianti di sicurezza e segnalamento
- IS-A Installatore ACC/ACCM Tradizionale e ERTMS Oriented
- Progettista funzionale ERTMS
- Esperto ERTMS
- ERTMS Certification & Authorisation (Part ETCS)
- ACC-ACCM-ERTMS: come applicare le norme CENELEC
- Esperto telecomunicazioni ferroviarie
- Installatore TLC telecomunicazioni ferroviarie
- Esperto in trazione elettrica linea di contatto
- Impianti elettrici ferroviari (LFM) Progettazione e messa in opera
- Tracciati e armamento ferroviario e impianti fissi: progettazione, costruzione e manutenzione
- Esperto diagnostica del binario
- Progettista tracciati ferroviari e stradali
- Ponti, viadotti e gallerie ferroviarie e stradali Sistemi gestione sicurezza - Valutazione del rischio - Manutenzione
- Esperto ponti e viadotti: progetto e costruzione
- Ingegnere del veicolo ferroviario
- Gestione e controllo dei veicoli ferroviari Sistema di controllo e TCMS
- Esperto ECM dei veicoli ferroviari: locomotive, materiale passeggeri, carri, mezzi d'opera
- Intelligenza artificiale applicata ai trasporti

**SCARICA IL
PROGRAMMA
COMPLETO
DEI CORSI**



Via Giovanni Giolitti 46 - Roma



06 4742987

segreteria.cifiservizi@cifi.it



cifiservizi@cifi.it

Ci prendiamo cura delle tue rotaie



MOLATURA E DIAGNOSTICA DEL BINARIO

Offriamo soluzioni a 360°, dalla molatura di rotaie e scambi a servizi di diagnostica e controllo ad ultrasuoni.

www.salcef.com

