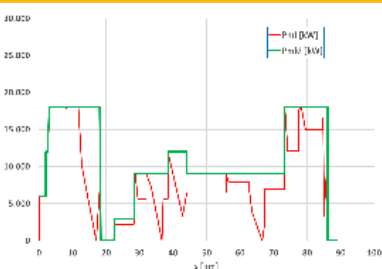


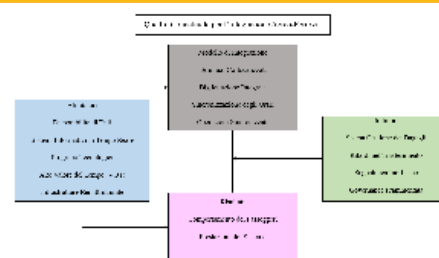
Plasser Italiana

UNIMAT 09-8x4/4S BR-DYNAMIC E³

In questo numero
In this issue



**Sistemi di trazione integrati
con motori lineari**
*Traction systems integrated
with linear motors*



**Revisione della letteratura
sull'integrazione aereo-ferrovia**
*Literature Review
on Air-Rail Integration*

PER SVILUPPARE LA CULTURA DEI TRASPORTI SCEGLI I CORSI SU



<https://www.ferrovie.academy/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
- Direzione lavori negli appalti di ferrovie
- Subappalto ferroviario
- Computo metrico ferroviario e contabilità Lavori
- Modifiche e varianti, appalti di ferrovie e impianti fissi
- Riserve dell'appaltatore
- CCT Collegio Consultivo Tecnico
- Esperto collaudo tecnico amministrativo di ferrovie, strade e impianti fissi

FORMAZIONE SPECIALISTICA

- Fondamenti di tecnica ferroviaria
- Organizzazione, tecnica e sicurezza delle ferrovie
- Esperto in valutazione del rischio e verifica CE dei sottosistemi ferroviari
- Sicurezza nei cantieri temporanei o mobili di ferrovie
- Esperto sicurezza elettrica in ambito ferroviario
- IS-0 Installatori di impianti di sicurezza e segnalamento di tipo elettromeccanico
- IS-1 Progettisti, verificatori, validatori di impianti di sicurezza e segnalamento
- Progettista funzionale ERTMS
- Esperto ERTMS
- ACC-ACCM-ERTMS: come applicare le norme CENELEC
- Esperto telecomunicazioni ferroviarie
- Installatore TLC telecomunicazioni ferroviarie
- Esperto in trazione elettrica linea di contatto
- 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
- Esperto ponti e viadotti: progetto e costruzione
- Ingegnere del veicolo ferroviario

SCARICA IL
PROGRAMMA
COMPLETO
DEI CORSI



cifiservizi@cifi.it
segreteria.cifiservizi@cifi.it



06 4742987

I SOCI COLLETTIVI DEL COLLEGIO INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI

A.M.T. - GENOVA
 A.T.M. S.p.A. - MILANO
 AET S.r.l. - NAPOLI
 AI2 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
 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)
 ANIAF - ASSOCIAZIONE NAZIONALE IMPRESE ARMAMENTO FERROVIARIO - ROMA
 ANSFISA - FIRENZE
 ANTERR - ASS.NE NAZIONALE TECNOLOG. 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
 AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO ORIENTALE - TRIESTE
 B. & C. PROJECT S.r.l. - SAN DONATO MILANESE (MI)
 BITECNO S.r.l. - BOLOGNA
 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 ENGINEERING S.r.l. - ARIANO IRPINO (AV)
 C.I.F. COSTRUZIONI LINEE FERROVIARIE S.p.A. - BOLOGNA
 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
 COSTRUIRE ENERGIE S.r.l. - GUIDONIA MONTECELIO (RM)
 CZ LOKO ITALIA S.r.l. - PORTO MANTOVANO (MN)
 D&T S.r.l. - MILANO
 D'ADDETTA S.p.A. - BERCETO (PR)
 D'ADIUTTORIO 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)
 EMMEFER SRL - MONTEMELETTO (AV)
 ENTE AUTONOMO VOLTURNO S.r.l. - NAPOLI
 EREDI GIUSEPPE MERCURI S.p.A. - NAPOLI
 ESERCIZIO RACCORDI FERROVIARI - VENEZIA
 ESIM S.r.l. - BARI
 ESIN S.p.A. - NAPOLI
 ESPERIA S.r.l. - PAOLA (CS)
 ETS SRL SOCIETÀ 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 SPA - PAVIA DI UDINE (UD)
 FONDAZIONE FS ITALIANE - ROMA
 FOR.FER S.r.l. - ROMA
 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. - POGGIORE (RE)
 GEMATICA S.r.l. - NAPOLI
 GEOSIC 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)
 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
 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)
 MOSDORFER RAIL S.r.l. - RHO (MI)
 NET ENGINEERING S.r.l. - VERONA
 NICCHERI TITO S.r.l. - AREZZO
 NIER INGEGNERIA S.p.A. SOCIETÀ 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)
 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)
 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)
 SPII S.p.A. - SARONNO (MI)
 SPIITEK 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. - BORGO PIAVE (LT)
 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
 TECNOLOGIE MECCANICHE S.r.l. - ARICCIA (RM)
 TECNOSISTEM S.p.A. - NAPOLI
 TECNOTEAM ITALIA S.r.l.s. - MERCATALE DI OZZANO DELL'EMILIA (BO)
 TEKFER S.r.l. - BEINASCO (TO)
 TEKNO KONS INNOVATION S.r.l. - AVERSA (CE)
 TELEFIN S.p.A. - VERONA
 TELT 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
 TRENTALIA S.p.A. - ROMA
 TRENTALIA TPER - BOLOGNA
 TRENORD S.r.l. - MILANO
 TRENTINO TRASPORTI S.p.A. - TRENTO
 TUA - SOCIETÀ 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)
 VALTELLINA S.p.A. - GORLE (BE)
 VERICERT S.r.l. - FORNACE ZARATTINI (RA)
 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

PLASSER Italiana S.r.l. – Velletri (RM)	I copertina
CIFI Servizi S.r.l. – Roma	II copertina
KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. – Tittmoning (Germania)	pagina 850
SALCEF GROUP S.p.A. – Roma	pagina 882
PLASTIROMA S.r.l. – Guidonia Montecelio (RM)	pagina 915
ESSEN ITALIA S.p.A. – Roma	III copertina
CLF – Costruzioni Linee Ferroviarie S.p.A. – Bologna	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 edita 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 - Contacts

Tel. 06.4742987

E-mail: redazione@if@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 Board

Benedetto 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 PETRUCELLI
Luca RIZZETTO
Stefano ROSSI
Dario ZANINELLI

Consulenti - Consultants

Giovannino CAPRIO
Paolo Enrico DEBARBIERI
Giorgio DIANA
Antonio LAGANA
Emilio MAESTRINI
Mauro MORETTI
Silvio RIZZOTTI
Giuseppe SCIUTTO

Redazione - Editorial Staff

Massimiliano BRUNER
Ivan CUFARI
Francesca PISANO



Associazione 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 LXXX | **Novembre 2025** | 11**Condizioni di Associazione al CIFI****826****SISTEMI DI TRAZIONE AD ADERENZA
INTEGRATI CON MOTORI LINEARI
ADHESION TRACTION SYSTEMS INTEGRATED
WITH LINEAR MOTORS**

Arbra BARDHI

Valter DI MARIO

Gabriele MALAVASI

Luca RIZZETTO

829**UNA REVISIONE SISTEMATICA DELLA LETTERATURA
SULL'INTEGRAZIONE AEREO FERROVIA
A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW
ON AIR-RAIL INTEGRATION**

Nandhini MAHESH

Reem HADEED

Marin MARINOV

Elizabeth WANNE

851**Vita del CIFI - Railway Forum Napoli 2025 - Slab Track****883****Vita del CIFI - Trieste ferroviaria, tra tecnica e cultura
Tre giorni all'insegna della scoperta e riscoperta della tranvia
di Opicina e delle linee tra Trieste, Nova Gorica
e Gorizia - 17 ottobre 2025****887****Notizie dall'interno****891****Notizie dall'estero***News from foreign countries***903****IF Biblio****913****Condizioni di Abbonamento a IF - Ingegneria Ferroviaria***Terms of subscription to IF - Ingegneria Ferroviaria***914****Elenco di tutte le Pubblicazioni CIFI****916****Fornitori di prodotti e servizi****918**

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 editate 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



Sistemi di trazione ad aderenza integrati con motori lineari

Adhesion traction systems integrated with linear motors

ARBRA BARDHI ^(*)

Valter DI MARIO ^(**)

Gabriele MALAVASI ^(***)

Luca RIZZETTO ^(*)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.11.2025.ART.1>)

Sommario - Il presente studio analizza la possibilità di integrare sistemi di trazione convenzionale ad aderenza con motori lineari derivati dalla tecnologia Maglev, al fine di migliorare le prestazioni dei treni merci su linee ferroviarie con elevate pendenze. Dopo aver presentato i principali sistemi Maglev e le loro funzioni di guida e propulsione magnetica, vengono presentate le caratteristiche dei motori lineari a induzione (LIM) e sincroni (LSM) ed analizzate le possibilità di utilizzo nei sistemi ferroviari tradizionali. Su un tracciato di riferimento con elevate pendenze e limiti di velocità massima, sono state eseguite simulazioni dinamiche per confrontare le prestazioni cinematiche e dinamiche in diversi scenari di esercizio. Gli scenari differiscono per la massa del treno, il numero di locomotive e la presenza o meno del motore lineare. I risultati mostrano che l'integrazione di motori lineari lungo tratti selezionati consente di superare i limiti imposti dall'aderenza ruota-rotaia, mantenendo velocità più elevate e riducendo la necessità di trazione con più locomotive. Lo studio evidenzia i vantaggi ottenibili con i sistemi di trazione ibridi pur evidenziando la necessità di approfondire ulteriori aspetti come la loro regolazione, la compatibilità elettromagnetica, l'interoperabilità e valutarne l'efficienza tecnico-economica.

1. Introduzione

L'applicazione della levitazione magnetica nei sistemi di trasporto (Maglev) è un tema che ha interessato la ricerca e la sperimentazione da diversi anni e non si è mai interrotta come dimostrano i sistemi attualmente in esercizio.

Il progetto di ricerca europeo "Maglev-Derived Systems for Rail" (MaDe4Rail) [11][16], concluso di recente, ha esplorato i sistemi di trasporto non convenzionali

Summary - This study analyses the possibility of integrating conventional adhesion traction systems with linear motors derived from Maglev technology to improve the performance of freight trains on steep-gradient railway lines. After presenting the main Maglev systems and their magnetic guidance and propulsion functions, the characteristics of linear induction (LIM) and synchronous (LSM) motors are presented and their potential applications in traditional railway systems are analysed. On a reference track with steep gradients and maximum speed limits, dynamic simulations were performed to compare kinematic and dynamic performance in different operating scenarios. The scenarios differ in terms of train mass, number of locomotives, and the presence or absence of linear motors. The results show that integrating linear motors along selected sections overcomes the limitations imposed by wheel-rail adhesion, maintaining higher speeds and reducing the need for multiple locomotive traction. The study highlights the advantages achievable with hybrid traction systems while highlighting the need to investigate further aspects such as their control system, electromagnetic compatibility, interoperability and to evaluate their technical and economic efficiency.

1. Introduction

The application of magnetic levitation in transportation systems (Maglev) is a topic that has interested research and experimentation for several years and has never stopped, as demonstrated by the systems currently in operation.

The recently concluded European research project "Maglev-Derived Systems for Rail" (MaDe4Rail) [11][16] explored unconventional and magnetic levitation-derived transport systems. The possibility of introducing magnetic guidance and magnetic propulsion functions into conventional systems would appear to provide benefits to the performance

^(*) Sapienza Università di Roma.

^(**) PhD.

^(***) Sapienza Università di Roma, f. r.

^(*) Sapienza Università di Roma.

^(**) PhD.

^(***) Sapienza Università di Roma, f. r.

e derivati dalla levitazione magnetica. La possibilità di introdurre le funzioni di guida magnetica e di propulsione magnetica nei sistemi convenzionali sembrerebbe fornire benefici alle prestazioni dei sistemi di trasporto convenzionali. Le funzioni di trazione magnetica attraverso motori lineari consentirebbero di superare i limiti posti dall'aderenza del contatto ruota-rotaia: le pendenze elevate condizionano la velocità di marcia e la massa dei treni merci pesanti.

La trazione ad aderenza prodotta da una unità di trazione con motori rotanti potrebbe essere integrata con l'implementazione di motori lineari creando sistemi di trazione ibridi.

La fattibilità tecnica e la compatibilità con le specifiche tecniche di interoperabilità devono essere approfondite.

In tale scenario il presente studio ha lo scopo di verificare le prestazioni cinematiche di treni merci pesanti ottenibili con sistemi di trazione ibridi, trazione ad aderenza e veicoli con motori lineari, sulle linee con elevate pendenze superando i limiti che impongono a volte composizioni con più unità di trazione o la limitazione della massa dei treni.

Nel capitolo 1 vengono presentati alcuni esempi di sistemi magnetici in esercizio, urbani ed extra urbani, che viaggiano a velocità massime variabili da 100 a 430 km/h. L'analisi delle tecnologie Maglev presentate nel capitolo 2 evidenzia le funzioni di guida magnetica e propulsione con motori lineari applicabili al sistema ferroviario convenzionale.

Il capitolo 3 esamina le tipologie di motori lineari a induzione e motori lineari sincroni e introduce le relazioni utili per la determinazione della potenza elettrica a partire dalla potenza meccanica, utilizzate nel caso di studio sviluppato nel capitolo 4. Nel caso di studio vengono studiati i diagrammi di marcia e le potenze richieste in diversi scenari di composizione e sistemi di trazione. Alcune considerazioni conclusive sono riportate nel capitolo 5.

2. Stato dell'arte dei sistemi magnetici

L'efficienza energetica dei veicoli ferroviari tradizionali, che si muovono lungo i binari grazie all'interazione ruota-rotaia, è limitata dall'aderenza al contatto ruota-rotaia. Il treno a levitazione magnetica (Maglev) sembra in grado di aumentare l'efficienza energetica riducendo l'attrito grazie all'uso di sistemi a levitazione magnetica e sistemi di propulsione con motore lineare senza alcun contatto tra la parte fissa e la parte mobile.

I sistemi a levitazione magnetica rappresentano una tecnologia di trasporto in continua evoluzione. Attualmente, alcune linee sono in funzione a livello commerciale, mostrando diversi approcci tecnologici e caratteristiche operative.

Gli esempi più significativi di sistemi Maglev operativi includono:

of conventional transport systems. Magnetic traction functions through linear motors would allow overcoming the limits imposed by the wheel-rail contact adhesion: high gradients affect the speed and mass of heavy freight trains.

The adhesion traction produced by a traction unit with rotary motors could be integrated with the implementation of linear motors creating hybrid traction systems.

Technical feasibility and compatibility with the technical specifications for interoperability need to be explored further.

In this scenario, this study aims to verify the kinematic performance of heavy freight trains achievable with hybrid traction systems, adhesion traction and vehicles with linear motors, on lines with steep gradients, overcoming the limitations sometimes imposed by compositions with multiple traction units or by the limitation of train mass.

Chapter 1 presents some examples of operational magnetic systems, both urban and suburban, traveling at maximum speeds ranging from 100 to 430 km/h. The analysis of the Maglev technologies presented in Chapter 2 highlights the magnetic guidance and linear motor propulsion functions applicable to the conventional railway system.

Chapter 3 examines the types of linear induction motors and synchronous linear motors and introduces the relationships useful for determining electrical power from mechanical power, which are used in the case study developed in Chapter 4. The case study examines the motion diagrams and power requirements for different composition scenarios and traction systems. Some concluding remarks are provided in Chapter 5.

2. State of the art of magnetic systems

The energy efficiency of traditional rail vehicles, which move along the track thanks to wheel-rail interaction, is limited by the friction between the wheels and the rails. Magnetic levitation (Maglev) trains appear to be able to increase energy efficiency by reducing friction through the use of magnetic levitation systems and linear motor propulsion systems with no contact between the fixed and moving parts.

Magnetic levitation systems are a constantly evolving transportation technology. Currently, several lines are in commercial operation, demonstrating different technological approaches and operational characteristics.

The most significant examples of operational Maglev systems include:

- *Shanghai Maglev (China): Inaugurated in 2004, this high-speed line connects Shanghai Pudong International Airport with the city's outskirts, covering 30 km in about 7 minutes. It uses Transrapid technology developed in Germany and reaches speeds of up to 430 km/h.*
- *Linimo (Japan): A low-speed magnetic levitation system used for urban transportation; the Linimo line has been in operation since 2005 in Aichi Prefecture, reaching speeds of up to 100 km/h. It was the first com-*

- Shanghai Maglev (Cina): inaugurata nel 2004, questa linea ad alta velocità collega l'aeroporto internazionale di Shanghai Pudong con la periferia della città, coprendo 30 km in circa 7 minuti. Utilizza la tecnologia Transrapid sviluppata in Germania e raggiunge velocità fino a 430 km/h.
- Linimo (Giappone): sistema a levitazione magnetica a bassa velocità utilizzato per il trasporto urbano; la linea Linimo è in funzione dal 2005 nella prefettura di Aichi, e raggiunge velocità fino a 100 km/h. È stata la prima applicazione commerciale della levitazione magnetica in un contesto urbano pubblico.
- Changsha Maglev Express (Cina): operativa dal 2016, questa linea a media velocità collega l'aeroporto internazionale di Changsha Huanghua alla stazione ferroviaria ad alta velocità della città. Si estende per 18,5 km e raggiunge la velocità massima di 100 km/h.
- Incheon Airport Maglev (Corea del Sud): inaugurata nel 2016, questa linea a bassa-media velocità collega l'aeroporto internazionale di Incheon alle zone limitrofe. Utilizza treni senza conducente, sospensione elettromagnetica ed è nota per essere gratuita e completamente automatizzata.

I motori di trazione utilizzati sono motori lineari a induzione (LIM) o motori sincroni lineari (LSM).

Nella letteratura sono presenti numerosi contributi che analizzano l'uso ed i benefici dei motori lineari LIM e LSM tra cui ad esempio quelli di seguito riportati.

Nell'articolo [1] è stata fornita una panoramica dei diversi sistemi di trasporto lineare, con particolare attenzione alle applicazioni che utilizzano motori a induzione lineari. Nello specifico, sono state presentate e discusse nuove metodologie pratiche in grado di risolvere alcuni importanti problemi relativi al motore LIM. Nonostante la minore efficienza del LIM rispetto al motore rotante, per molte applicazioni il sistema LIM rappresenta una soluzione di trasporto che compete, con successo, con l'alternativa convenzionale basata sul motore rotante.

Nell'articolo [2] viene analizzata l'efficienza del LIM ed evidenziato che essa aumenta con la variazione della frequenza di scorrimento. Il lavoro [3] discute le prestazioni di trazione di un motore a induzione lineare monofase e di un motore sincrono lineare a magneti permanenti Halbach (PM-LSM) monofase senza nucleo per treni a levitazione magnetica a media e bassa velocità. Nell'articolo [4] l'obiettivo della ricerca è migliorare l'efficienza energetica di un treno a levitazione magnetica verificando le prestazioni del motore LIM mediante misure sperimentali.

Le caratteristiche tecnologiche dei sistemi di trasporto a levitazione magnetica (Maglev), dal punto di vista dell'ingegneria dei trasporti, sono riassunte nell'articolo [18] fornendo una sintesi dello stato dell'arte internazionale, delle attività di ricerca e delle applicazioni più significative degli ultimi 5 decenni.

mercial application of magnetic levitation in a public urban context.

- *Changsha Maglev Express (China): Operating since 2016, this medium-speed line connects Changsha Huanghua International Airport to the city's high-speed rail station. It extends for 18.5 km and reaches a maximum speed of 100 km/h.*
- *Incheon Airport Maglev (South Korea): Opened in 2016, this low- to medium-speed line connects Incheon International Airport to surrounding areas. It uses driverless trains, electromagnetic suspension, and is known for being free and fully automated.*

The traction motors used are linear induction motors (LIM) or linear synchronous motors (LSM).

There are numerous contributions in the literature that analyse the use and benefits of LIM and LSM linear motors, including, for example, those reported below.

In paper [1], an overview of different linear transport systems was provided, with particular attention to applications using linear induction motors. Specifically, new practical methodologies capable of solving some important problems related to the LIM motor were presented and discussed. Despite the lower efficiency of the LIM compared to the rotary motor, for many applications the LIM system represents a transport solution that successfully competes with the conventional alternative based on the rotary motor.

In paper [2], the efficiency of the LIM is analysed, and it is highlighted that it increases with the variation of the slip frequency. Paper [3] discusses the traction performance of a single-phase linear induction motor and a single-phase coreless Halbach permanent magnet linear synchronous motor (PM-LSM) for medium and low speed magnetic levitation trains. In paper [4], the aim of the research is to improve the energy efficiency of a magnetic levitation train by verifying the performance of the LIM motor through experimental measurements.

The technological characteristics of magnetic levitation (Maglev) transport systems, from the point of view of transport engineering, are summarised in paper [18] providing a synthesis of the international state of the art, of the research activities and of the most significant applications of the last 5 decades.

3. Maglev-derived functions applicable to the conventional rail system

3.1. Maglev Technology

Maglev technology, based on magnetic levitation, was initially designed for very high-speed trains without physical contact with the tracks. Its principles and functionality, however, could also offer interesting insights for conventional railway systems. In particular, some features of Maglev could be modified or integrated to improve the efficiency, safety, and comfort of traditional trains.

Maglev train suspension, using magnetic attraction or

3. Funzioni derivate dal Maglev applicabili al sistema ferroviario convenzionale

3.1. Tecnologia Maglev

La tecnologia Maglev, basata sulla levitazione magnetica, è stata inizialmente pensata per treni ad altissima velocità senza avere un contatto fisico con le rotaie. I suoi principi e le sue funzionalità, tuttavia, possono offrire spunti interessanti anche per i sistemi ferroviari convenzionali. In particolare, alcune caratteristiche del Maglev potrebbero essere modificate o integrate per migliorare l'efficienza, la sicurezza e il comfort dei treni tradizionali.

La sospensione dei treni Maglev, utilizzando forze magnetiche di attrazione o repulsione, elimina il contatto fisico con il binario e quindi la resistenza al rotolamento. Questa soluzione, se applicata ai sistemi convenzionali in aggiunta al sostentamento ruota-rotaia ad alte velocità, potrebbe ridurre l'usura tra ruote e rotaie, i costi di manutenzione e le vibrazioni.

La guida magnetica è un'altra caratteristica del sistema Maglev. Le forze magnetiche vincolano la traiettoria mantenendo il treno centrato nel binario sia in rettilineo sia in curva. Possono consentire di ridurre le oscillazioni laterali ad alta velocità, circolare su curve più strette rispetto alla guida vincolata ruota-rotaia e favorire la stabilità e la sicurezza.

La propulsione con motore lineare è un altro esempio della tecnologia Maglev che potrebbe essere utilizzata nei treni convenzionali. Il campo magnetico traslante produce forze di trazione o di frenatura che potrebbero sostituire o integrare quelle prodotte dai motori convenzionali. L'integrazione con motori lineari, in tratti di linea in cui è richiesta maggiore potenza, può migliorare l'accelerazione, la forza di trazione per velocità elevate e consentire la frenatura rigenerativa.

Un altro vantaggio della tecnologia Maglev è l'efficienza energetica e la riduzione del rumore. L'assenza del contatto ruota-rotaia consentirebbe velocità più elevate e consumi inferiori rispetto ai sistemi tradizionali. Quindi, l'integrazione della sospensione magnetica e della propulsione con motori lineari nei treni convenzionali potrebbe migliorare l'efficienza complessiva del sistema e ridurre l'inquinamento acustico, con evidenti vantaggi.

Tuttavia, l'integrazione delle tecnologie Maglev nei sistemi ferroviari esistenti presenta aspetti da approfondire: la regolazione dei sistemi ibridi, la compatibilità degli impianti di terra e di bordo con le specifiche tecniche di interoperabilità come, ad esempio, quelle relative al profilo minimo degli ostacoli e alla sagoma limite dei veicoli, alla compatibilità elettromagnetica [17], ecc.

Negli scenari di sviluppo del trasporto merci, che prevedono aumento della domanda futura e masse dei treni più elevate di quelle attuali, sarebbe interessante valutare la possibilità di utilizzare i tracciati attuali.

La potenza complessiva richiesta per superare le pendenze e massimizzare le prestazioni potrebbe essere fornita

repulsion, eliminates physical contact with the track and thus rolling resistance. This solution, if applied to conventional systems in addition to wheel-rail support at high speeds, could reduce wheel-rail wear, maintenance costs, and vibrations.

Magnetic guidance is another feature of the Maglev system. Magnetic forces constrain the train's trajectory, keeping it centred on the track both on straight lines and on curves. In this way, lateral oscillations at high speeds can be reduced, train can travel on tighter curves compared to wheel-rail guidance, and ride stability and safety can be improved.

Linear motor propulsion is another example of Maglev technology that could be used in conventional trains. The translating magnetic field produces tractive or braking forces that could replace or supplement those produced by conventional motors. Integration with linear motors, on sections of line where greater power is required, can improve acceleration, tractive force at high speeds, and enable regenerative braking.

Another advantage of Maglev technology is energy efficiency and noise reduction. The absence of wheel-rail contact would allow for higher speeds and lower energy consumption compared to traditional systems. Therefore, integrating magnetic suspension and linear motor propulsion into conventional trains could improve overall system efficiency and reduce noise pollution, with obvious benefits.

However, the integration of Maglev technologies into existing railway systems presents aspects that need to be explored in greater depth: the control of hybrid systems, the compatibility of ground and on-board systems with the technical specifications for interoperability such as, for example, those relating to structure gauge and vehicle gauge, electromagnetic compatibility, etc. [17].

In freight transport development scenarios that predict increased future demand and higher train masses than current ones, it would be interesting to evaluate the possibility of using current routes.

The total power required to climb grades and maximise performance could be derived from the conventional locomotive in combination with the linear motor.

This paper aims to provide a preliminary contribution by calculating the power that power supply systems should provide and the achievable performance. It also provides useful information for evaluating the feasibility of this innovation.

3.2. Magnetic guide

Magnetically constrained guidance uses the lateral forces produced by electromagnets or permanent magnets on both the train and the track. These forces actively "pull" or "push" the vehicle to keep it centered on the track.

The system uses active sensor-based controls that continuously detect the train's transverse position relative to the track. Feedback circuits adjust the current in the electromagnets in real time, ensuring stable travel even at high speeds

ta dalla locomotiva convenzionale in combinazione con il motore lineare.

Con il presente lavoro si vuole dare un contributo preliminare calcolando le potenze che gli impianti di alimentazione dovrebbero fornire e le prestazioni ottenibili. Inoltre, si forniscono elementi utili per valutare la percorribilità di tale innovazione.

3.2. Guida magnetica

La guida vincolata magneticamente sfrutta le forze laterali prodotte da elettromagneti o magneti permanenti presenti sia sul treno che sulla via. Queste forze intervengono attivamente “tirando” o “spingendo” il veicolo per mantenerlo centrato nel binario.

Il sistema utilizza controlli attivi basati su sensori che rilevano continuamente la posizione trasversale del treno rispetto alla via. I circuiti di retroazione regolano la corrente negli elettromagneti in tempo reale, garantendo una guida stabile anche a velocità elevate e su curve strette. Lo stesso sistema magnetico svolge la funzione di levitazione, supporto verticale del treno, e di guida laterale in molti progetti Maglev.

La guida magnetica riduce le oscillazioni laterali, o i movimenti trasversali su tratti rettilinei.

La riduzione dell'usura meccanica dovuta all'assenza del contatto ruota-rotaia è un altro vantaggio significativo.

L'integrazione di sistemi di guida magnetica con la guida vincolata dal contatto trasversale ruota-rotaia, cioè la creazione di sistemi ibridi, potrebbe aumentare la stabilità nelle curve.

3.3. Trazione con motore lineare

I motori sincroni lineari (LSM) o i motori lineari a induzione (LIM), vengono utilizzati per la propulsione nei sistemi a levitazione magnetica, dove gli avvolgimenti dello statore sono incorporati lungo il binario e la parte mobile (traslatore) è sul veicolo.

Il motore lineare crea un campo magnetico mobile lungo la via che interagisce con i campi magnetici del veicolo.

La propulsione a motore lineare può essere applicata alle ferrovie convenzionali per migliorare le prestazioni di trazione. Ad esempio, è possibile installare motori lineari lungo tratti specifici, dove è richiesta maggiore potenza, per integrare o sostituire la forza di trazione dei motori rotanti convenzionali, migliorando l'accelerazione e riducendo l'usura meccanica.

4. Motori lineari per sistemi ferroviari convenzionali

4.1. Tecnologia Maglev

Come già evidenziato la tecnologia Maglev, levitazione magnetica, è una tecnologia che consente ad un oggetto di

and on tight curves. The same magnetic system provides levitation, vertical support for the train, and lateral guidance in many Maglev projects.

Magnetic guidance reduces lateral oscillations, or transverse movements on straight sections.

The reduction in mechanical wear due to the absence of wheel-rail contact is another significant advantage.

The integration of magnetic guidance systems with guidance constrained by transverse wheel-rail contact, i.e. the creation of hybrid systems, could increase stability on curves.

3.3. Traction with linear motor

Linear synchronous motors (LSM) or linear induction motors (LIM) are used for propulsion in magnetic levitation systems, where the stator windings are embedded along the track and the moving part (translator) is on the vehicle.

The linear motor creates a moving magnetic field along the track that interacts with the vehicle's magnetic fields.

Linear motor propulsion can be applied to conventional railways to improve traction performance. For example, linear motors can be installed along specific sections where greater power is required to supplement or replace the tractive force of conventional rotary motors, improving acceleration and reducing mechanical wear.

4. Linear motors for conventional railway systems

4.1. Maglev Technology

As already highlighted, Maglev technology, magnetic levitation, is a technology that allows an object to remain suspended in space with the sole support of a magnetic field, resulting in the lack of physical contact and therefore the absence of friction and wear between the interacting parts.

In the transportation sector, Maglev technology works by using forces generated by the interaction of magnetic fields between the vehicle and the track, with vehicles having no wheels, axles, or transmission systems, eliminating the inherent limitations of wheel-rail adhesion.

In a traditional railway system, the support function is provided by the rail, the lateral guidance function by the rim flange and the propulsion by a rotating electric motor.

In Maglev technology, as mentioned, everything happens without contact, the support and lateral guidance function is based on the phenomenon of magnetic levitation while the propulsion is provided by the linear motor.

Progress in magnetic levitation has led to the development of linear motors that provide the vehicle with not only thrust but also braking force in the absence of contact.

In the linear motor, the rotating magnetic field is trans-

rimanere sospeso nello spazio con il solo supporto di un campo magnetico da cui la mancanza di contatto fisico e quindi l'assenza di fenomeni di attrito ed usura tra le parti interagenti.

Nell'ambito trasportistico, il funzionamento della tecnologia Maglev si basa su forze che nascono dall'interazione di campi magnetici tra veicolo e binario, con i veicoli privi di ruote, assi e sistemi di trasmissione, eliminando i limiti propri dell'aderenza ruota-rotaia.

In un sistema ferroviario tradizionale la funzione di supporto è data dalla rotaia, quella di guida laterale dal bordino del cerchione e la propulsione da un motore elettrico rotante.

Nell'ambito della tecnologia Maglev, come detto, avviene tutto senza contatto, la funzione supporto e guida laterale si basa sul fenomeno della levitazione magnetica mentre la propulsione è devoluta al motore lineare.

Il progresso raggiunto nel campo della levitazione magnetica ha portato allo sviluppo di motori lineari che forniscono al veicolo non solo la spinta ma anche la forza frenante in assenza di contatto.

Nel motore lineare, il campo magnetico rotativo viene trasformato in un campo magnetico traslante e la coppia elettromagnetica in spinta.

Le tipologie più comuni del motore lineare sono quelli di motore lineare ad induzione, LIM, e di motore sincrono lineare, LSM.

Numerosi studi hanno affrontato i temi connessi alla levitazione magnetica ed ai motori lineari. Nell'articolo [9] vengono confrontate le caratteristiche dei motori lineari ad induzione LIM e motori lineari sincroni LSM evidenziando prestazioni, vantaggi e svantaggi. La descrizione e la progettazione dei motori lineari viene trattata sia in generale [12], sia in particolare per la progettazione e costruzione del motore sincrono lineare a magneti permanenti mediante confronti tra metodo di calcolo analitico convenzionale e modelli ad elementi finiti (FEM) [14] e mediante l'utilizzo delle relazioni elettriche del circuito [7].

Ulteriori lavori hanno riguardato i sistemi di comando e controllo della potenza di un motore sincrono lineare, LSM [10].

Altri studi hanno trattato gli aspetti dell'alimentazione e della conversione, si sono concentrati sulle caratteristiche delle apparecchiature inverter sviluppate per l'alimentazione dei sistemi a levitazione magnetica [13], sull'uso di nuove tecnologie di convertitori per i sistemi Maglev [8], e sull'analisi di consumi e prestazioni [5].

In relazione ai consumi, viene affrontato il tema della ottimizzazione dei consumi di energia dei sistemi Maglev a media velocità attraverso il comando e controllo della potenza elettrica [15].

In questi studi vengono utilizzati spesso modelli di simulazione, in particolare in campo progettuale si eviden-

formed into a translating magnetic field and the electromagnetic torque into thrust.

The most common types of linear motor are the linear induction motor, LIM, and the linear synchronous motor, LSM.

Numerous studies have addressed the issues related to magnetic levitation and linear motors. In paper [9], the characteristics of the linear induction motors LIM and the linear synchronous motors LSM are compared, highlighting performances, advantages and disadvantages. The description and design of linear motors is treated both in general [12], and in particular for the design and construction of the linear synchronous motor with permanent magnets through comparisons between conventional analytical calculation methods and finite element modelling (FEM) [14] and through the use of the electrical circuit relations [7].

Further work has concerned the power command and control systems of a linear synchronous motor, LSM [10].

Other studies have addressed the power and conversion aspects, focusing on the characteristics of inverter equipment developed for the power supply of magnetic levitation systems [13], on the use of new converter technologies for Maglev systems [8], and on the analysis of consumption and performance [5].

In relation to consumption, the topic of optimising energy consumption of medium-speed Maglev systems through the command and control of electrical power is addressed [15].

In these studies, simulation models are often used, particularly in the design field, the use of simulation models to study the reliability and safety of the various components is highlighted [6].

In relation to the topic of this work, particular attention is placed on the possibility of using functions and systems derived from Maglev technology to be implemented on conventional systems to increase their performance. In the MaDe4Rail project [11], a functional, technical and economic overview of the conventional railway, traditional Maglev systems and innovative systems derived from Maglev is presented and the technical feasibility of the Maglev derived system is analysed in selected use cases [16]. In particular, experiences conducted in Sweden on a railway line with high gradients are reported.

4.2. Linear induction motor LIM

The linear induction motor, LIM, is conceptually similar to a rotary induction motor but with the difference of being developed linearly, characterised by a stator, the fixed part, and an armature, the moving part.

The magnetic field produced by the three-phase primary winding of the stator, powered by a three-phase system, moves at a linear synchronous speed V_s .

The linear synchronous speed V_s is a function of the fre-

zia l'uso dei modelli di simulazione per studiare l'affidabilità e la sicurezza dei vari componenti [6].

In relazione al tema oggetto del presente lavoro particolare attenzione è posta sulla possibilità di utilizzare funzioni e sistemi derivati dalla tecnologia Maglev da implementare sui sistemi convenzionali per incrementarne le prestazioni. Nel progetto MaDe4Rail [11] viene presentata la panoramica funzionale, tecnica ed economica della ferrovia convenzionale, dei sistemi Maglev tradizionali e dei sistemi innovativi derivati dal Maglev e viene analizzata la fattibilità tecnica del sistema derivato dal Maglev nei casi d'uso selezionati [16]. In particolare, si riportano esperienze condotte in Svezia su una linea ferroviaria con pendenze elevate.

4.2. Motore lineare ad induzione LIM

Il motore lineare ad induzione, LIM, è concettualmente simile ad un motore ad induzione rotante ma con la differenza di essere sviluppato linearmente, caratterizzato da uno statore, parte fissa, ed un indotto, parte mobile.

Il campo magnetico prodotto dall'avvolgimento primario trifase dello statore, alimentato da un sistema trifase, si muove ad una velocità sincrona lineare V_s .

La velocità sincrona lineare V_s è funzione della frequenza f del sistema di alimentazione trifase e del passo polare τ in m (distanza tra poli opposti) ed è data da:

$$V_s = 2 f \tau$$

Il campo magnetico prodotto dall'avvolgimento trifase (1) dello statore (2), Fig. 1, interagisce con gli avvolgimenti in corto circuito della parte mobile indotto (3) e provoca delle correnti indotte (4), che generano a loro volta un altro campo magnetico di reazione, che interagendo con quello sviluppato dallo statore tenderà ad inseguirlo producendo una forza trasversale sull'indotto nella stessa direzione.

La velocità con cui si sposta la parte mobile V_r , è la velocità relativa fra statore e indotto, di trascinamento, pari a:

$$V_r = (1 - s) V_s = (1 - s) 2 f \tau$$

dove s è lo scorrimento.

4.3. Motore sincro lineare, LSM

Il motore sincro lineare, LSM, in analogia al motore LIM, è costituito da un sistema di alimentazione trifase (1) disposto sullo statore (2) e da un rotore (mobile) (3) costituito da magneti permanenti (5) (Fig. 2).

Nel caso in cui l'avvolgimento dello statore viene alimentato da un sistema di alimentazione trifase, si crea un campo magnetico traslante all'interno

quency f of the three-phase power system and the pole pitch τ in m (distance between opposite poles) and is given by:

$$V_s = 2 f \tau$$

The magnetic field produced by the three-phase winding (1) of the stator (2), Fig. 1, interacts with the short-circuited windings of the moving part of the armature (3) and causes induced currents (4), which in turn generate another reaction magnetic field, which, interacting with the one generated by the stator, will tend to follow it, producing a transverse force on the armature in the same direction.

The speed V_r , at which the moving part moves, is the relative speed between the stator and the armature, equal to:

$$V_r = (1 - s) V_s = (1 - s) 2 f \tau$$

where s is the slip.

4.3. Linear synchronous motor, LSM

The linear synchronous motor, LSM, similarly to the LIM motor, is made up of a three-phase power supply system (1) arranged on the stator (2) and by a (mobile) rotor (3) consisting of permanent magnets (5) (Fig. 2).

In case the stator winding is powered by a three-phase power system, a translating magnetic field is created inside the air gap, which moves with the synchronous speed V_s equal to:

$$V_s = 2 f \tau$$

where f is the frequency of the three-phase power system and τ is the polar step pitch in m (distance between opposite poles).

The magnetic field created by the three-phase stator winding engages the magnetic field created by the armature, which will move in a straight line at a linear synchronous speed equal to that of the stator.

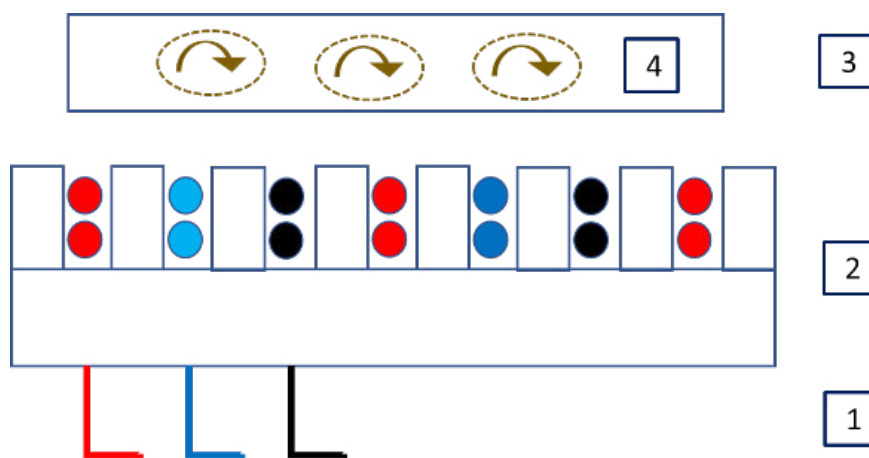


Figura 1 - Schema Motore LIM: avvolgimento trifase (1); parte fissa, statore (2); parte mobile indotto (3); correnti indotte (4).

Figure 1 - LIM Motor Diagram: three-phase winding (1); fixed part, stator (2); moving part, armature (3); induced currents (4).

del traferro, che si muove con la velocità sincrona V_s pari a:

$$V_s = 2 f \tau$$

dove f è la frequenza del sistema di alimentazione trifase e τ la larghezza del passo polare in m (distanza tra poli opposti).

Il campo magnetico creato dall'avvolgimento trifase dello statore aggan- cia il campo magnetico creato dall'in- dotto che si muoverà in linea retta ad una velocità sincrona lineare uguale a quella dello statore.

Una volta che il motore è in funzio- ne, la sua velocità dipende solo dalla frequenza e dalla tensione di alimen- tazione.

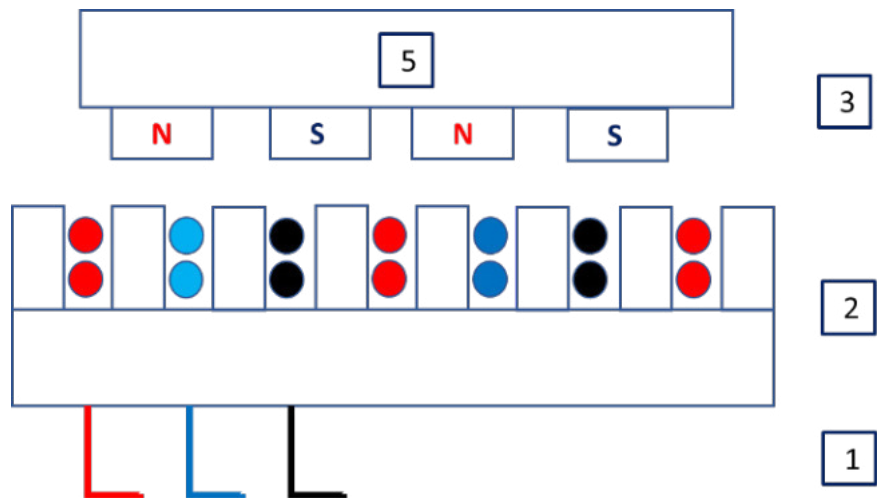


Figura 2 - Schema Motore LSM: avvolgimento trifase (1); parte fissa, statore (2); parte mobile, indotto (3); magneti permanenti (5).

Figure 2 - LSM motor diagram: three-phase winding (1); fixed part, stator (2); moving part, armature (3); permanent magnets (5).

4.4. Cinematica e dinamica del moto

Il moto di un veicolo ferroviario fra due stazioni di una linea ferroviaria si compone, general- mente, di tre fasi:

- fase di avviamento (fase di accelerazione partendo da fermo): in questa fase è richiesto lo sforzo di trazione massimo per vincere le inerzie dei corpi;
- fase a velocità di regime: il veicolo procede a velocità costante;
- fase di frenatura: applicando uno sforzo frenante il vei- colo decrementa la sua velocità nel tempo (moto decelerato).

Il moto reale dipende dal sistema di regolazione della forza di trazione e di frenatura, che determina il valore e l'andamento dell'accelerazione e della decelerazione; inol- tre, in funzione dello stato della linea si possono avere ac- celerazioni, rallentamenti o arresti intermedi.

L'equazione generale del moto è la seguente:

$$F(v) - R(v) = M_{eq} \frac{dv}{dt}$$

- $F(v)$ è la forza motrice generata dal motore lineare fun- zione della velocità del treno;
- $R(v)$ è la resistenza al moto complessiva agente sul vei- colo, funzione della velocità del treno;
- M_{eq} è la massa equivalente del treno;
- dv/dt è la variazione infinitesimale della velocità rispet- to al tempo.

La resistenza al moto complessiva $R(v)$ agente sul vei- colo è la risultante di due componenti:

- le resistenze ordinarie, somma della resistenza al roto- lamento e della resistenza aerodinamica;
- le resistenze accidentali, quali resistenze addizionali in presenza di livelletta e/o curve.

Once the motor is running, its speed depends only on the frequency and supply voltage.

4.4. Kinematics and dynamics of motion

The motion of a railway vehicle between two stations on a railway line generally consists of three phases:

- start-up phase (acceleration phase from a standstill): in this phase, maximum tractive effort is required to over- come the inertia of the bodies;
- steady state phase: the vehicle proceeds at constant speed;
- braking phase: by applying braking effort the vehicle de- creases its speed over time (decelerated motion).

Actual motion depends on the traction and braking force control system, which determines the value and progression of acceleration and deceleration; furthermore, depending on the state of the line, accelerations, slowdowns, or intermedi- ate stops may occur.

The general equation of motion is as follows:

$$F(v) - R(v) = M_{eq} \frac{dv}{dt}$$

- $F(v)$ is the driving force generated by the linear motor as a function of the train speed;
- $R(v)$ is the overall resistance to motion acting on the vehicle, a function of the speed of the train;
- M_{eq} it is the equivalent mass of the train;
- dv/dt is the infinitesimal variation of speed with respect to time.

The overall resistance to motion $R(v)$ acting on the vehi- cle is the resultant of two components:

- ordinary resistances, which are the sum of rolling resi- stance and aerodynamic resistance;

$$I_1 = F_s * V_r / (\eta * m * U_1 * \cos \varphi)$$

SCIENZA E TECNICA

Dai valori della forza motrice $F(v)$ e della velocità v , per un veicolo a levitazione magnetica si può determinare la potenza meccanica necessaria per la movimentazione in ogni punto della tratta, pari a:

$$P_m = F(v)v$$

4.5. Potenza nominale LIM

La potenza elettrica P_e in ingresso agli avvolgimenti dello statore di un motore lineare LIM è data dalla relazione:

$$P_e = m * U_1 * I_1 * \cos \varphi$$

dove:

- m è il numero delle fasi, 3
- U_1 è la tensione di fase
- I_1 è la corrente di fase
- $\cos \varphi$ è il fattore di potenza

La potenza P_e in ingresso a meno delle perdite nel rame e delle perdite nel ferro dello statore rappresenta la potenza che viene trasferita alla parte mobile (indotto) dal campo magnetico traslante prodotto dallo statore. Trascurando le perdite nel rame e le perdite nel ferro dell'indotto, la potenza trasferita all'indotto può essere equiparata alla potenza meccanica sviluppata dall'indotto.

La potenza meccanica totale sviluppata dall'indotto è data da:

$$P_m = F_s * V_r$$

dove

- F_s è la forza elettromagnetica generata sull'indotto dallo statore
- V_r è la velocità dell'indotto

L'efficienza del motore LIM è data da:

$$\eta = P_m / P_e$$

$$\eta = F_s * V_r / (m * U_1 * I_1 * \cos \varphi)$$

da cui con un $\cos \varphi$ adeguato si calcola la corrente I_1

$$I_1 = F_s * V_r / (\eta * m * U_1 * \cos \varphi)$$

per la formazione del campo magnetico induttore, con la velocità V_r pari a

$$V_r = (1 - s) V_s = (1 - s) 2 f \tau$$

4.6. Potenza nominale LSM

In analogia al motore LIM anche per il motore LSM può essere seguito lo stesso ragionamento.

La potenza elettrica in ingresso P_e del motore lineare LSM, derivata dalla rete esterna, è:

$$P_e = m * U_1 * I_1 * \cos \varphi$$

- *accidental resistances, such as additional resistances in the presence of a slope and/or curves.*

From the values of the driving force $F(v)$ and the speed v , for a magnetic levitation vehicle it is possible to determine the mechanical power required for movement at each point of the route, equal to:

$$P_m = F(v)v$$

4.5. LIM nominal power

The electrical power P_e at the input to the stator windings of a linear motor LIM is given by the relation:

$$P_e = m * U_1 * I_1 * \cos \varphi$$

where:

- *m is the number of phases, 3*
- *U_1 is the phase voltage*
- *I_1 is the phase current*
- *$\cos \varphi$ is the power factor*

The input power P_e , except for losses in the copper and iron of the stator, represents the power transferred to the moving part (armature) by the translating magnetic field produced by the stator. Ignoring the copper and iron losses of the armature, the power transferred to the armature can be equated to the mechanical power developed by the armature.

The total mechanical power developed by the armature is given by:

$$P_m = F_s * V_r$$

where:

- *F_s is the electromagnetic force generated on the armature by the stator*
- *V_r is the speed of the armature*

The efficiency of the LIM engine is given by:

$$\eta = P_m / P_e$$

$$\eta = F_s * V_r / (m * U_1 * I_1 * \cos \varphi)$$

from which with an adequate $\cos \varphi$ the current I_1 is calculated:

$$I_1 = F_s * V_r / (\eta * m * U_1 * \cos \varphi)$$

for the formation of the inductor magnetic field, with the speed V_r equal to:

$$V_r = (1 - s) V_s = (1 - s) 2 f \tau$$

4.6. LSM nominal power

Similarly to the LIM engine, the same reasoning can also be followed for the LSM engine.

The electric power at the input P_e of the LSM linear motor, derived from the external network, is:

$$P_e = m * U_1 * I_1 * \cos \varphi$$

dove:

- m è il numero delle fasi
- U_1 è la tensione di fase
- I_1 è la corrente di fase
- $\cos \varphi$ è il fattore di potenza

La potenza elettrica in ingresso P_e , a meno delle perdite nel ferro e nel rame, rappresenta la potenza meccanica:

$$P_m = F_s * V_s$$

dove

- F_s è la forza elettromagnetica generata dallo statore
- V_s è la velocità del campo magnetico dello statore

L'efficienza del motore LSM è data da:

$$\eta = \frac{P_m}{P_e} = \frac{F_s * V_s}{(m * U_1 * I_1 * \cos \varphi)}$$

da cui con un $\cos \varphi$ adeguato si calcola la corrente I_1 :

$$I_1 = \frac{F_s * V_s}{(\eta * m * U_1 * \cos \varphi)}$$

per la formazione del campo magnetico induttore, con la velocità V_s pari a:

$$V_s = 2f\tau$$

4.7. Sistema di alimentazione elettrico

Da quanto sopraesposto, considerando come il campo magnetico induttore sia prodotto dall'avvolgimento posto sullo statore, si evidenzia come non esista una differenza sostanziale fra motore ad induzione e motore sincrono.

Lo statore del motore viene collocato all'interno lungo il binario ed il campo magnetico generato viene regolato per ottenere la potenza richiesta.

Lo statore, per non essere alimentato per tutta la sua lunghezza, al fine di ridurre le perdite, viene suddiviso in sezioni che saranno alimentate, solo alla presenza del treno, tramite stazioni di conversione [15].

Le stazioni di conversione, raddrizzatore – inverter, forniscono energia alle sezioni dello statore, a tensione e frequenza variabile in base alla potenza nominale richiesta dal treno in funzione della sua posizione e della sua velocità [13][15].

La potenza nominale del motore, inoltre, deve essere adeguata istante per istante, alle caratteristiche e requisiti della specifica sezione della linea, quali tratte con pendenza elevata, in corrispondenza di variazioni di velocità ammesse dalla linea, in avviamento ecc.; conseguentemente è necessario un sistema di rilevamento della posizione e della velocità del treno lungo la linea, estremamente affidabile e preciso [6].

Queste informazioni devono essere trasmesse alle stazioni di conversione per generare il campo magnetico di propagazione con ampiezza e frequenza appropriate.

where:

- m is the number of phases
- U_1 is the phase voltage
- I_1 is the phase current
- $\cos \varphi$ is the power factor

The input electrical power P_e , except for the losses in the iron and copper, represents the mechanical power:

$$P_m = F_s * V_s$$

where:

- F_s is the electromagnetic force generated by the stator
- V_s is the speed of the stator magnetic field

The efficiency of the LSM engine is given by:

$$\eta = \frac{P_m}{P_e} = \frac{F_s * V_s}{(m * U_1 * I_1 * \cos \varphi)}$$

from which with an adequate $\cos \varphi$ the current I_1 is calculated:

$$I_1 = \frac{F_s * V_s}{(\eta * m * U_1 * \cos \varphi)}$$

for the formation of the inducing magnetic field, with the speed V_s equal to:

$$V_s = 2f\tau$$

4.7. Electrical power system.

From the above, considering how the inductor magnetic field is produced by the winding placed on the stator, it is clear that there is no substantial difference between an induction motor and a synchronous motor.

The motor stator is placed inside along the track and the magnetic field generated is adjusted to obtain the required power.

The stator, in order not to be powered along its entire length, to reduce losses, is divided into sections which will be powered, only in the presence of the train, via converter stations [15].

The converter stations, rectifier – inverter, supply energy to the stator sections, at variable voltage and frequency based on the nominal power required by the train as a function of its position and speed [13][15].

Furthermore, the nominal power of the engine must be adapted moment by moment to the characteristics and requirements of the specific section of the line, such as sections with a high gradient, in correspondence with variations in speed permitted by the line, during start-up, etc.; consequently, an extremely reliable and precise system for detecting the position and speed of the train along the line is necessary [6].

This information must be transmitted to the converter stations to generate the propagating magnetic field with appropriate amplitude and frequency.

Ai fini della compatibilità elettromagnetica, il motore lineare sincrono genera un campo magnetico con intensità e frequenze superiori a quella specificata nelle normative per i componenti del segnalamento (esempio Eurobalise), tali da non interferire con il regolare funzionamento delle apparecchiature [11][13].

Il sistema di alimentazione è composto in definitiva (vedi Fig. 3) da:

- un trasformatore (2), che adatta la tensione MT della rete di alimentazione (1) alla tensione del sistema di conversione;
- una stazione di conversione, raddrizzatore – inverter (3), che alimenta tramite i cavi di alimentazione (4) in tensione e frequenza variabili, le sezioni di statore (5), solo dove è presente il treno;
- un sistema di rilevazione della posizione e velocità del treno (6).

4.8. Applicazione delle tecnologie del sistema di lievitazione magnetica Maglev su sistemi ferroviari tradizionali

La possibilità di utilizzo delle tecnologie Maglev in un sistema ferroviario convenzionale, esplorata nel progetto di ricerca europeo MaDe4Rail (*Maglev-Derived Systems for Rail*) [11][16], ed i benefici derivanti, possono essere studiati analizzando gli impatti sulle opere civili, sugli impianti di comando e controllo, di alimentazione elettrica e sui veicoli.

Il caso di studio analizzato nel presente lavoro ha riguardato l'implementazione di un sistema di trazione con motore lineare, su una linea convenzionale e su veicoli opportunamente attrezzati in composizione a treni, compatibili con la circolazione a trazione convenzionale.

Le caratteristiche principali sono definite sulla base delle seguenti ipotesi:

- i veicoli attrezzati per la trazione con motore lineare sono posti in composizione di convogli controllati e regolati da locomotiva convenzionale eventualmente anch'essa attrezzata con motore lineare;
- il sistema di trazione con motore lineare fornisce una forza di trazione aggiuntiva a quella prodotta dalla trazione convenzionale nelle sezioni della linea dove essa non è sufficiente;
- l'attrezzaggio dell'infrastruttura prevede l'installazione dello statore del motore lineare LSM posizionato all'interno del binario, ed i si-

For electromagnetic compatibility purposes, the synchronous linear motor generates a magnetic field with intensity and frequencies higher than those specified in the regulations for signalling components (e.g. Eurobalise), such that it do not interfere with the regular functioning of the equipment [11][13].

The power supply system ultimately consists of (see Fig. 3):

- *a transformer (2), which adapts the MT voltage of the power supply network (1) to the voltage of the conversion system;*
- *a converter station, rectifier – inverter (3), which supplies power to the stator sections (5) via the power cables (4) at variable voltage and frequency, only where the train is present;*
- *a system for detecting the position and speed of the train (6).*

4.8. Application of Maglev magnetic levitation system technologies on traditional railway systems.

The possibility of using Maglev technologies in a conventional railway system, explored in the European research project MaDe4Rail (Maglev-Derived Systems for Rail) [11] [16], and the resulting benefits, can be studied by analysing the impacts on civil works, on command and control systems, on power supply systems and on vehicles.

The case study analysed in this work concerned the implementation of a traction system with a linear motor, on a conventional line and on appropriately equipped vehicles in trains compatible with conventional traction operation.

The main characteristics are defined on the basis of the following hypotheses:

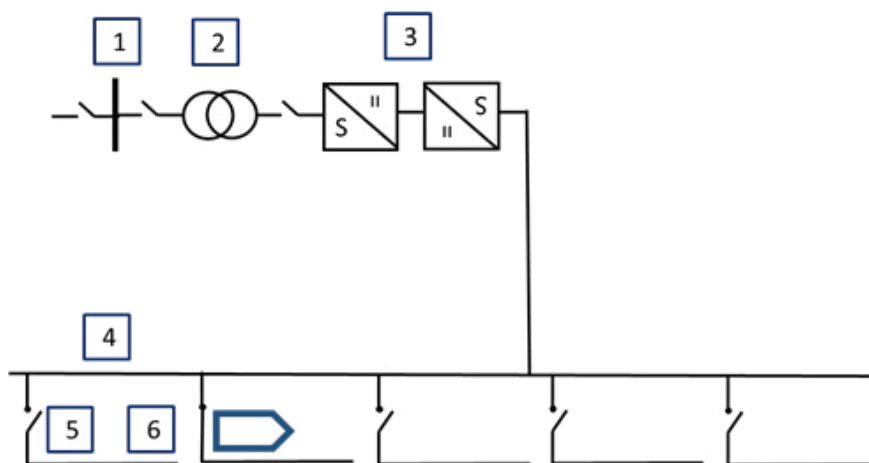


Figura 3 - Sistema di alimentazione: rete MT (1); trasformatore (2); stazione di conversione (3); cavi di alimentazione statore LSM (4); statore LSM suddiviso in settori (5); sistema di rilevamento e controllo (6).

Figure 3 - Power supply system: MT network (1); transformer (2); converter station (3); LSM stator power cables (4); LSM stator divided into sectors (5); detection and control system (6).

stemi di alimentazione, comando e controllo lungo la linea;

- la parte mobile è costituita da magneti permanenti installati sui veicoli;
- il sistema di alimentazione è collegato alla rete esterna di media tensione;
- i componenti Maglev nella sezione di binario attrezzata sono alimentati solo quando il treno si trova sopra di essi.

Il sistema proposto potrebbe fornire benefici quali l'aumento della velocità dei treni, il superamento di forti pendenze, la trazione con la singola locomotiva anche con treni merci pesanti.

La potenza supplementare oltre quella della locomotiva potrebbe essere fornita attrezzando con il motore lineare solo alcuni veicoli del treno e le sezioni di binario che la richiedono.

Per la fattibilità tecnica si dovrà approfondire l'effetto delle interazioni elettromagnetiche tra veicoli attrezzati con magneti permanenti che transitano nelle sezioni non attrezzate e di veicoli non attrezzati con magneti permanenti che transitano nelle sezioni attrezzate.

Gli effetti del campo magnetico del veicolo attrezzato sulle parti metalliche dell'infrastruttura, e viceversa quelli del campo magnetico dello statore sul veicolo non attrezzato, sono soprattutto dovuti alle correnti parassite ed alle perdite per isteresi. Si dovrà valutare l'effetto e l'entità delle forze, che nascono dalle correnti parassite, opposte al moto, il riscaldamento, l'usura, l'affaticamento del materiale, ecc.

Le perdite per isteresi producono energia che viene dissipata sotto forma di calore.

Ulteriori aspetti critici da approfondire saranno quelli relativi al mantenimento del traferro che, se variato ad esempio nelle operazioni di manutenzione, comporta un'alterazione delle prestazioni del motore lineare.

L'obiettivo della presente ricerca è stato quello preliminare di calcolare le prestazioni cinematiche, le potenze necessarie e le sezioni da attrezzare con motore lineare per un caso di studio esemplificativo con caratteristiche plano-altimetriche che richiedono elevate potenze di trazione.

5. Caso di studio

In linea con le finalità dello studio si sono analizzati, mediante simulazione matematica, gli effetti di una ipotetica applicazione del motore lineare su di una linea particolarmente acclive al fine di valutare la possibilità di esercitare il servizio di trasporto con treni merci di masse elevate senza la necessità di ricorrere alla trazione con più locomotive.

5.1. Caratteristiche della linea

A titolo di esempio, come tracciato ci si è riferiti alle caratteristiche, pendenza e velocità massima per le diverse categorie di treni (Rango A, B, C) della linea Bol-

- *vehicles equipped for traction with a linear motor are placed in convoys commanded and controlled by a conventional locomotive, possibly also equipped with a linear motor;*
- *the linear motor traction system provides additional tractive force to that produced by conventional traction in sections of the line where it is not sufficient;*
- *the infrastructure equipment includes the installation of the LSM linear motor stator positioned inside the track, and the power supply, command and control systems along the line.*
- *the moving part consists of permanent magnets installed on vehicles;*
- *the power supply system is connected to the external medium voltage network;*
- *Maglev components in the equipped track section are only powered when the train is above them.*

The proposed system could provide benefits such as increasing train speeds, overcoming steep gradients, and single-locomotive traction even with heavy freight trains.

Additional power beyond that of the locomotive could be provided by equipping only certain vehicles of the train and the sections of track that require it with the linear motor.

For technical feasibility, the effect of electromagnetic interactions between vehicles equipped with permanent magnets passing through the non-equipped sections and vehicles not equipped with permanent magnets passing through the equipped sections will need to be explored further.

The effects of the equipped vehicle's magnetic field on the metal parts of the infrastructure, and vice versa, those of the stator's magnetic field on the unequipped vehicle, are primarily due to eddy currents and hysteresis losses. The effect and magnitude of the forces arising from eddy currents opposing the motion, heating, wear, material fatigue, etc., must be assessed.

Hysteresis losses produce energy that is dissipated as heat.

Further critical aspects to be explored will be those relating to the maintenance of the air gap which, if varied for example during maintenance operations, leads to an alteration of the linear motor's performance.

The aim of this research was to preliminarily calculate the kinematic performance, the required power and the sections to be equipped with a linear motor for an exemplary case study with plano-altimetric characteristics that require high traction power.

5. Case study

In line with the aims of the study, the effects of a hypothetical application of the linear motor on a particularly steep line were studied through mathematical simulation in order to evaluate the possibility of operating the transport

zano-Brennero, ricavate dal relativo Fascicolo di Linea, che si riportano nella Fig. 4. Si tratta di un tracciato di riferimento, con pendenze elevate che richiedono elevate capacità di trazione soprattutto per treni pesanti. Tale scelta, in linea con gli obiettivi dello studio, risponde alla necessità di verificare gli eventuali vantaggi derivanti dalla introduzione, su linee esistenti, di sistemi di trazione integrativi rispetto alle unità di trazione tradizionali, derivati dai sistemi Maglev.

Le velocità per la categoria A, considerata per lo studio, variano da 50 a 140 km/h; la pendenza varia da 11‰ a 23‰.

5.2. Scenari di composizione dei treni e di sistema di trazione

Per fornire elementi utili a valutare l'efficacia della soluzione integrata con trazione tradizionale a bordo e motore lineare separato tra terra e bordo è stato studiato il diagramma di marcia e le necessità energetiche per cinque scenari con diverse composizioni di treni e sistemi di trazione.

Sono stati analizzati i seguenti scenari:

- 1) Scenario 1. Diagramma di marcia e verifica del completamento del percorso di un treno di massa $M=1.600$ t con una locomotiva in composizione.
- 2) Scenario 2. Diagramma di marcia di un treno di massa $M=1.600$ t, verifica del completamento del percorso con due locomotive in composizione.
- 3) Scenario 3. Diagramma di marcia di un treno di massa $M=1.600$ t con una locomotiva in composizione ed integrazione della forza di trazione con motore lineare.
- 4) Scenario 4. Diagramma di marcia di un treno di massa $M=2.500$ t con una locomotiva in composizione ed integrazione della forza di trazione con motore lineare; calcolo della velocità media e della potenza del motore lineare.
- 5) Scenario 5. Diagramma di marcia di un treno di massa $M=2.500$ t con una locomotiva in composizione ed integrazione della forza di trazione con motore lineare con adeguamento della potenza disponibile costante per singoli tratti; calcolo della velocità media e della potenza del motore lineare.

I dati assunti per lo studio sono i seguenti:

- campo di velocità $V=0-140$ km/h;
- accelerazione e decelerazione massima = $0,3$ m/s²;

service with high-mass freight trains without the need for traction with more than one locomotive.

5.1. Line characteristics

As an example, the route used was based on the characteristics, gradient, and maximum speed for the different categories of trains (Rank A, B, and C) of the Bolzano-Brennero line, taken from the relevant Line File, which are shown in Fig. 4. This is a reference route, with steep gradients that require high traction capacity, especially for heavy trains. This choice, in line with the study's objectives, responds to the need to verify the potential advantages of introducing, on existing lines, additional Maglev derived traction systems that complement traditional traction units.

The speeds for category A, considered for the study, vary from 50 to 140 km/h; the gradient varies from 11‰ to 23‰.

5.2. Train composition and traction system scenarios

To provide useful elements for evaluating the effectiveness of the integrated solution with traditional on-board traction and a separate linear motor between ground and on-board, the motion diagram and energy requirements were studied for five scenarios with different train compositions and traction systems.

The following scenarios were analysed:

- 1) Scenario 1. Motion diagram and verification of the completion of the route of a train of mass $M=1,600$ t with a locomotive in composition.

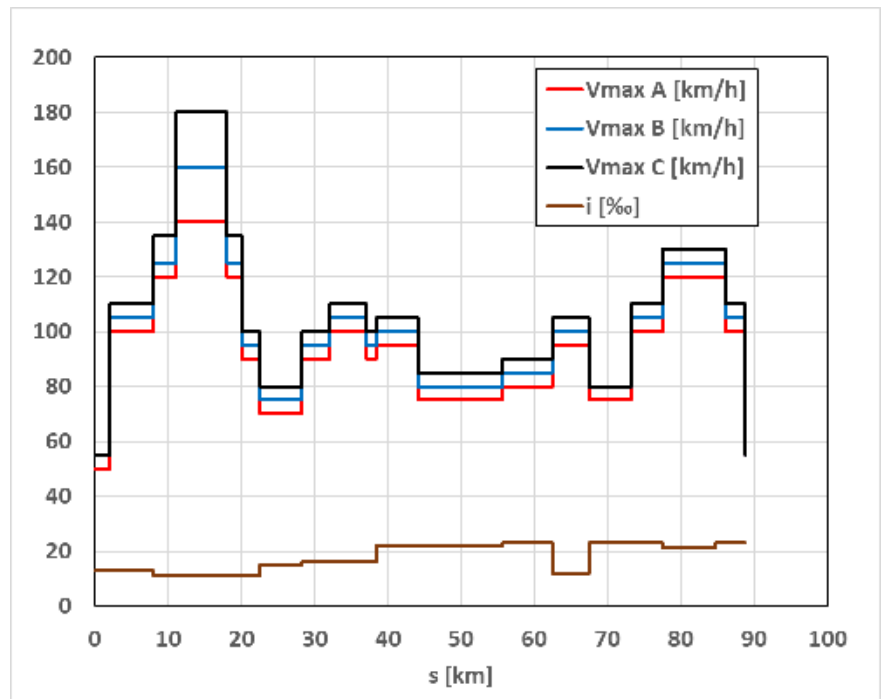


Figura 4 - Pendenza i [‰]; velocità massime di tracciato per le categorie di treni A, B, C.

Figure 4 - Slope i [‰]; maximum track speeds for train categories A, B, C.

- forza alle ruote della locomotiva, da 0 a 60 km/h, $F_l = 320$ kN; potenza alle ruote, oltre 60 km/h, $P_l = 6.000$ kW;
- resistenza specifica al moto, considerando per semplicità tra le resistenze addizionali solo quella dovuta alla pendenza, r [N/t] funzione della velocità V [km/h] e della pendenza i [‰]:

$$r = 9,81 * (1 + \frac{V^2}{4000} + i)$$

La caratteristica meccanica della locomotiva elettrica, scelta tra quelle moderne, è riportata nella Fig. 5. Essa mostra, in funzione della velocità: forza alle ruote F_l ; potenza alle ruote P_l ; resistenza al moto in piano ($i=0‰$) e sulla massima pendenza ($i=23‰$) calcolate per massa $M=1.600$ t; potenza alle ruote P_l .

Per definire la percorribilità della tratta e stimare la necessità di integrazione della trazione per raggiungere e mantenere le velocità massime ammesse dal tracciato, in corrispondenza delle varie sezioni, è stato effettuato un calcolo di massima preliminare i cui risultati sono riportati nelle Fig. 6 e Fig. 7.

La Fig. 6 mostra, in funzione dello spazio, la resistenza al moto R corrispondente alla velocità massima e alla pendenza, la forza alle ruote della locomotiva F_l , la forza richiesta al motore lineare F_{ml} .

La Fig. 7 mostra, in funzione dello spazio, la potenza disponibile della locomotiva P_l , la potenza utilizzata dal motore lineare P_{ml} , la potenza totale P_t .

La potenza necessaria a mantenere la velocità massima imposta dal tracciato dipende dalle resistenze al moto. La potenza della locomotiva, senza ulteriori sistemi di trazione, è sufficiente solo dal km 20 per circa 10 km. Per le altre tratte è necessaria una potenza superiore a quella disponibile che potrebbe essere fornita da una seconda locomotiva (doppia trazione) oppure da un motore lineare con statore a terra.

In questa seconda ipotesi la potenza del motore lineare potrebbe essere dimensionata sezione per sezione in

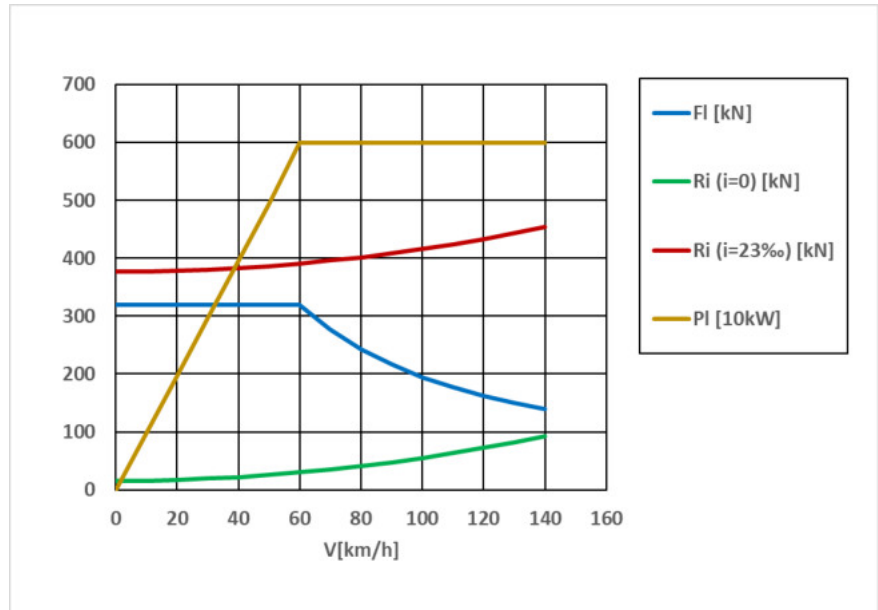


Figura 5 - Forza F_l [kN] e potenza P_l [10 kW] alle ruote della locomotiva. Resistenza al moto R [kN] per $i=0‰$, e per $i=23‰$, $M=1.600$ t.

Figure 5 - Force F_l [kN] and power P_l [10 kW] at the wheels of the locomotive. Resistance to motion R [kN] for $i=0‰$, and for $i=23‰$, $M=1.600$ t

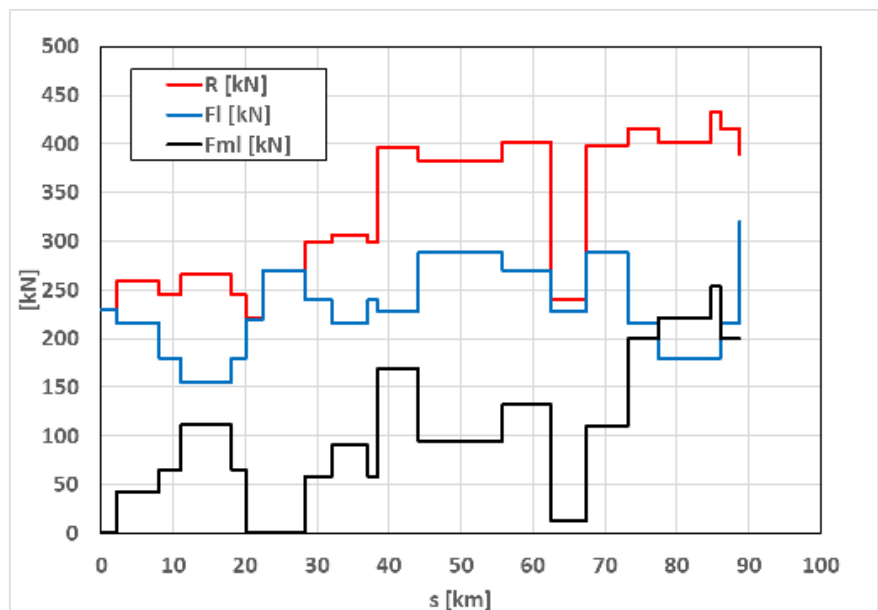


Figura 6 - In funzione dello spazio: Resistenza R corrispondente alla velocità massima e la pendenza; forza alle ruote della locomotiva F_l ; forza richiesta al motore lineare F_{ml} .

Figure 6 - As a function of space: Resistance R corresponding to the maximum speed and the slope; force at the locomotive wheels F_l ; force required from the linear motor F_{ml} .

- 2) Scenario 2. Motion diagram of a train with mass $M=1,600$ t, verification of the completion of the route with two locomotives in composition.

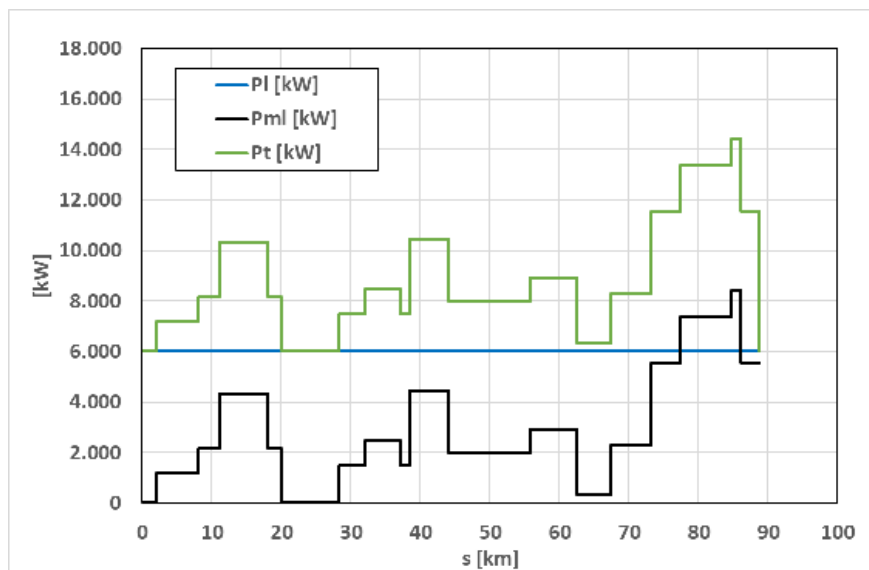


Figura 7 - In funzione dello spazio: Potenza disponibile della locomotiva PI; Potenza motore lineare Pml; Potenza totale Pt.

Figure 7 - As a function of space: Available locomotive power PI; Linear motor power Pml; Total power Pt.

funzione della potenza ad esclusione delle sezioni in cui è sufficiente la potenza della sola locomotiva.

Tale analisi preliminare non tiene conto delle fasi di accelerazione in corrispondenza alle variazioni della velocità massima ammessa, che verranno studiate negli scenari seguenti.

5.3. Scenario 1. Massa $M=1.600t$ con una locomotiva in composizione

Con questa composizione il treno non raggiunge la velocità massima nella prima parte del tracciato con pendenza 11‰, 13‰. La velocità non supera 90 km/h pur essendo ammessa in alcuni tratti la velocità massima di 140 km/h. Inoltre, il treno non ha la potenza sufficiente per proseguire oltre il km 40 circa a causa delle elevate pendenze (22‰) (Fig. 8).

5.4. Scenario 2. Massa $M=1.600 t$ con due locomotive in composizione

Per completare il tracciato è stato calcolato il diagramma di marcia del treno con una locomotiva nella tratta iniziale e due locomotive, con uguali prestazioni, nella tratta restante.

L'aggiunta della seconda locomotiva consente di proseguire la marcia raggiungendo le velocità massime ammesse ad esclusione della tratta finale dove la velocità si mantiene a 100 km/h pur essendo ammesse velocità fino a 120 km/h (Fig. 9). In questa tratta si hanno le pendenze più elevate (23‰). La velocità media è pari a 75,8 km/h.

3) Scenario 3. Motion diagram of a train of mass $M=1,600 t$ with a locomotive in composition and tractive force integration with a linear motor.

4) Scenario 4. Motion diagram of a train of mass $M=2,500 t$ with a locomotive in composition and integration of the tractive force with a linear motor; calculation of the average speed and the linear motor power.

5) Scenario 5. Motion diagram of a train of mass $M=2,500 t$ with a locomotive in composition and integration of the tractive force with a linear motor with adjustment of the constant available power for individual sections; calculation of the average speed and the linear motor power.

The data used for the study are as follows:

- speed range $V=0-140$ km/h;
- maximum acceleration and deceleration $= 0.3 \text{ m/s}^2$;
- tractive force at the wheel rim of the locomotive, from 0 to 60 km/h, $F_l = 320 \text{ kN}$; wheel power, above 60 km/h, $Pl = 6,000 \text{ kW}$;

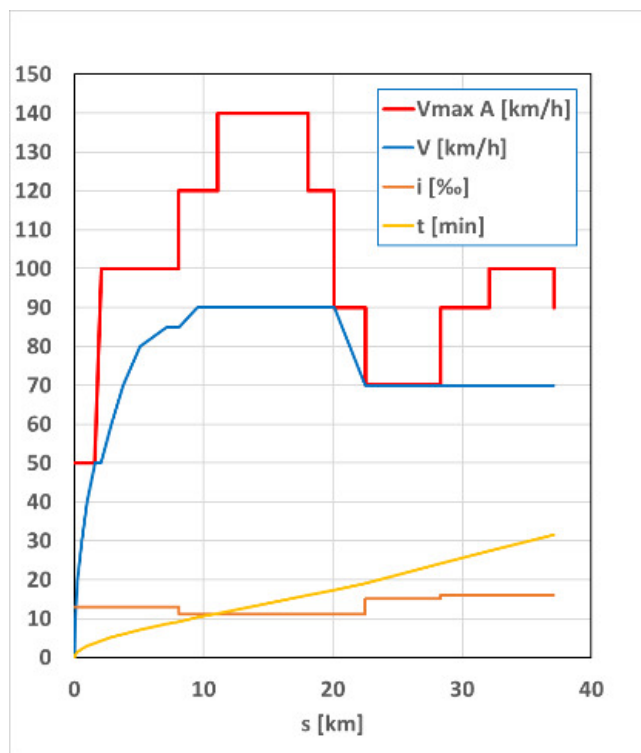


Figura 8 - Pendenza i, velocità di marcia V, velocità massima Vmax e tempo t in funzione dello spazio s.

Figure 8 - Slope i, maximum permitted speed Vmax, train speed V and time t as a function of distance s.

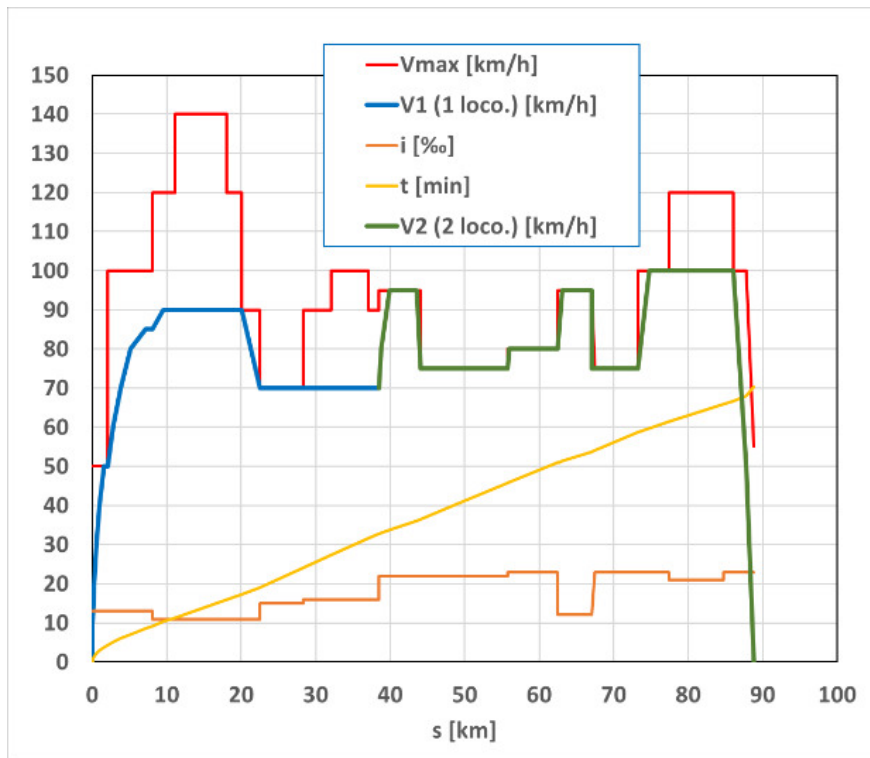


Figura 9 - Pendenza i , velocità massima V_{max} , velocità di marcia $V1$ (1 locomotiva), $V2$ (2 locomotive) e tempo t in funzione dello spazio s . Massa $M=1600$ t, Potenza locomotiva $P_l=6.000$ kW fino al km 40 circa e 12.000 kW (2 locomotive) nella seconda parte del tracciato.

Figure 9 - Slope i , maximum permitted speed V_{max} , running speed $V1$ (1 locomotive), $V2$ (2 locomotives) and time t as a function of the distance s . Mass $M=1600$ t, Locomotive power $P_l=6,000$ kW up to approximately km 40 and $12,000$ kW (2 locomotives) in the second part of the route.

5.5. Scenario 3. Massa $M=1.600$ t con una locomotiva in composizione e integrazione della forza di trazione con motore lineare

L'aggiunta del motore lineare consente di disporre di una potenza aggiuntiva utilizzabile per superare le pendenze alla velocità massima consentita dal tracciato e calcolare il tempo di percorrenza.

Il diagramma della velocità, per effetto della forza di trazione disponibile corrisponde, a parte le fasi di accelerazione e decelerazione, al profilo di velocità massima del tracciato (Fig. 10).

In corrispondenza delle variazioni di velocità massima la forza del motore lineare è stata impostata sulla base del valore di accelerazione e decelerazione massima definito tra i parametri del modello.

La potenza del motore lineare varia al variare sia della velocità massima, sia dell'andamento altimetrico della via (Fig. 11). I valori più elevati si hanno nelle tratte da 0 a 20 km circa e da 75 a 90 km circa dove si hanno velocità e pendenze più elevate. La velocità media è pari a $85,6$ km/h.

- specific resistance to motion, considering for simplicity among the additional resistances only that due to the slope, r [N/t] function of the speed V [km/h] and the slope i [‰]:

$$r = 9,81 * \left(1 + \frac{V^2}{4000} + i\right)$$

The mechanical characteristics of the electric locomotive, chosen among the modern ones, are shown in Fig. 5. It shows, as a function of speed: wheel force F_l ; wheel power P_l ; resistance to motion on the level ($i=0‰$) and on the maximum gradient ($i=23‰$) calculated for mass $M=1,600$ t; power at the wheel P_l .

In order to determine the rideability of the route and estimate the need for traction integration to reach and maintain the maximum speeds permitted by the route, at the various sections, a preliminary rough calculation was carried out, the results of which are shown in Fig. 6 and Fig. 7.

Fig. 6 shows, as a function of space, the resistance to motion R corresponding to the maximum speed and the slope, the tractive force at the wheels of the locomotive F_l , the force required by the linear motor F_{ml} .

Fig. 7 shows, as a function of space, the available power of the locomotive P_l ; the power used by the linear motor P_{ml} ; the total power P_t .

The power required to maintain the maximum speed set by the route depends on the resistance to motion. The locomotive's power, without additional traction systems, is sufficient only from km 20 for about 10 km. For the other sections, more power than available is required, which could be provided by a second locomotive (dual traction) or a linear motor with a grounded stator.

In this second hypothesis, the power of the linear motor could be sized section by section as a function of the power, excluding the sections where the power of the locomotive alone is sufficient.

This preliminary analysis does not take into account the acceleration phases corresponding to the variations in the maximum permitted speed, which will be studied in the following scenarios.

5.3. Scenario 1. Mass $M=1,600$ t with a locomotive in composition

With this composition the train does not reach its maximum speed in the first part of the route with a gradient of $11‰$, $13‰$. The speed does not exceed 90 km/h even though

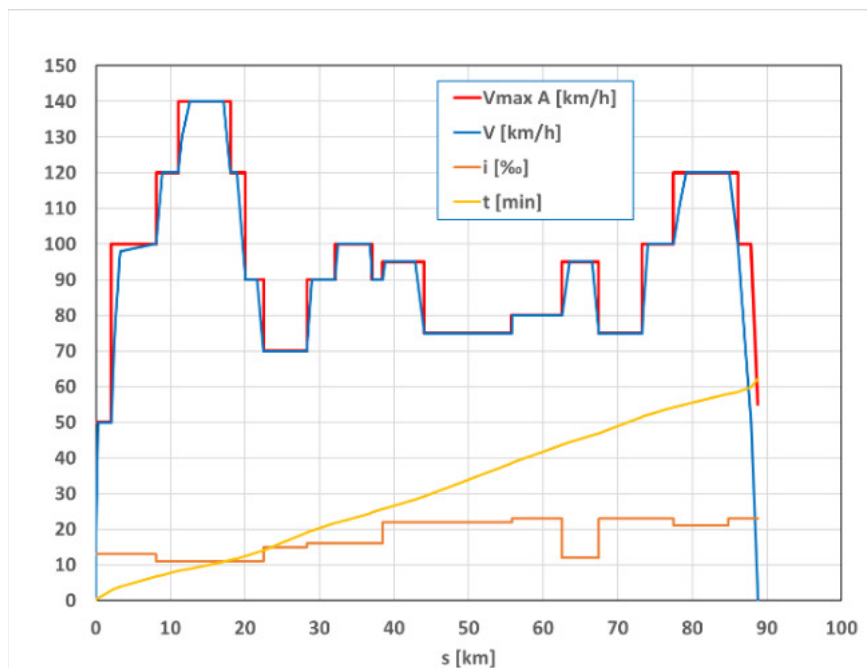


Figura 10 - Pendenza i , velocità massima V_{max} , velocità di marcia V e tempo t in funzione dello spazio s . Massa $M=1600$ t, Potenza locomotiva $P_l=6.000$ kW e motore lineare.

Figure 10 - Slope i , maximum permitted speed V_{max} , travel speed V and time t as a function of distance s . Mass $M=1600$ t, Locomotive power $P_l=6,000$ kW and linear motor.

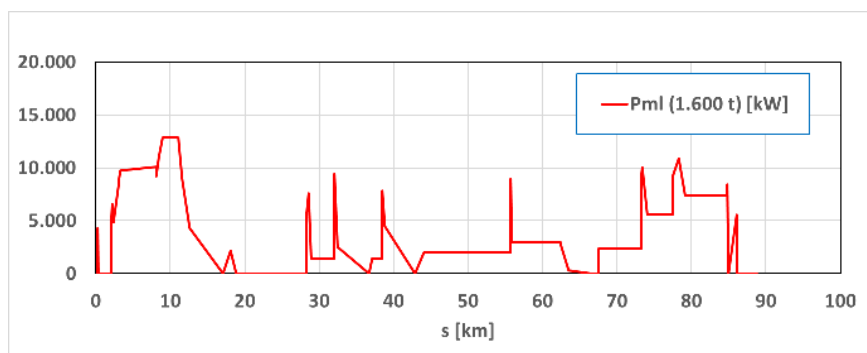


Figura 11 - Potenza del motore lineare in funzione dello spazio s . Massa $M=1.600$ t, Potenza locomotiva $P_l=6.000$ kW e motore lineare.

Figure 11 - Linear motor power as a function of space s . Mass $M=1,600$ t, Locomotive power $P_l=6,000$ kW and linear motor.

5.6. Scenario 4. Massa $M=2.500$ t con una locomotiva in composizione e integrazione della forza di trazione con motore lineare

In modo analogo allo scenario 3 sono state simulate le prestazioni di un treno con Massa $M=2.500$ t.

I diagrammi di velocità e di tempo in funzione dello spazio sono praticamente uguali a quelli dello scenario 3: le resistenze al moto e le forze acceleratrici sono proporzionali alla massa. Ciò è dimostrato anche dal diagramma della potenza in funzione dello spazio, come si può vedere

a maximum speed of 140 km/h is permitted in some sections. Furthermore, the train does not have sufficient power to continue beyond approximately km 40 due to the steep gradients (22‰) (Fig. 8).

5.4. Scenario 2. Mass $M=1,600$ t with two locomotives in composition

To complete the route, the train's motion diagram was calculated with one locomotive in the initial section and two locomotives, with equal performance, on the remaining section.

The addition of the second locomotive allows the train to continue travelling at the maximum permitted speeds, except for the final section where the speed remains at 100 km/h although speeds of up to 120 km/h are permitted (Fig. 9). This section has the steepest gradients (23‰). The average speed is 75.8 km/h.

5.5. Scenario 3. Mass $M=1,600$ t with a locomotive in composition and tractive force integration with a linear motor

The addition of the linear motor provides additional power that can be used to climb hills at the maximum speed allowed by the track and calculate the travel time.

The speed diagram, due to the available tractive force, corresponds, apart from the acceleration and deceleration phases, to the maximum speed profile permitted by the track (Fig. 10).

In correspondence with the maximum speed variations, the linear motor power was set based on the maximum acceleration and deceleration value defined in the model parameters.

Linear motor power varies with both the maximum permitted speed and the elevation profile of the route (Fig. 11).

The highest values are found in the sections from 0 to approximately 20 km and from approximately 75 to 90 km, where the speeds and gradients are highest. The average speed is 85.6 km/h.

5.6. Scenario 4. Mass $M=2,500$ t with a locomotive in composition and tractive force integration with a linear motor

Similarly to scenario 3, the performance of the train with mass $M=2,500$ t was simulated.

nella Fig. 12 in cui sono riportate le potenze del motore lineare Pml nei due scenari.

La presenza di picchi di potenza di limitata estensione ha suggerito di studiare l'effetto sul tempo totale di percorrenza e sulla velocità media, di una distribuzione della potenza disponibile, costante per almeno alcuni km.

Per individuare tali tratte e la relativa potenza massima è stata analizzata la distribuzione delle potenze richieste riportata nella Fig. 13. I valori medi della potenza sono rispettivamente: potenza media della locomotiva Plu poco superiore a 5.000 kW; potenza media del motore lineare Pml poco inferiore a 10.000 kW.

5.7. Scenario 5. Massa $M=2.500t$ con una locomotiva in composizione e motore lineare

La distribuzione della potenza disponibile del motore lineare si è ipotizzata, tenendo conto della distribuzione dei valori ottenuti nello scenario 4 (Fig. 13), nei singoli tratti pari a 3.000, 9.000, 12.000, 18.000 kW. Tale scelta è stata operata verificando la possibilità di raggiungere le velocità massime

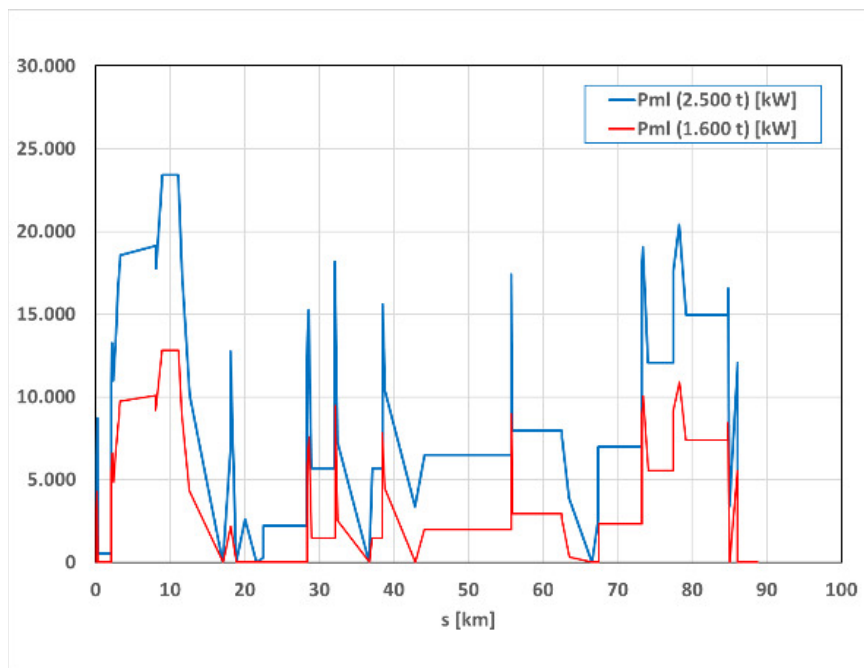


Figura 12 - Potenza del motore lineare Pml in funzione dello spazio s con Massa $M=2.500 t$ e Massa $M=1.600 t$.

Figure 12 - Power of the linear motor Pml as a function of the space s with Mass $M=2,500 t$, and Mass $M=1,600 t$.

The speed and time versus space diagrams are practically identical to those in scenario 3: the resistances to motion and the accelerating forces are proportional to the mass. This is also demonstrated by the power versus space diagram, as can be seen in Fig. 12, which shows the power outputs Pml of the linear motor in the two scenarios.

The presence of power peaks of limited extension suggested studying the effect on total time and average speed of a constant distribution of available power for at least a few km.

To identify these sections and their relative maximum power, the distribution of required power shown in Fig. 13 was analysed. The average power values are respectively: average power of the locomotive Plu just over 5,000 kW; average power of the linear motor Pml just under 10,000 kW.

5.7. Scenario 5. Mass $M=2,500t$ with a locomotive in composition and linear motor

The distribution of the linear motor's available power was hypothesised by considering the distribution of the

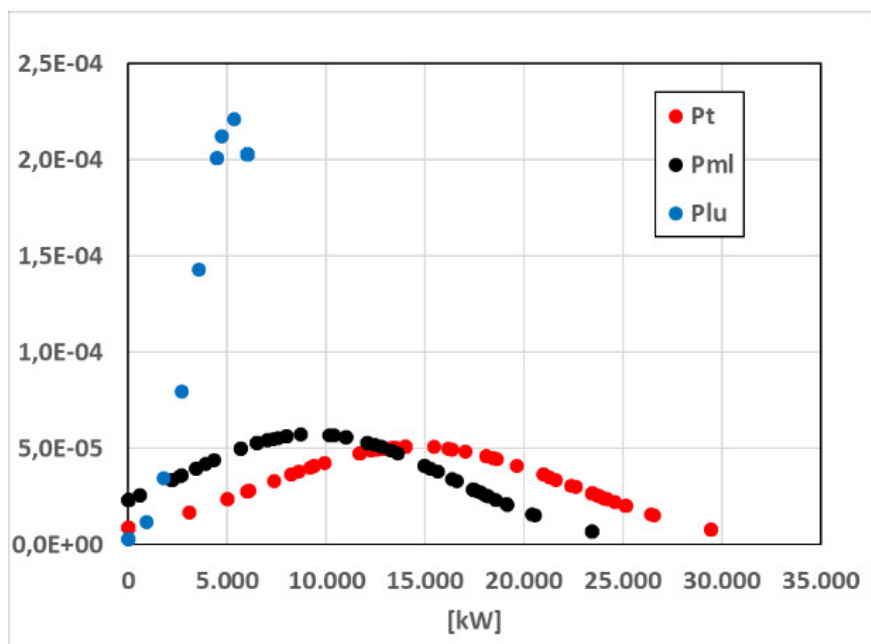


Figura 13 - Distribuzione dei valori delle potenze della locomotiva Plu, del motore lineare Pml, e totale Pt.

Figure 13 - Distribution of the power values of the locomotive Plu, the linear motor Pml, and the total Pt.

ammesse dal tracciato. I risultati della simulazione sono riportati nelle Fig. 14 e Fig. 15.

I diagrammi della velocità e del tempo in funzione dello spazio sono sostanzialmente uguali a quelli dello scenario 4. Le differenze di velocità media e tempo sono trascurabili: la velocità media varia da 85,5 km/h a 85,3 km/h; il tempo totale di percorrenza varia da 3.738 s a 3.749 s. Rispetto allo scenario 2, l'aggiunta del motore lineare al posto della seconda locomotiva porta ad un vantaggio in termini di velocità media di circa il 10%.

La potenza media del motore lineare richiesta è pari a 8.458 kW: i valori più elevati sono localizzati nelle tratte iniziali e finali (Fig. 15).

Nella tratta intermedia la potenza disponibile più frequente è 9.000 kW. Inoltre, esiste una piccola sezione intorno la km 20 che non richiederebbe potenza del motore lineare.

Dal confronto tra la potenza richiesta e la potenza disponibile si può osservare che si potrebbe ottimizzare ulteriormente la distribuzione della potenza disponibile lungo la linea con-

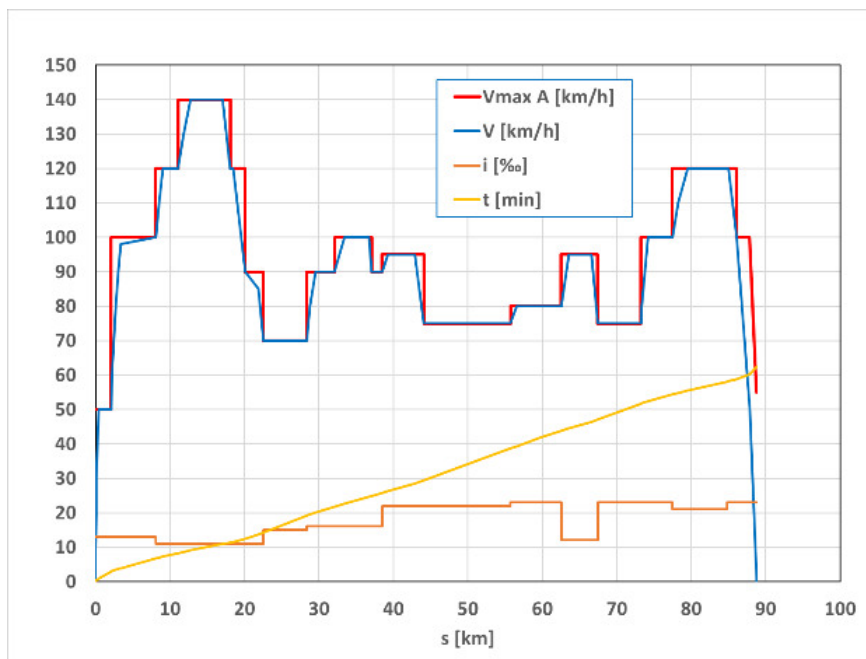


Figura 14 - Pendenza i , velocità massima V_{max} , velocità di marcia V e tempo t in funzione dello spazio s . Massa $M=2.500$ t, Potenza massima motore lineare $P_{ml-max} = 18.000$ Kw.

Figure 14 - Slope i , maximum permitted speed V_{max} , travel speed V and time t as a function of distance s . Mass $M=2,500$ t, Maximum linear motor power $P_{ml-max} = 18,000$ kW.

values obtained in scenario 4 (Fig. 13), in the individual sections equal to 3,000, 9,000, 12,000, and 18,000 kW. This was chosen by verifying the possibility of reaching the maximum speeds permitted by the route in each section. The simulation results are shown in Fig. 14 and Fig. 15.

The velocity and time versus distance diagrams are essentially identical to those of scenario 4. The differences in average speed and time are negligible: the average speed varies from 85.5 km/h to 85.3 km/h; the total travel time varies from 3,738 s to 3,749 s. Compared to scenario 2, adding the linear motor in place of the second locomotive results in an average speed advantage of approximately 10%.

The average power of the linear motor required is 8,458 kW: the highest values are located in the initial and final sections (Fig. 15).

In the intermediate section, the most common available power is 9,000 kW. Additionally, there is a small section around km 20 that would not require linear motor power.

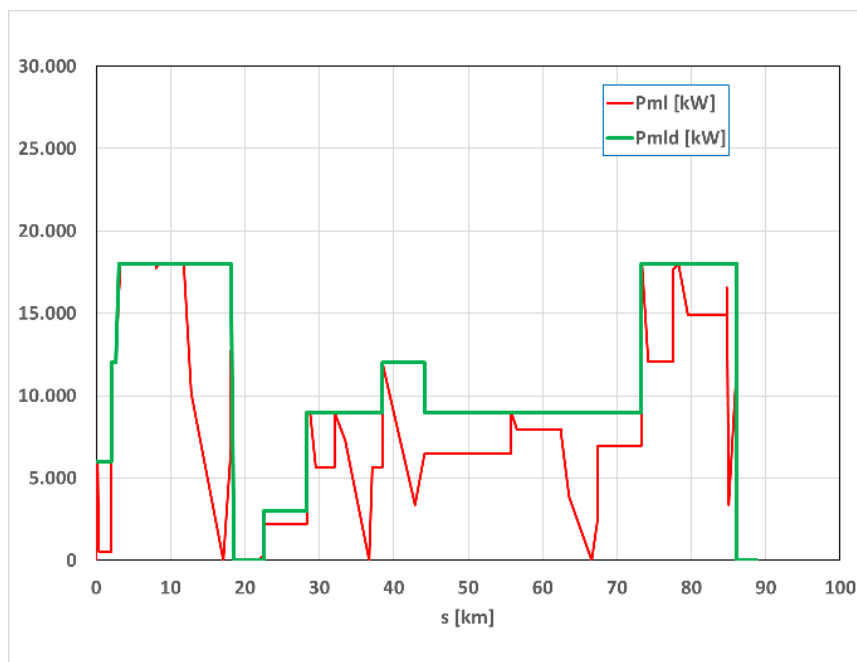


Figura 15 - Potenza richiesta P_{ml} e disponibile P_{mld} del motore lineare in funzione dello spazio s . Massa $M=2.500$ t, Potenza locomotiva $P_l= 6.000$ kW.
Figure 15 - Required power P_{ml} and available power P_{mld} of the linear motor as a function of the space s . Mass $M=2,500$ t, Locomotive power $P_l= 6,000$ kW.

frontandola con le prestazioni, tempo e velocità media ottenuti.

Va osservato infine che tali risultati dipendono dalle ipotesi e dai criteri adottati per le simulazioni.

Nella Tab. 1 sono riepilogati i risultati ottenuti per la linea di lunghezza L.

Come si può osservare le velocità medie per gli scenari 3, 4, 5 praticamente coincidono a fronte di potenze massime del motore lineare rispettivamente di circa 13.000, 24.000 e 18.000 kW.

Il dimensionamento delle sottostazioni per l'alimentazione del sistema in generale dipende dagli standard e dalla modularità delle apparecchiature installate.

Tenuto conto della modularità dei gruppi di potenza installati nelle sottostazioni tradizionali e della possibilità di sovraccarico, potrebbe essere sufficiente installare una o più sottostazioni elettriche della potenza di 2x5,4 MW per soddisfare la potenza richiesta dal motore lineare ammettendo brevi sovraccarichi del 50%, 100%.

6. Considerazioni conclusive

I risultati ottenuti con il presente lavoro mostrano che, dal punto di vista energetico e cinematico, l'ipotesi di utilizzare motori lineari nei tratti con forti pendenze per integrare la forza di trazione dei treni merci pesanti, evitando la trazione con più locomotive, potrebbe contribuire ad incrementarne le prestazioni e quindi ad aumentare la potenzialità di circolazione delle linee.

Ciò favorisce l'utilizzo dei tracciati attuali opportunamente attrezzati; sarebbe necessario installare sul binario la parte fissa del motore lineare costituita da un avvolgimento disposto tra le rotaie e sottostazioni elettriche di alimentazione analoghe a quelle dell'elettificazione della linea di contatto con un sistema di comando e regolazione della forza di trazione e di frenatura e sul veicolo un generatore di campo magnetico a magneti permanenti senza necessità di controllo, creando un sistema a trazione e frenatura distribuita.

Gli aspetti energetici e cinematici trattati nel presente studio si ritiene costituiscano elementi preliminari utili per valutare la percorribilità di questa soluzione tecnologica.

By comparing the required power with the available power, it can be observed that the distribution of the available power along the line could be further optimized by comparing it with the performance, time and average speed obtained.

Finally, it should be noted that these results depend on the hypotheses and criteria adopted for the simulations.

Tab. 1 summarizes the results obtained for the line of length L.

As can be observed, the average speeds for scenarios 3, 4, and 5 practically coincide with maximum linear motor powers of approximately 13,000, 24,000, and 18,000 kW, respectively.

The sizing of substations for powering the system in general depends on the standards and modularity of the installed equipment.

Taking into account the modularity of the power groups installed in traditional substations and the possibility of overload, it may be sufficient to install one or more electrical substations with a power of 2x5.4 MW to satisfy the power required by the linear motor, admitting short-term overloads of 50%, 100%.

6. Concluding remarks

The results obtained with this work show that, from an energetic and kinematic point of view, the hypothesis of using linear motors on sections with steep gradients to supplement the tractive force of heavy freight trains, avoiding traction with multiple locomotives, could contribute to improve their performance and thus increase line traffic capacity.

This favours the use of suitably equipped existing tracks; it would be necessary to install the fixed part of the linear motor on the track, consisting of a winding arranged between the rails and electrical power substations similar to those used for the electrification of the overhead contact line, with a traction and braking force command and control system, and a permanent magnet magnetic field generator on the vehicle without the need for control, creating a distributed traction and braking system.

The energetic and kinematic aspects covered in this study are considered to constitute preliminary elements useful for evaluating the feasibility of this technological solution.

Tabella 1 - Table 1

Risultati delle simulazioni
Simulation results

	M [t]	Pl-max [kW]	Pl-med [kW]	Pml-max [kW]	Pml-med [kW]	Pt-max [kW]	t [s]	L [km]	V-med [km/h]
Scenario 1	1.600	6.000	6.007	0	0	6.000	1.896	37,081	70,4
Scenario 2	1.600	12.000	7.028	0	0	12.000	4.128	88,792	75,8
Scenario 3	1.600	6.000	5.168	12.829	4.195	18.829	3.761	88,792	85,5
Scenario 4	2.500	6.000	5.240	23.420	9.306	29.420	3.738	88,792	85,5
Scenario 5	2.500	6.000	4.688	18.000	8.458	24.000	3.749	88,792	85,3

Ulteriori approfondimenti dovranno riguardare in particolare le interferenze elettromagnetiche relative alla circolazione di veicoli attrezzati su linee non attrezzate e viceversa, le criticità relative al traferro ed alle sue variazioni, le problematiche della manutenzione della via, la compatibilità con le specifiche tecniche e l'efficienza tecnico-economica.

Further investigations should focus in particular on electromagnetic interference related to the circulation of equipped vehicles on non-equipped lines and vice versa, critical issues related to the air gap and its variations, problems related to track maintenance, compatibility with technical specifications and technical-economic efficiency.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] PALKA R., WORONOWICZ, K. (2021), "Linear Induction Motors in Transportation Systems". *Energies* 2021, 14, 2549. <https://doi.org/10.3390/en14092549>.
- [2] SEO H., LIM J., PARK S.-U., MOK H.-S. (2019), "A study on efficiency of magnetic levitation trains using linear induction motor by slip pattern", 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Baltimore, MD, USA, 2019, pp. 1635-1640, DOI: 10.1109/ECCE.2019.8912945.
- [3] WANG H., LI J., QU R., LAI J., HUANG H., LIU H. (2018), "Study on High Efficiency Permanent Magnet Linear Synchronous Motor for Maglev", in *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 28, no. 3, pp. 1-5, April 2018, Art no. 0601005, doi: 10.1109/TASC.2018.2796560.
- [4] PARK S.-U., MOK H.-S., LIM J.-W., SEO H.-U., OH S.-H. (2020), "Efficiency Improvement by Deriving the Optimal Operating Slip Frequency of a Linear-Induction-Style Maglev Train". *Energies* 2020, 13, 6544. <https://doi.org/10.3390/en13246544>.
- [5] PERREAULT D., THOMTON R. (1993), "Power Electronics for Linear Synchronous Motor propulsion System", Massachusetts Institute of Technology, March 15, 1993.
- [6] ZOU Z., ZHENG M., LU Q. (2022), "Modeling and Simulation of Traction Power Supply System for High Speed Maglev Train", *World Electric Vehicle Journal*, 2022, 13, 82.
- [7] FLEMING A., ZAREI M., SEZAR V. (2023), "A New Algorithm for Design and Optimize of Linear Synchronous Motor with DC Excitation", <https://doi.org/10.31224/2877>, Preprint, Posted 2023-03-20.
- [8] BINDER A. – "New Technologies of Electric Energy Converters and Actuators" (<https://www.etit.tu-darmstadt.de> 1-11-2025).
- [9] KAYE R. J., MASADA E. (2004), "Comparison of Linear Synchronous and Induction motor". Urban Maglev Technology Development Program. Colorado Maglev Project. <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/16110>.
- [10] WANG X., LIU H., ZHANG S., (2011), "High Performance Propulsion Control of Magnetic Levitation Vehicle Long Stator Linear Synchronous". 2011 International Conference on Electrical Machines and Systems, Beijing, China, 2011, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICEMS.2011.6073798.
- [11] Europe's Rail - Made4 Rail Project – Deliverable D 2.1 (2023), "Functional technical, operational and economical overview of conventional rail system, traditional maglev system and innovative maglev derived system", 30-10-2023.
- [12] BOLDEA I. (2013), "Linear electric machines, drives and Maglev Handbook". CRC Press.
- [13] LEE Y., KIM J., KIM H. (2011), "Modeling for Power Supply Substation in Maglev Train System". The 21st International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, October 10-13, 2011, Daejeon, Korea.
- [14] SEAL M., SENGUPTA M., (2017), "Design, Analysis and Fabrication of a Linear Permanent Magnet Synchronous Machine" *Sadhana* Vol.42 No 8, August 2017, pp1419-1429. DOI 10.1007/s12046-017-0687-8.
- [15] LAI Q., LIU J., WANG Y., XU H., GUO S., JU M. (2024), "Energy Efficient Operation of Medium Speed Maglev Through Integrated Traction and Train Control". *IET* 2024;18: 409-431.
- [16] Europe's Rail - Made4 Rail Project – Deliverable D 7.2 (2024), "Technical feasibility study of the Maglev derived system in the use cases selected". 31-07-2024.
- [17] BARDHI A., CARCASI G., DE BELEN M., DE BLASIO G., NOCITA A., PATIÑO PUERTA C., RADZISZEWSKI P., RICCI S., RIZZETTO L., (2024), "Potential application of Maglev Derived System to improve railway performance". CETRA 2024 8th international conference on road and rail infrastructure. <https://dx.doi.org/10.5592/co/cetra.2024.1615>.
- [18] LANZARA G., D'OVIDIO G., LI H., DENG Z., AU - ZHANG W. (2021), "Magnetic levitation systems assessment from transport engineering point of view: background and future prospects". *Ingegneria Ferroviaria* 7-8 2021.



Sistemi di attraversamenti a raso

KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG

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





Una revisione sistematica della letteratura sull'integrazione aereo ferroviaria

A Systematic Literature Review on Air-Rail Integration

Nandhini MAHESH^(*)

Reem HADEED^(*)

Marin MARINOV^(*)

Elizabeth WANNER^(**)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.11.2025.ART.2>)

Sommario - Con l'evoluzione dei sistemi di trasporto globali, l'integrazione aereo-ferrovia è diventata essenziale per migliorare la connettività multimodale e ottimizzare l'esperienza dei passeggeri. Questo articolo propone un esame sistematico su 27 studi, i quali sono stati sottoposti a revisione paritaria (2015–2025) per valutare in che modo l'integrazione influenza il comportamento dei passeggeri, la connettività e l'efficienza del sistema. I risultati indicano che orari coordinati, biglietteria unificata e terminal co-locati migliorano significativamente la soddisfazione dei passeggeri e il flusso operativo. Sono stati identificati quattro temi: comportamento dei passeggeri, dinamica del flusso, fattori di preferenza modali e sfide di trasferimento. I problemi persistenti includono una cattiva gestione dei bagagli e limitati sistemi di informazione in tempo reale. La revisione evidenzia la necessità di uno strumento di valutazione basato sull'intelligenza artificiale per guidare una pianificazione del trasporto multimodale più inclusiva e sostenibile.

1. Introduzione

Negli ultimi decenni, l'integrazione delle modalità di trasporto aereo e ferroviario è emersa come una soluzione strategica per migliorare la connettività multimodale riducendo la congestione e migliorando l'efficienza complessiva dei trasporti [1][2]. L'integrazione aereo-ferrovia è definita come la fornitura di servizi di aeromobili e treni ad alta velocità (AV) come un viaggio completo, che consente trasferimenti rapidi e senza soluzione di continuità tra le due modalità di trasporto, migliorando così l'esperienza di viaggio complessiva per i passeggeri [3]. Completare la connessione coordinata e senza soluzione di continuità tra trasporto aereo e trasporto ferroviario, sottolineando tre aspetti critici: servizi sincronizzati tra vettori, costituisce un'esperienza di viaggio senza soluzione

Summary - As global transport systems evolve, air-rail integration has become essential for enhancing multimodal connectivity and optimising passenger experience. This study conducts a systematic literature review of 27 peer-reviewed studies (2015–2025) to assess how integration influences passenger behaviour, connectivity, and system efficiency. Findings indicate that coordinated schedules, unified ticketing, and co-located terminals significantly improve passenger satisfaction and operational flow. Four themes were identified: passenger behaviour, flow dynamics, modal preference drivers, and transfer challenges. Persistent issues include poor baggage handling and limited real-time information systems. The review highlights the need for an AI-driven evaluation tool to guide more inclusive and sustainable multimodal transport planning.

1. Introduction

In recent decades, the integration of air and rail transport modes has emerged as a strategic solution for enhancing multimodal connectivity by reducing congestion and improving overall transportation efficiency [1][2]. Air-rail integration is defined as the provision of aircraft and high-speed train (HST) services as one complete journey, allowing for fast and seamless transfers between the two modes of transport, thereby enhancing the overall travel experience for passengers [3]. Complementing the coordinated and seamless connection between air transport and rail transport, emphasizing three critical aspects: synchronized services between carriers, a seamless travel experience through joint ticketing and luggage handling, and improved accessibility to multimodal transport hubs [4]. The interface between aviation and rail has become more crucial as

^(*) EM, Aston University, Birmingham, Regno Unito.

^(**) Department of Applied Artificial Intelligence and Robotics School of Computer Science and Digital Technologies Aston University Birmingham, UK e.wanner1@aston.ac.uk

^(*) EM, Aston University, Birmingham, Regno Unito.

^(**) Department of Applied Artificial Intelligence and Robotics School of Computer Science and Digital Technologies Aston University Birmingham, UK e.wanner1@aston.ac.uk

ne di continuità attraverso la biglietteria congiunta, gestione dei bagagli e una migliore accessibilità agli hub di trasporto multimodale [4]. L'interfaccia tra aviazione e ferrovia è diventata più cruciale man mano che le reti ferroviarie ad alta velocità (AV) si diffondono in tutto il mondo, generando quindi possibilità e ostacoli alla mobilità dei passeggeri [5] [6]. Progettati per offrire viaggi multimodali senza intoppi, i sistemi aereo-ferrovia integrati mirano a consentire trasferimenti rapidi e garantire che le esperienze di viaggio generali siano migliorate ottenendo perfino la modifica dei modelli di comportamento dei passeggeri [6].

L'evoluzione dell'integrazione aereo-ferrovia riflette forme di cooperazione e integrazione in base alle quali si vede un passaggio da strategie specifiche per modalità a sistemi multimodali olistici, che danno la massima priorità alla connettività e alla comodità dei passeggeri [7]. In particolare, nelle aree con sviluppate reti ferroviarie ad alta velocità, questo spostamento è stato particolarmente degno di nota. In queste aree, gli investimenti infrastrutturali e gli sforzi politici hanno intenzionalmente incoraggiato interazioni complementari tra servizi aerei e ferroviari, influenzando quindi il mutuo rapporto [8]. In questo ambiente mutevole, la gestione dei bagagli è diventata un fattore chiave che influenza l'esperienza di integrazione senza interruzioni, un grave ostacolo per i passeggeri che utilizzano viaggi multimodali [9], suggerendo che un'infrastruttura dedicata alla gestione dei bagagli, se in atto, può ridurre notevolmente i tempi di trasferimento e migliorare la soddisfazione dei passeggeri nei sistemi di trasporto integrati [10]. Un esempio notevole è l'*Hongqiao Integrated Transport Hub* di Shanghai, che riflette la sua fusione fisica e operativa di queste modalità di trasporto, generando quindi nuovi paradigmi per la gestione del flusso di passeggeri e la connettività multimodale [4]. Il crescente numero di tali iniziative in tutto il mondo ha prodotto una vasta gamma di studi che indagano su diversi aspetti di questi sistemi, tra cui l'efficienza operativa, l'esperienza dei passeggeri e la redditività economica.

Nonostante l'espansione delle strutture di integrazione aereo-ferrovia, il loro impatto sul comportamento, le preferenze e la mobilità dei passeggeri rimane intricato e diversificato [11]. La percezione, la soddisfazione e i processi decisionali dei passeggeri, nonché l'infrastruttura fisica e il coordinamento operativo determinano l'efficacia di tale integrazione [12]. Inoltre, controllare efficacemente i flussi di passeggeri all'interno di questi hub multimodali crea difficoltà legate alle procedure di trasferimento, all'orientamento e alla qualità del servizio [13].

Questa frammentazione nella letteratura sottolinea quanto sia importante una sintesi completa. Esistono numerosi studi, anche se spesso si concentrano solo su alcuni aspetti della questione e sono dispersi in diverse discipline. Per identificare modelli coerenti, risolvere risultati contraddittori ed evidenziare lacune importanti, la conoscenza deve essere integrata in modo approfondito e metodico. Pertanto, l'obiettivo principale di questo studio è condurre un Esame Sistemático della Letteratura (ESL) per sintetizzare e valutare criticamente la ricerca esistente

high-speed rail (HSR) networks spread worldwide, therefore generating both possibilities and obstacles for passenger mobility [5][6]. Designed to provide smooth multimodal trips, integrated air-rail systems aim to enable quick transfers and guarantee general travel experiences are enhanced; they may also change passenger behaviour patterns [6].

Air-rail integration's evolution reflects forms of cooperation and integration whereby a shift from mode-specific strategies towards holistic multimodal systems that give connectivity and passenger convenience top priority is seen [7]. Particularly in areas with developed high-speed rail networks, this shift has been especially noteworthy. There, infrastructure investments and policy efforts have purposefully encouraged complementary interactions between air and rail services, therefore influencing the relationship between them [8]. In this changing environment, baggage handling has become a key factor influencing the smooth integration experience and a major obstacle for passengers using multimodal travel [9], suggesting that dedicated baggage handling infrastructure, if in place, can greatly lower transfer times and enhance passenger satisfaction in integrated transport systems [10]. Notable example Shanghai's Hongqiao Integrated Transport Hub reflect its physical and operational merge of these transport modes, therefore generating new paradigms for passenger flow management and multimodal connectivity [4]. The growing number of such initiatives around the world has produced a wealth of studies investigating different aspects of these systems, including operational efficiency, passenger experience, and economic viability.

Despite the expansion of air-rail integration facilities, their impact on passenger behaviour, preferences, and mobility remains intricate and diverse [11]. Passenger perception, satisfaction, and decision-making processes as well as physical infrastructure and operational coordination determine the efficacy of such integration [12]. Moreover, effectively controlling passenger flows inside these multimodal hubs creates difficulties connected to transfer procedures, wayfinding, and service quality [13].

This fragmentation in the literatures emphasises how important a comprehensive synthesis is. Numerous studies exist, although they frequently focus on only a few aspects of the issue and are dispersed across several disciplines. To identify consistent patterns, resolve contradictory results, and highlight important gaps, this knowledge must be thoroughly and methodically integrated. Thus, this study's main goal is to conduct a Systematic Literature Review (SLR) to critically synthesise and evaluate the extant research on air-rail integration, with a focus on how it affects passenger behaviour, multimodal connectivity, and operational efficiency.

The theoretical underpinnings of air-rail integration studies cover various frameworks, including utility maximisation theory in passenger choice modelling [11], network optimisation in scheduling coordination [14], and service quality models in passenger satisfaction assessment [15]. These various methods not only show the multidisciplinary character of the field but also stress the need of more integrative conceptual frameworks able to grasp the intri-

sull'integrazione aereo-ferrovia, con particolare attenzione su come influisce sul comportamento dei passeggeri, sulla connettività multimodale e sull'efficienza operativa.

Le basi teoriche degli studi di integrazione aereo-ferrovia coprono vari quadri, tra cui la teoria della massimizzazione dell'utilità nella modellazione della scelta dei passeggeri [11], l'ottimizzazione della rete nel coordinamento della pianificazione [14] e i modelli di qualità del servizio nella valutazione della soddisfazione dei passeggeri [15]. Questi vari metodi non solo mostrano il carattere multidisciplinare del campo, ma sottolineano anche la necessità di quadri concettuali più integrativi in grado di cogliere l'intricata interazione tra esperienza dei passeggeri, gestione operativa e progettazione delle infrastrutture.

Questa ESL combina gli studi attuali sul controllo della utenza nei sistemi aereo-ferrovia integrati e sul comportamento dei passeggeri. Sebbene gli studi esaminati offrano un'analisi approfondita dei modelli di integrazione, delle preferenze dei passeggeri e dei problemi di trasferimento, evidenziano anche alcune aree poco esplorate. Queste includono la mancanza di studi sulla fattibilità dell'integrazione in aree a basse risorse o decentralizzate, un'attenzione limitata all'equità e all'accessibilità per vari gruppi di passeggeri e una ricerca inadeguata su questioni operative, compresi i sistemi di informazione in tempo reale e la gestione dei bagagli. Sebbene l'interesse per i progetti di integrazione aereo-ferrovia sia in aumento in tutto il mondo, la letteratura accademica rimane frammentata in discipline come l'ingegneria dei trasporti, la pianificazione urbana e gli studi sulla ricettività, vi è una mancanza di sintesi tra la ricerca sull'efficienza operativa, come l'ottimizzazione degli orari e i risultati incentrati sui passeggeri, comprese le scelte comportamentali e la soddisfazione. Inoltre, vi è una minima integrazione di come questi sistemi influenzano entrambe le efficienze operative. Colmare questa lacuna è essenziale per guidare la progettazione dei servizi e gli investimenti infrastrutturali che potrebbero migliorare la sostenibilità del trasporto multimodale, la soddisfazione dei passeggeri e la connettività. Questa ESL è quindi fondamentale per consolidare le conoscenze attuali, trovare le migliori pratiche e sottolineare le aree che richiedono ulteriori ricerche, guidando quindi la creazione di sistemi aria-ferrovia più efficienti e incentrati sull'utente.

La struttura di questo documento è la seguente: la Sezione 2 delinea l'approccio metodologico utilizzato per questo ESL, comprese le strategie di ricerca, i criteri di inclusione ed esclusione. La sezione 3 presenta i risultati in modo descrittivo e tematico della revisione; la sezione 4 discute le implicazioni di questi risultati. Infine, la Sezione 5 conclude il documento riassumendo le principali intuizioni, riconoscendo i limiti e suggerendo direzioni per la ricerca futura nel campo dell'integrazione aereo-ferrovia.

2. Metodologia

Per raggiungere l'obiettivo della ricerca e aumentare la solidità della revisione della letteratura, è stata condotta una revisione sistematica, basata sull'approccio in cin-

cate interaction between passenger experience, operational management, and infrastructure design.

This SLR combines current studies on crowd control in integrated air-rail systems and passenger behaviour. Although the studies examined offer insightful analysis of integration models, passenger preferences, and transfer issues, they also highlight some underexplored areas. These include the lack of studies on integration feasibility in low-resource or decentralised areas, limited attention to equity and accessibility for various passenger groups, and inadequate research on operational issues including real-time information systems and baggage handling. Though interest in air-rail integration projects is rising worldwide, the academic literature remains fragmented across disciplines such as transportation engineering, urban planning, and hospitality studies, there is a lack of synthesis between research on operational efficiency, such as schedule optimisation, and passenger-centric outcomes, including behavioural choices and satisfaction. Additionally, there is minimal integration of how these systems influence both operational efficiencies. Filling this gap is essential for guiding service design and infrastructure investments that could improve multimodal transportation sustainability, passenger satisfaction, and connectivity. This SLR is therefore vital to consolidate present knowledge, find best practices, and underline areas needing more research, therefore guiding the creation of more efficient and user-centric air-rail systems.

The organisation of this paper is as follows: Section 2 outlines the methodological approach employed for this SLR, including search strategies, inclusion and exclusion criteria. Section 3 presents the results descriptively and thematically of the review; Section 4 discusses the implications of these findings. Finally, Section 5 concludes the paper by summarizing the main insights, acknowledging limitations, and suggesting directions for future research in air rail integration field.

2. Methodology

To achieve the research objective and increase the robustness of reviewing the literature, a systematic review was conducted, based on the five-step approach, which include Step 1: Question Formulation; Step 2: Locating studies; Step 3: Study selection and evaluation; Step 4: Analysis and synthesis; Step 5: Reporting and using the results. The individual step is discussed as follows [16]. Guided by the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) criteria, this paper uses SLR approach [17]. Aiming to reduce biases and constraints natural in narrative reviews, the adoption of PRISMA guidelines guaranteed a clear and thorough description of the review process, therefore giving readers a clear knowledge of the study's rationale, methods, and conclusions.

2.1. Question formulation

Developing a precise and targeted research question is the most important phase in a SLR. This serves as a guide

que fasi: la Fase 1: Formulazione della domanda; Fase 2: Individuazione degli studi; Fase 3: Selezione e valutazione dello studio; Fase 4: Analisi e sintesi; Fase 5: Segnalazione e utilizzo dei risultati. Il singolo passaggio è trattato come segue [16]. Guidato dai criteri PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), questo documento utilizza l'approccio ESL [17]. Con l'obiettivo di ridurre i pregiudizi e i vincoli naturali nelle revisioni narrative, l'adozione delle linee guida PRISMA ha garantito una descrizione chiara e approfondita del processo di revisione, fornendo quindi ai lettori una chiara conoscenza della logica, dei metodi e delle conclusioni dello studio.

2.1. Formulazione della domanda

Sviluppare una domanda di ricerca precisa e mirata è la fase più importante in una ESL. Ciò funge da guida per l'intera procedura, garantendo che la revisione sia strutturata, ripetibile e in linea con i suoi obiettivi.

Data la crescente importanza dei sistemi aereo-ferrovia integrati nel trasporto multimodale e la crescente complessità del comportamento dei passeggeri, rimane una comprensione frammentata di come l'integrazione aereo-ferrovia influenzi le scelte di mobilità e le prestazioni del sistema. Le domande di ricerca sono progettate per sintetizzare i risultati esistenti e fornire una risposta mirata al divario identificato in letteratura.

La domanda di ricerca primaria e la domanda di ricerca secondaria sono le seguenti:

DR: In che modo l'integrazione aereo-ferrovia modella il comportamento dei passeggeri, la connettività e l'efficienza complessiva nei sistemi di trasporto multimodali?

Sub-DR1: Quali sono i modelli esistenti di integrazione aereo-ferrovia e in che modo influenzano il flusso di passeggeri?

Sub-DR2: Quali fattori chiave influenzano le preferenze dei passeggeri nella scelta delle opzioni aereo-ferrovia integrate?

Sub-DR3: Quali sono le sfide principali per i passeggeri durante i trasferimenti aereo-ferrovia e in che modo variano tra i progetti di infrastruttura?

Rispondendo a queste domande, lo studio mira a sintetizzare le conoscenze esistenti e identificare i fattori chiave che migliorano la sostenibilità economica e ambientale dell'integrazione aereo-ferrovia, nonché la soddisfazione dei passeggeri e l'efficacia operativa.

2.2. Individuazione degli studi

È stata creata una strategia di ricerca completa e ben strutturata per garantire la copertura completa del materiale pertinente nell'integrazione aereo-ferrovia. Sono state scelte sette basi di dati accademici, per la loro ampia portata e rilevanza disciplinare, seguendo i consigli delle pratiche consolidate nella metodologia ESL e la consultazione con la

for the entire procedure, guaranteeing that the review is organised, repeatable, and in line with its goals.

Given the increasing significance of integrated air-rail systems in multimodal transportation and the growing complexity of passenger behaviour, there remains a fragmented understanding of how air-rail integration influences mobility choices and system performance. The research questions are designed to synthesise existing findings and provide a focused response to the identified gap in the literature.

Primary research question and Sub research question are as follows:

RQ: *How does air-rail integration shape passenger behaviour, connectivity, and overall efficiency in multimodal transportation systems?*

Sub-RQ1: *What are the existing models of air-rail integration and how do they affect passenger flow?*

Sub-RQ2: *What key factors influence passenger preferences when choosing integrated air-rail options?*

Sub-RQ3: *What are the primary challenges for passengers during air-rail transfers and how do they vary across infrastructure designs?*

By answering these questions, the study aims to synthesise existing knowledge and identify key factors that improves air-rail integration's economic and environmental sustainability as well as passenger satisfaction and operational effectiveness.

2.2. Locating studies

A comprehensive and well-structured search strategy was created to ensure full coverage of relevant material in air-rail integration. Seven academic databases were chosen for their broad reach and disciplinary relevance following advice from established practices in SLR methodology and consultation with domain knowledge. Across seven databases, initial total of 60 records were found: IEEE Xplore (2), Scopus (15), Springer (1), ScienceDirect (22), MDPI (2), Taylor & Francis (4), Web of Science (12), Snowballing (2).

These databases were chosen due to their high-quality repositories of peer-reviewed literature and their strong coverage in transportation research and systems integration. The search strings were developed using a broad yet targeted approach to capture a wide array of studies relevant to the review. The search strings combined keywords using Boolean operators: ("railway stations" OR "airports") AND ("air-rail links" OR "air-rail integration" OR "multimodal air-rail transport") AND ("air-rail passenger behaviour" OR "air-rail travel behaviour" OR "seamless transfer" OR "behavioural modelling").

2.3. Study selection and evaluation

Given the interdisciplinary and evolving nature of air-

conoscenza del dominio di interesse. Sono stati trovati un totale iniziale di 60 record in sette basi di dati: IEEE Xplore (2), Scopus (15), Springer (1), ScienceDirect (22), MDPI (2), Taylor & Francis (4), Web of Science (12), Snowballing (2).

Queste basi di dati sono state scelte grazie ai loro archivi di alta qualità di letteratura sottoposta a revisione paritaria e alla loro forte copertura nella ricerca sui trasporti e nell'integrazione dei sistemi. Le stringhe di ricerca sono state sviluppate utilizzando un approccio ampio ma mirato per acquisire una vasta gamma di studi rilevanti per la revisione. Le stringhe di ricerca combinano parole chiave utilizzando operatori booleani: ("stazioni ferroviarie" o "aeroporti") e ("collegamenti aereo-ferrovia" o "integrazione aereo-ferrovia" o "trasporto aereo-ferrovia multimodale") e ("comportamento dei passeggeri aereo-ferrovia" o "comportamento del viaggio aereo-ferrovia" o "trasferimento senza soluzione di continuità" o "modellazione comportamentale").

2.3. Selezione e valutazione dello studio

Data la natura interdisciplinare e in evoluzione della ricerca sull'integrazione aereo-ferrovia, è stato adottato un rigoroso processo di selezione e valutazione per garantire che solo gli studi più rilevanti fossero inclusi in questa revisione. Il processo di selezione è iniziato con una revisione preliminare di titoli e abstract, seguita da una proiezione a testo completo di pubblicazioni potenzialmente rilevanti. Sia i criteri di inclusione che di esclusione sono stati stabiliti dopo un primo esame della letteratura recente nel settore del trasporto aereo-ferroviario.

I criteri di inclusione erano i seguenti:

- Articoli di riviste a revisione paritaria e documenti di conferenze pubblicati tra il 2015 e il 2025. Gli atti della conferenza sono stati inclusi per ridurre i pregiudizi di parzialità, catturare la ricerca emergente e riflettere l'importanza delle conferenze ad alto impatto nei settori dei trasporti e dell'ingegneria. La loro inclusione garantisce una visione più completa e rappresentativa del panorama della ricerca. Il lasso di tempo dal 2015 al 2025 è stato scelto deliberatamente poiché rappresenta una fase di sviluppo mondiale e notevoli progressi nelle infrastrutture e nella ricerca di integrazione aereo-ferrovia, passando da modelli teorici a valutazioni empiriche dei sistemi operativi. Questo periodo comprende efficacemente le ultime prove, offrendo al contempo una base decennale per analizzare lo sviluppo delle strategie di integrazione e il loro impatto sulla società.
- Studi che sono sottoposti a revisione paritaria e si concentrano esplicitamente sull'integrazione aereo-ferrovia, sul comportamento dei passeggeri, sul trasporto multimodale, sulle ferrovie e sulle infrastrutture aeroportuali.
- Studi concettuali o empirici che esplorano la connettività dei passeggeri, l'esperienza di trasferimento e la progettazione delle infrastrutture.
- Ricerca che fornisce quadri teorici o casi di studio del

rail integration research, a rigorous selection and evaluation process was adopted to ensure that only the most relevant studies were included in this review. The selection process began with a preliminary review of titles and abstracts, followed by a full-text screening of potentially relevant publications. Both inclusion and exclusion criteria were established after an initial scoping of recent literature in the air-rail transportation domain.

The inclusion criteria were as follows:

- *Peer-reviewed journal articles and conference papers published between 2015 and 2025. Conference proceedings were included to reduce recency bias, capture emerging research, and reflect the importance of high-impact conferences in the transport and engineering domains. Their inclusion ensures a more comprehensive and representative view of the research landscape. The timeframe from 2015 to 2025 was deliberately chosen since it signifies a phase of worldwide development and notable progress in air-rail integration infrastructure and research, transitioning from theoretical models to empirical assessments of operational systems. This period effectively encompasses the latest evidence while offering a decade-long foundation for analysing the development of integration strategies and their impact on society.*
- *Studies that are peer-reviewed and explicitly focus on air-rail integration, passenger behaviour, multimodal transport, railway, and airport infrastructure.*
- *Conceptual or empirical studies that explore passenger connectivity, transfer experience and infrastructure design.*
- *Research that provides theoretical frameworks or real-world case studies supporting improvements in operational efficiency or passenger satisfaction.*

The exclusion criteria included:

- *Publications not available in English.*
- *Articles that do not primarily focus on rail or air transportation, or those focusing solely on unrelated transportation modes (e.g., maritime, urban bus systems).*
- *Papers that are not peer-reviewed, including white papers, news articles, and opinion essays. To ensure the quality of included studies, all selected journals were assessed using established academic metrics. A complete journal ranking assessment is provided in Appendix A, demonstrating the scholarly robustness of the selected literature base.*
- *Research targeting individual industry models without relevance to multimodal integration or passenger-level analysis.*

Duplicates were removed, and further screening led to a narrow selection. After applying these criteria, the final number of studies included in the analysis is 27, as depicted in Fig. 1.

mondo reale a sostegno di miglioramenti nell'efficienza operativa o nella soddisfazione dei passeggeri.

I criteri di esclusione includevano:

- Pubblicazioni non disponibili in inglese.
- Articoli che non si concentrano principalmente sul trasporto ferroviario o aereo, o quelli che si concentrano esclusivamente su modalità di trasporto non correlate (ad esempio, sistemi di autobus marittimi e urbani).
- Documenti che non sono sottoposti a revisione paritaria, inclusi libri bianchi, articoli di notizie e saggi di opinione. Per garantire la qualità degli studi inclusi, tutte le riviste selezionate sono state valutate utilizzando metriche accademiche consolidate. Una valutazione completa della classificazione della rivista è fornita nell'Appendice A, a dimostrazione della solidità accademica della base bibliografica selezionata.
- Ricerca mirata a singoli modelli di settore senza rilevanza per l'integrazione multimodale o l'analisi a livello di passeggero.

I duplicati sono stati rimossi e un ulteriore screening ha portato a una selezione ristretta. Dopo aver applicato questi criteri, il numero finale di studi inclusi nell'analisi è 27, come illustrato nella Fig. 1

2.4. Analisi e sintesi dei dati

L'analisi descrittiva e tematica dei 27 documenti scelti ha garantito una conoscenza approfondita dell'attuale panorama accademico con particolare attenzione all'integrazione aereo-ferrovia e al suo impatto sul comportamento dei passeggeri e sulle prestazioni del sistema. L'analisi descrittiva è consistita nel categorizzare gli studi per anno di pubblicazione, fonte della rivista o della conferenza, contesto geografico e approccio metodologico. Questa metodologia ha rivelato le tendenze dell'interesse per la ricerca nel tempo e le principali discipline a supporto del campo, tra cui la pianificazione dei trasporti, l'ingegneria aereo-ferroviaria e i sistemi di mobilità urbana. Lo studio tematico si è concentrato sulla ricerca di modelli, problemi e strutture ricorrenti connessi all'integrazione multimodale.

È stata quindi eseguita una sintesi pragmatica per indagare su come questi temi sono implementati in vari sistemi di trasporto, sottolineando così

2.4. Analysis and synthesis

Descriptive and thematic analysis of the 27 chosen papers guaranteed a thorough knowledge of the present academic scene with focus on air-rail integration and its impact on passenger behaviour and system performance. The descriptive analysis consisted of categorising the studies by year of publication, journal or conference source, geographical context, and methodological approach. This approach revealed trends in research interest over time as well as the main disciplines supporting the field, including transportation planning, air-railway engineering, and urban mobility systems. The thematic study concentrated on finding recurring patterns, issues, and frameworks connected to multi-modal integration.

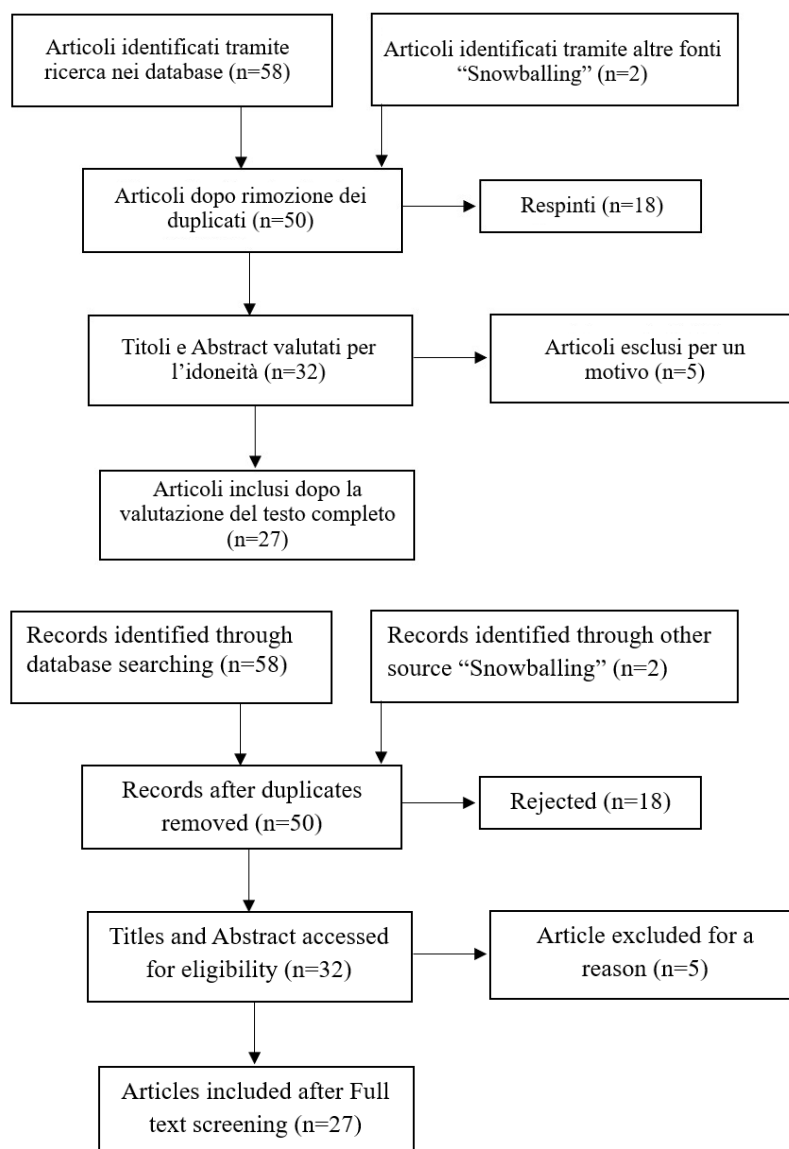


Figura 1 - Panoramica del processo di screening degli articoli.
Figure 1 - Overview of article screening process.

le migliori pratiche e le lacune. Con riferimento in particolare allo sviluppo sostenibile, alla soddisfazione dei passeggeri e alle prestazioni del sistema negli ecosistemi aereo-ferroviario. Questo approccio integrativo non solo chiarisce le conoscenze accademiche, ma collega anche le conoscenze teoriche con le conseguenze pratiche.

2.5. Consuntivo ed utilizzo dei risultati

Il resto di questo documento è dedicato a riportare i risultati in modo descrittivo e tematico e a discutere le conclusioni. Questo studio impiega un approccio metodologico sistematico, a partire da un'analisi descrittiva per quantificare le caratteristiche chiave della letteratura considerata. Successivamente, conduce un'analisi tematica per approfondire i temi di ricerca prevalenti. Questo approccio a due fasi facilita un'ampia panoramica del campo di ricerca e un esame dettagliato di modelli e approfondimenti critici.

3. Risultati

Sulla base dei documenti finali selezionati, la sezione seguente presenta un'analisi descrittiva e tematica dei modelli di integrazione aereo-ferrovia e del loro impatto sul comportamento dei passeggeri.

3.1. Analisi descrittiva

Tra i 27 studi selezionati, 23 articoli (85%) sono stati pubblicati su riviste, mentre 4 articoli (15%) sono apparsi in atti di conferenze. Le tendenze di pubblicazione dal 2015 al 2025 indicano un interesse di ricerca fluttuante nel trasporto aereo-ferroviario. La ricerca è iniziata nel 2016 e nel 2017 con due articoli, seguiti da uno nel 2018 e nel 2020. Vi è stata una rinascita di interesse nel 2021 con tre articoli ogni anno, seguiti da quattro articoli nel 2022, 2023 e nel 2024 e sei articoli nel 2025. Questa recente crescita dimostra l'aumento di interesse sui servizi e soluzioni integrati aereo-ferrovia per l'emissione di biglietti integrati, l'analisi del comportamento dei passeggeri e i miglioramenti dell'efficienza aereo-ferrovia. Lo schema che è stato seguito è mostrato nella Fig. 2.

La distribuzione geografica dei documenti nella Fig. 3 rivela l'interesse globale per il trasporto passeggeri senza soluzione di continuità e l'integrazione aereo-ferrovia. Si osserva tuttavia una significativa concentrazione geografica; la Cina è in cima con diciassette documenti che mostrano la sua forte attenzione ai progressi del trasporto aereo e ferroviario, seguita dal Regno Unito con due documenti. Altri paesi con un documento a testa includono Australia, Canada, Thailandia, Indonesia, Francia, Israele, Spagna e Stati Uniti. Questa distribuzione

A pragmatic synthesis was then performed to investigate how these themes are implemented across various transport systems, so stressing best practices and gaps. Particularly with reference to sustainable development, passenger satisfaction, and system performance in air-rail ecosystems. This integrative approach does not only clarify the academic knowledge but also connects theoretical knowledge with practical consequences.

2.5. Reporting and using the result

The remainder of this paper is dedicated to report the results descriptively and thematically and discuss the findings. This study employs a systematic methodological approach, beginning with a descriptive analysis to quantify key characteristics of the reviewed literature. Subsequently, it conducts a thematic analysis to explore prevailing research topics in depth. This dual-phase approach facilitates both a broad overview of the research field and a detailed examination of critical patterns and insights.

3. Results

Based on the final selected papers, the following section presents a descriptive and thematic analysis of air-rail integration models and their impact on passenger behaviour.

3.1. Descriptive analysis

Among the 27 selected studies, 23 papers (85%) were published in journals, while 4 papers (15%) appeared in conference proceedings. The publication trends from 2015 to 2025 indicate fluctuating research interest in air-rail transportation. Research began in 2016 and 2017 with two articles, followed by one in 2018 and 2020. There was a resurgence of interest in 2021 with three papers each year, followed by four papers in 2022,2023 and 2024, and six paper

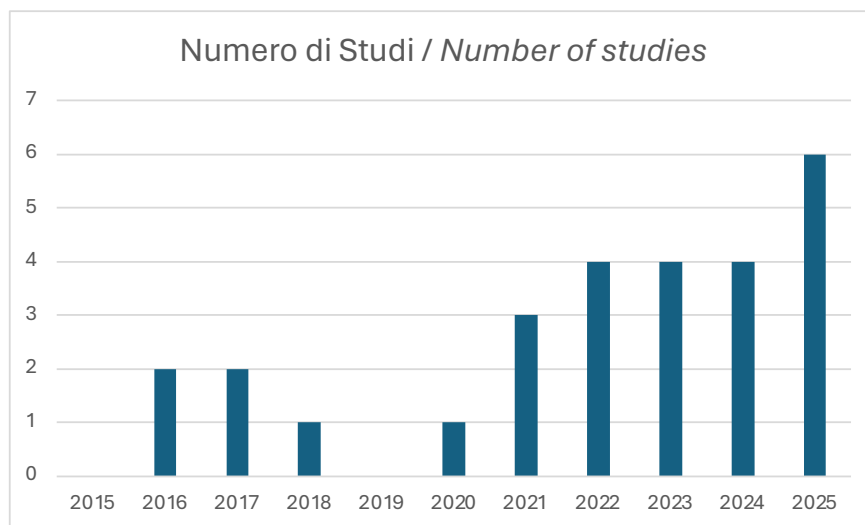


Figura 2 - Anno di pubblicazione degli elaborati selezionati.
Figure 2 - Publication year of selected papers.

indica una concentrazione della ricerca in Cina, evidenziando la sua efficiente modernizzazione dei trasporti. Questo predominio può limitare la generalizzabilità delle conclusioni a regioni con contesti politici, economici o infrastrutturali diversi, specialmente in Europa e nei paesi in via di sviluppo.

Tra le 27 pubblicazioni analizzate, la maggior parte (17) ha utilizzato metodi quantitativi, riflettendo una dipendenza predominante dall'analisi numerica all'interno di questo dominio di ricerca. Tali studi quantitativi hanno utilizzato sia metodi di analisi statistica che tecniche di modellazione matematica. I casi di studio (2) sono stati utilizzati per esplorare gli scenari di integrazione aereo-ferrovia del mondo reale. Gli approcci con metodi misti (5) hanno combinato dati quantitativi con tecniche analitiche avanzate come modelli di apprendimento automatico e modellazione di simulazione per valutare le prestazioni del sistema in varie condizioni e le revisioni della letteratura (3) hanno sintetizzato la ricerca esistente, evidenziando una lacuna negli approcci di ricerca osservazionale e numerica diretta. Nel complesso, la distribuzione metodologica indica una chiara preferenza per approcci analitici e applicati alla comprensione dell'integrazione aereo-ferrovia. Una sintesi di questi modelli metodologici è presentata nella Fig. 4.

Gli studi esaminati sono pubblicati su una vasta gamma di riviste, come mostrato nella Fig. 5, con una chiara attenzione alla Ricerca sui Trasporti Parte A: Politica e pratica (6 pubblicazioni) e al *Journal of Air Transport Management* (3 pubblicazioni). Altre riviste, come *Transport Policy*, *Travel Behaviour and Society*, *Transportation*, *Transportation Letters*, *Journal of Urban Technology*, *Journal of choice modelling*, *Research in Transportation business & management*, *Intelligent Transport system*, *Journal of advanced transportation*, *Sustainability*, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *Cities*, *Transportation Research Part B: Methodological and Multimodal Transportation* hanno contribuito con una pubblicazione. Oltre agli articoli di riviste, sono stati inclusi quattro atti di conferenza con revisione paritaria di alta qualità: *Proceedings of Innovation Aviation & Aerospace Industry - International Conference 2020*, *Transportation Research Procedia*, *20th European Dependable Computing Conference Companion Proceedings (EDCC-C)* e *14th SESAR Innovation Days*. Questa distribuzione riflette una forte attenzione alla ricerca sul crescente interesse in più sottocampi di trasporto.

3.2. Analisi tematica

Come passo successivo, i documenti selezionati sono stati analizzati, sintetizzati e classificati in quattro temi princi-

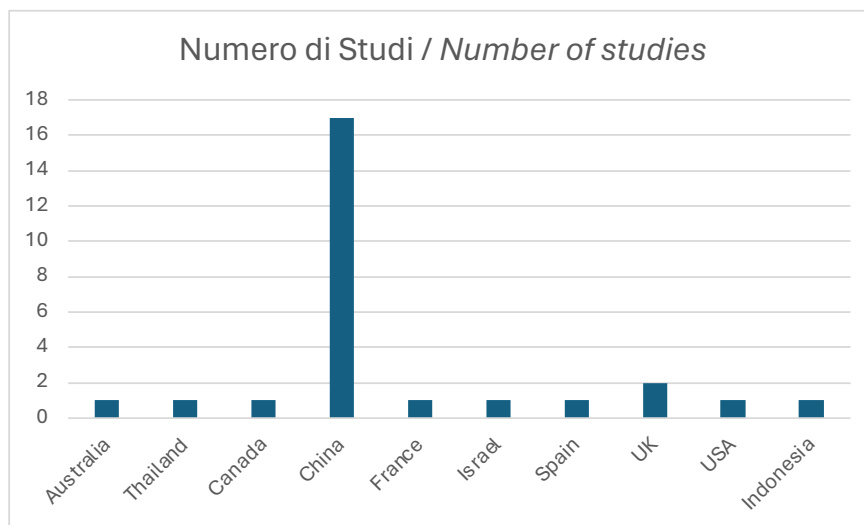


Figura 3 - Numero di studi in ciascuna regione degli autori.

Figure 3 - Number of Studies in Each Region by the Authors.

in 2025. This recent growth demonstrates the increasing acceptance of air-rail integrated services and solutions for integrated ticketing, passenger behaviour analysis, and air-rail efficiency improvements. The pattern that has been followed is shown in Fig. 2.

The geographical distribution of papers in Fig. 3 reveals the global interest in seamless passenger transport and air-rail integration. Significant geographic concentration is seen, however; China tops with seventeen papers showing their strong focus on air and rail transportation advancements followed by the United Kingdom with two papers. Other countries with one paper apiece include Australia, Canada, Thailand, Indonesia, France, Israel, Spain, and the United States. This distribution indicates a concentration of research in China, highlighting its efficient transport modernisation. This dominance may restrict the generalisability of conclusions to regions with varying policy, economic, or infrastructural contexts, especially in Europe and developing countries.

Among the 27 publications analysed, the majority (17) utilized quantitative methods, reflecting a predominant reliance on numerical analysis within this research domain. These quantitative studies used both statistical analysis methods and mathematical modelling techniques. Case studies (2) were used to explore real-world air-rail integration scenarios. Mixed method approaches (5) combined quantitative data with advanced analytical techniques such as machine learning models and simulation modelling to assess system performance under various conditions and Literature reviews (3) synthesized existing research, highlighting a gap in direct observational and numerical research approaches. Overall, the methodological distribution indicates a clear preference for analytical and applied approaches to understanding air-rail integration. A summary of these methodological patterns is presented in Fig. 4.

The reviewed studies are published across a diverse range

pali, tra cui gli impatti dell'integrazione ferrovia-aereo sul comportamento dei passeggeri, gli effetti dei modelli di integrazione sui flussi di passeggeri, i fattori che guidano le preferenze modali, le sfide del trasferimento dei passeggeri. Questi temi comprendono i metodi utilizzati per comprendere il comportamento dei passeggeri, ottimizzare gli orari e le prestazioni del sistema nell'integrazione del trasporto aereo e ferroviario.

Tema 1: Integrazione aereo-ferrovia sul comportamento del passeggero e le prestazioni del sistema.

L'integrazione aereo-ferrovia sta diventando una pietra miliare nello sviluppo di sistemi di trasporto multimodali, cambiando così il modo in cui i passeggeri selezionano e sperimentano i viaggi e migliorando l'efficienza dell'intera rete. Collegare l'AV con il trasporto aereo aiuta a creare una distribuzione più equilibrata della domanda di viaggio in base alla quale l'AV funge da valida alternativa per i viaggi a media distanza e il trasporto aereo viene salvato per i viaggi a lungo raggio [1]. Questo cambiamento non solo riduce la pressione sugli aeroporti affollati e sulle strade urbane, ma incoraggia anche un migliore utilizzo dell'energia e una sinergia operativa tra le modalità.

Nonostante questi vantaggi, l'interazione tra aereo e ferrovia non è sempre complementare, sebbene i sistemi integrati consentano alla modalità ferroviaria di operare come servizio feeder per gli aeroporti principali, in particolare negli hub primari, migliorando l'imbarco aeroportuale e aumentando il bacino di utenza per i voli a lungo raggio [5]. Al contrario, negli hub secondari e negli aeroporti regionali, i servizi a bassa frequenza, le strutture sottoutilizzate e il numero inadeguato di passeggeri limitano l'integrazione. Ciò sottolinea una sottigliezza significativa: l'effetto dell'integrazione sulle prestazioni del sistema è abbastanza dipendente dal contesto; quindi, mette in discussione la presunzione di vantaggi universali in tutti i tipi di aeroporti. Gli approcci analitici quantitativi, come l'analisi delle componenti principali (ACP) e l'analisi frattale, possono rilevare inefficienze strutturali e geografiche nelle reti intermodali. Queste strategie aiutano a identificare le lacune di connettività e consentono investimenti infrastrutturali basati sull'evidenza, aumentando in definitiva l'affidabilità, l'accessibilità e la resilienza nei sistemi multimodali [27].

Per quanto riguarda il comportamento dei passeggeri,

Numero di studi / Number of studies

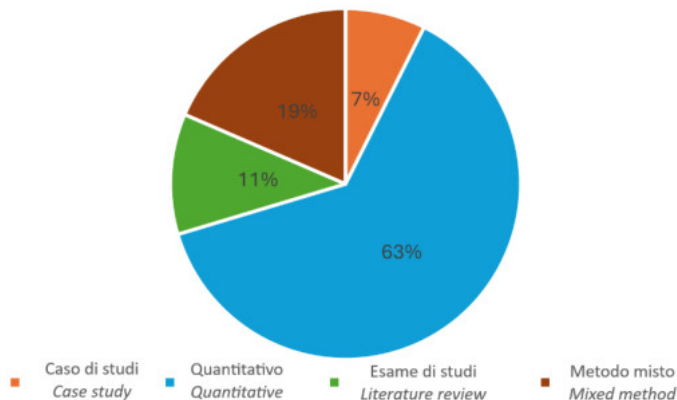


Figura 4 - Tipi di studi inclusi nella revisione sistematica.

Figure 4 - Types of Studies Included in systematic review.

Numero di Studi / Number of studies

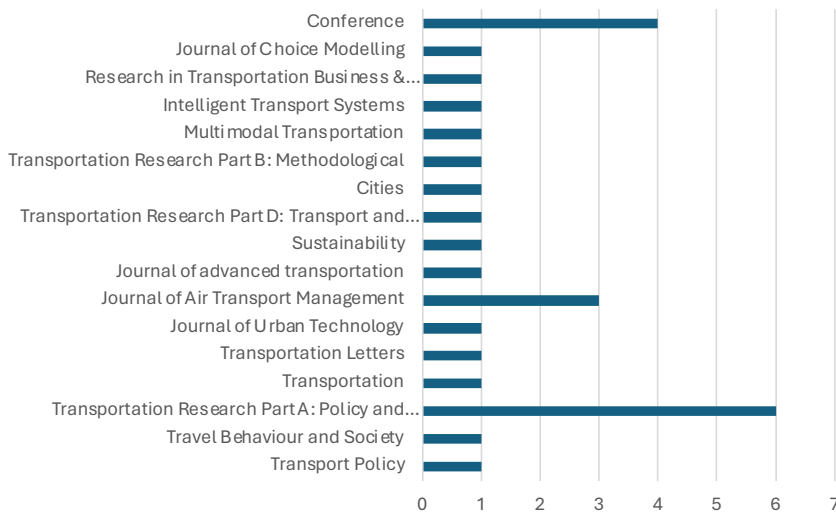


Figura 5 - Articoli ordinati per riviste.

Figure 5 - Articles sorted by journals.

of journals as shown in Fig. 5, with a clear focus on Transportation Research Part A: Policy and Practice (6 publications) and the Journal of Air Transport Management (3 publications). Other journals, such as Transport Policy, Travel Behaviour and Society, Transportation, Transportation Letters, Journal of Urban Technology, Journal of choice modelling, Research in Transportation business & management, Intelligent Transport system, Journal of advanced transportation, Sustainability, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Cities, Transportation Research Part B: Methodological and Multimodal Transportation each contributed one publication. In addition to journal articles, four high-quality peer-reviewed conference proceedings were

i modelli attuali sottolineano giustamente i profili socio-economici personali e le esigenze di viaggio. Includendo le distribuzioni del valore del tempo (VDT) in corso nelle funzioni di utilità, i modelli recenti mostrano la necessità di eterogeneità dei passeggeri consentendo di considerare diverse preferenze dei viaggiatori [18]. Tali modelli di struttura verticale mostrano quanto la sensibilità dei passeggeri al costo, al tempo e al comfort cambi in base al gruppo di reddito e all'obiettivo di viaggio.

Ad esempio, sebbene i viaggiatori d'affari attribuiscono sempre la massima priorità all'affidabilità degli orari e alla connettività fluida, i viaggiatori di piacere attribuiscono maggiore importanza alla convenienza economica e all'accessibilità [19]. La maggior parte dei modelli attuali considera la diversità dei viaggiatori solo a grandi linee, come gli affari rispetto al tempo libero. Questa semplificazione può trascurare variazioni significative nel comportamento di scelta della modalità, in particolare con l'aumento di scopi di viaggio ibridi (ad esempio, "bleisure" - affari con tempo libero) e modelli di lavoro in evoluzione dopo la pandemia. La ricerca futura dovrebbe indagare su tipologie di passeggeri più approfondite per aiutare a guidare ancora di più le attività di integrazione.

I passeggeri con VDT da moderati ad alti hanno maggiori probabilità di passare dai voli diretti ai servizi aerei-ferroviari integrati poiché la connessione multimodale migliora attraverso orari coordinati, biglietteria congiunta e sicurezza fast-track [11]. In particolare, questa tendenza è chiara nei mercati in cui l'AV compete fortemente con i viaggi aerei su distanze intermedie, specialmente tra i passeggeri a reddito più elevato che desiderano collegamenti efficienti in termini di tempo. Oltre alle scelte personali, le misure di efficienza a livello di sistema offrono una prospettiva più generale sulle conseguenze dell'integrazione. Le valutazioni basate su indicatori di costo sociale e misure di congestione mostrano che la cooperazione aereo-ferrovia avvantaggia la rete multimodale, in particolare in caso di elevata congestione negli aeroporti hub [18].

Sono stati trovati anche interventi operativi come servizi navetta dedicati, priorità dei passeggeri in ritardo e fast-tracking da marciapiede alla porta d'imbarco per ridurre il rischio di perdita di collegamenti, migliorando quindi l'affidabilità della rete e la soddisfazione dei passeggeri [20]. Nonostante questi vantaggi, il rapporto tra aereo e ferrovia rimane complesso. In particolare, nei mercati con espansioni aeroportuali o riprogettazioni della rete, le interazioni competitive e cooperative tra modalità aeree e ferroviarie aumentano la complessità dei risultati di integrazione. Sebbene idealmente complementare, l'integrazione può accidentalmente intensificare la rivalità, il che comporterebbe un minor numero di offerte di servizi aerei o investimenti duplicati in corridoi sovrapposti [18]. Questa complessità sottolinea la necessità di una pianificazione strategica che vada oltre le infrastrutture fisiche per includere sistemi di governance che armonizzino gli incentivi tra gli operatori aerei e ferroviari, evitando quindi risultati non ottimali.

I miglioramenti nei servizi aereo-ferrovia multimoda-

included: Proceedings of Innovation Aviation & Aerospace Industry - International Conference 2020, Transportation Research Procedia, 20th European Dependable Computing Conference Companion Proceedings (EDCC-C) and the 14th SESAR Innovation Days. This distribution reflects a strong research focus on growing interest across multiple transportation subfields.

3.2. Thematic analysis

As the next step, the selected papers were analysed, synthesised and classified into four main themes, including the rail- air Integration impacts on passenger behaviour, Effects of integration models on passenger flows, Factors driving modal preferences, Passenger transfer challenges. These themes encompass the used methods to understand passenger behaviour, optimising schedules and system performance in the integration of air and rail transport.

Theme1: Air-Rail Integration on Passenger Behaviour and System Performance

Air-rail integration is becoming a cornerstone in the development of multimodal transportation systems, thus changing how passengers select and experience travel and improving the efficiency of the whole network. Connecting HSR with air transport helps to create a more balanced distribution of travel demand whereby HSR acts as a viable alternative for medium-distance travel and air transport is saved for long-haul trips [1]. This change not only lessens pressure on crowded airports and urban roads but also encourages improved energy use and operational synergy across modes.

Despite these advantages, interaction between air and rail is not always complementary. Although integrated systems let the rail mode operate as a feeder service to main airports, especially at primary hubs, improving airport enplanement and increasing the catchment area for long-haul flights [5]. By contrast, at secondary hubs and regional airports, low-frequency services, underused facilities, and inadequate passenger numbers limit integration. This emphasises a significant subtlety: the effect of integration on system performance is quite context-dependent, so questioning the presumption of universal advantages across all airport types. Quantitative analytical approaches, such as Principal Component Analysis (PCA) and fractal analysis, can detect structural and geographical inefficiencies in inter-modal networks. These strategies assist identify connectivity gaps and enable evidence-based infrastructure investments, ultimately boosting reliability, accessibility, and resilience in multimodal systems [27].

Regarding passenger behaviour, current models rightly stress personal socioeconomic profiles and travel requirements. By including ongoing value-of-time (VOT) distributions into utility functions, recent models show the need of passenger heterogeneity by allowing different traveller preferences to be considered [18]. Such vertical structure models show how greatly passenger sensitivity to cost, time, and comfort changes by income group and travel goal.

li come la biglietteria integrata, coordinamento in tempo reale, e una gestione del bagaglio semplificata provano finalmente la promozione della mobilità multimodale [21]. Grazie all'ottimizzazione del flusso e alla riduzione della ridondanza, questi miglioramenti non solo migliorano l'esperienza dei passeggeri, ma supportano anche prestazioni più generali del sistema di trasporto.

Tema 2: Modelli di integrazione aereo-ferrovia e loro impatto sulla dinamica del flusso.

Sono stati creati e utilizzati diversi modelli di integrazione aereo-ferrovia in tutto il mondo, ciascuno con approcci unici per consentire lo spostamento dei passeggeri tra le modalità di trasporto. La Tab. 1 riassume questi modelli di integrazione, classificati per struttura e funzione, mostrando le caratteristiche importanti degli studi scelti e sottolineando le loro conseguenze sulla dinamica dei flussi di passeggeri. Ognuno di questi componenti aiuta ad aumentare il flusso di passeggeri e migliorare l'esperienza di viaggio generale.

Il coordinamento degli orari è un approccio comunemente utilizzato; sono stati utilizzati metodi di ottimizzazione come *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) e programmazione dei vincoli per creare questi orari, consentendo quindi un migliore allineamento con la domanda dei passeggeri. Oltre a semplificare le transizioni dei passeggeri e migliorare l'efficienza del flusso, è stato dimostrato che tali operazioni sincronizzate riducono le connessioni perse fino al 25% [14]. Questo risultato, tuttavia, deriva principalmente da simulazioni controllate in circostanze ideali piuttosto che da un'ampia applicazione. Nelle operazioni effettive, elementi come ritardi nella sicurezza, interruzioni del servizio ferroviario e ritardi dei voli possono facilmente minare questi benefici teorici. Pertanto, specialmente nelle aree con amministrazione dei trasporti frammentata, la generalizzabilità dei risultati della simulazione a diversi contesti operativi rimane discutibile.

Allo stesso modo, i vantaggi dei terminali co-locati sono convincenti, mostrando la promessa di una migliore efficienza del flusso e di trasferimenti di passeggeri più fluidi [1][12][22]. Raggiungere la vicinanza del terminal, tuttavia, a volte è sopravvalutato; i vincoli di spazio negli attuali aeroporti, le restrizioni di bilancio e le complicate autorizzazioni legali possono ostacolare notevolmente tali iniziative infrastrutturali. Ciò mette in discussione la convinzione che la co-locazione fisica sia una risposta scalabile o universalmente rilevante in tutte le categorie di aeroporti, specialmente gli hub secondari e regionali.

Consentendo il viaggio con biglietto unico attraverso i segmenti aereo e ferroviario, i sistemi di biglietteria integrati aiutano a migliorare ancora di più l'esperienza dei passeggeri. Questi sistemi incoraggiano uno spostamento modale dai voli a corto raggio verso la ferrovia, ove possibile, semplificando la pianificazione dei viaggi e riducendo gli ostacoli all'utilizzo del trasporto multimodale. La biglietteria integrata crea un'esperienza di viaggio porta a porta senza intoppi se combinata con gli aggiornamenti dell'infrastruttura e la sincronizzazione degli orari [1][13].

For example, although business travellers always give schedule dependability and smooth connectivity top priority, leisure travellers give affordability and accessibility more importance [19]. Most current models only consider traveller diversity along broad lines, such as business vs. leisure. This simplification may overlook significant variations in mode choice behaviour, particularly with the rise of hybrid travel purposes (e.g., 'bleisure' - business with leisure) and evolving work patterns post pandemic. Future research should investigate more thorough passenger typologies to help guide integration activities even more.

Passengers with moderate-to-high VOTs are more likely to move from direct flights to integrated air-rail services as multimodal connection improves through coordinated schedules, joint ticketing, and fast-track security [11]. Particularly in markets where HSR competes strongly with air travel over intermediate distances, especially among higher-income passengers who want time-efficient connections, this trend is clear. Apart from personal choices, system-level efficiency measures offer a more general perspective on the consequences of integration. Evaluations based on social cost indicators and congestion measures show that air-rail cooperation benefits the multimodal network, particularly under high congestion at hub airports [18].

Operational interventions such as dedicated shuttle services, delayed passenger prioritisation, and curb-to-gate fast-tracking have also been found to lower the risk of missed connections, therefore enhancing network reliability and passenger satisfaction [20]. Though these benefits, the relationship between air and rail stays complex. Particularly in markets with airport expansions or network redesigns, the competitive and cooperative interactions between air and rail modes add to the complexity of integration results. Although ideally complementary, integration can accidentally intensify rivalry, which would result in fewer air service offerings or duplicated investments in overlapping corridors [18]. This intricacy underlines the need of strategic planning going beyond physical infrastructure to include governance systems harmonising incentives across airline and railway operators, therefore avoiding suboptimal results.

Improvements in air-rail multimodal services such as integrated ticketing, real-time coordination, and simplified baggage handling finally demonstrate to promote multimodal mobility [21]. By means of flow optimisation and redundancy reduction, these improvements not only enhance the passenger experience but also support more general transportation system performance.

Theme 2: Air-Rail Integration Models and Their Impact on Flow Dynamics

Around the world, different air-rail integration models have been created and used, each with unique approaches to enable passenger movement between transport modes. Tab. 1 summarises these integration models, classified by structure and function, showing important characteristics from chosen studies and stressing their consequences on

Tabella 1 – Table 1

Modelli di integrazione e loro impatto
Integration Models and Their Impact

Tipologia di modello <i>Model Type</i>	Studi <i>Studies</i>	Impatto sul flusso di passeggeri <i>Impact on Passenger Flow</i>	Caratteristiche relative alle infrastrutture <i>Infrastructure Characteristics</i>
Servizi di trasporto co-localizzati <i>Co-located Transport Services</i>	YANG et al., (2022)[25]	Tassi di utilizzo più elevati a causa di trasferimenti più brevi e convenienti <i>Higher usage rates due to shorter and more convenient transfers</i>	Co-localizzazione di servizi aerei e ferroviari presso hub integrati <i>Co-location of air and rail services at integrated hubs</i>
Regimi di biglietteria e servizio integrati <i>Integrated Ticketing and Service Regimes</i>	JIANG et al., (2023)	Flusso di passeggeri ottimizzato attraverso transizioni senza soluzione di continuità <i>Optimized passenger flow through seamless transitions</i>	Sistemi che considerano le preferenze dei passeggeri <i>Systems considering passenger preferences</i>
Sincronizzazione di rete <i>Network Synchronization</i>	JIANG et al., (2021)	Maggiore efficienza e maggiore flusso di passeggeri attraverso la riduzione delle congestioni. <i>Improved efficiency and enhanced passenger flow through reduced congestions</i>	Orari coordinati, sistemi di biglietteria condivisa e terminali integrati <i>Coordinated schedules, shared ticketing systems, and integrated terminal</i>
Sincronizzazione orario <i>Timetable Synchronization</i>	BUIRE et al., (2024) BUENO-GONZÁLEZ et al., (2023)	Tempi di attesa ridotti al minimo e riduzione del 25% delle coincidenze perse. La quota ferroviaria è aumentata dal 35% al 50% quando gli orari sono stati sincronizzati <i>Minimized waiting times and 25% reduction in missed connections. Rail share increased from 35% to as high as 50% when timetables were synchronised.</i>	Pianificazione collaborativa tra compagnie aeree e operatori ferroviari <i>Collaborative scheduling between airlines and railway operators</i>
Biglietteria cooperativa <i>Cooperative ticketing</i>	YUAN et al., (2021)	Aumento del flusso di passeggeri multimodali <i>Increased flow of multimodal passengers</i>	Biglietti combinati aereo-ferrovia e servizi di movimentazione bagagli <i>Combined air-rail tickets and luggage through-handling services</i>
Struttura universale della modellazione della scelta <i>Universal Choice Modeling Framework</i>	CHEN et al., (2024)	Aumento del flusso di passeggeri verso opzioni di viaggio multimodali <i>Increased passenger flow towards multimodal travel options</i>	Scenari individuali e multi-hub incentrati sull'efficienza di trasferimento <i>Single and multi-hub scenarios with focus on transfer efficiency</i>
Orari coordinati <i>Coordinated Schedules</i>	SUN et al., (2024) YUAN et al., (2021)	Migliorare il flusso di passeggeri attraverso orari di arrivo e partenza sincronizzati <i>Enhancing passenger flow through synchronized arrival and departure times</i>	Operazioni collaborative tra compagnie aeree e operatori ferroviari <i>Collaborative operations between airlines and rail operators.</i>
Connettività Multimodale <i>Multimodal Connectivity</i>	SUN et al., (2024)	Maggiore flusso di passeggeri attraverso trasferimenti più facili e veloci <i>Enhanced passenger flow through easier and quicker transfers</i>	Collegamenti fisici e operativi tra infrastrutture aeree e ferroviarie <i>Physical and operational links between air and rail infrastructure.</i>
Modelli di previsione della domanda <i>Demand Prediction Models</i>	SUN et al., (2024)	Ottimizza la pianificazione del servizio e della capacità in base al flusso di passeggeri previsto <i>Optimizes service and capacity planning based on forecast passenger flow</i>	Pianificazione delle infrastrutture basata sui dati secondo i fattori socio-economici <i>Data-driven infrastructure planning based on socio-economic factors.</i>

I dati empirici dei servizi integrati aereo-ferrovia cinesi (ARIS) sottolineano l'impatto significativo dei modelli di integrazione sul comportamento dei passeggeri. La ricerca

passenger flow dynamics. Every one of these components helps to increase passenger flow and improve the general travel experience.

che utilizza i dati sulle preferenze rivelati dall'aeroporto di Dalian indica che i passeggeri hanno molte più probabilità di scegliere i servizi aereo-ferroviari quando i tempi di trasferimento sono brevi e i collegamenti sono coerenti [6].

La ricerca basata sulla simulazione sostiene ancora di più che i cambiamenti nel processo di trasferimento come una migliore gestione dei bagagli, navette più frequenti e l'applicazione della sicurezza fast-track per i passeggeri collegati alla ferrovia possono aumentare notevolmente la produttività e ridurre i ritardi di elaborazione [6][20]. Questi modelli operativi raramente prendono in considerazione l'economicità e la scalabilità a lungo termine soprattutto negli aeroporti con risorse limitate in cui il mantenimento di servizi di trasferimento premium può essere economicamente non redditizio. Ciò solleva la questione se i miglioramenti suggeriti siano sostenibili nel tempo o pratici al di fuori degli hub principali ad alto traffico.

La previsione del flusso di passeggeri basata sull'intelligenza artificiale integrata con la riprogrammazione dinamica degli orari dei treni può migliorare ulteriormente la sincronizzazione tra modalità aeree e ferroviarie. Attraverso l'ottimizzazione congiunta degli orari e la previsione della domanda dei passeggeri in tempo reale, questi modelli avanzati di integrazione riducono efficacemente i tempi di attesa, ridistribuiscono i modelli di flusso e alleviano la congestione nei punti di trasferimento [28][31]. Le strutture integrate non solo migliorano l'efficienza del trasferimento, ma modificano anche i comportamenti complessivi del flusso all'interno della rete, risultando in sistemi multimodali più bilanciati e resilienti. Tuttavia, l'implementazione di questi modelli crea interdipendenze tra le preferenze dei passeggeri, la capacità dell'infrastruttura e gli adeguamenti degli orari, richiedendo un'attenta gestione per mantenere la solidità della rete [28].

Tema 3: Fattori che determinano le preferenze modali nei sistemi integrati.

Le preferenze dei passeggeri nei viaggi aereo-ferrovia integrati sono modellate da una complessa interazione di qualità del servizio, percezione del valore, scopo del viaggio e convenienza operativa. La qualità del servizio percepita e coerentemente menzionata in tutta la ricerca include affidabilità, tempestività, comfort, semplicità di biglietteria e connettività. I passeggeri hanno maggiori probabilità di scegliere opzioni di viaggio integrate quando vedono l'alta qualità e il buon coordinamento sia nell'aereo che nel treno. Molti di questi risultati, tuttavia, si basano su indagini sulle preferenze dichiarate piuttosto che sul comportamento reale osservato, che limita la loro validità esterna tra i vari gruppi di utenti.

Inoltre, sebbene elementi operativi come informazioni in tempo reale, trasferimenti fluidi e pianificazione regolare influenzino tutti direttamente la soddisfazione e la lealtà generale [12][15], gli attuali fattori psicologici della ricerca, inclusa la fiducia nei sistemi informativi, potrebbero influenzare in modo significativo il processo decisionale dei passeggeri, in particolare per gli utenti occasionali o per la prima volta.

Il valore percepito del trade-off tra costo e convenienza è altrettanto cruciale. I passeggeri di solito preferiscono

Schedule coordination is a commonly used approach; optimisation methods such Mixed-Integer Linear Programming (MILP) and constraint programming have been used to create these schedules, therefore allowing better alignment with passenger demand. While also simplifying passenger transitions and enhancing flow efficiency, such synchronised operations have been shown to cut missed connections by as much as 25% [14]. This result, however, comes mostly from controlled simulations under ideal circumstances rather than broad application. In actual operations, elements like security hold-ups, rail service disruptions, and flight delays can readily undermine these theoretical benefits. Therefore, especially in areas with fragmented transportation administration, the generalisability of simulation findings to different operational settings stays debatable.

Likewise, the advantages of co-located terminals are compelling, showing promise for better flow efficiency and more seamless passenger transfers [1][12][22]. Achieving terminal closeness, though, is sometimes overstated; spatial constraints in current airports, budgetary restrictions, and complicated legal clearances can greatly impede such infrastructure initiatives. This questions the belief that physical co-location is a scalable or universally relevant answer across all airport categories, particularly secondary and regional hubs.

By allowing single ticket travel across air and rail segments, integrated ticketing systems help to improve the passenger experience even more. These systems encourage a modal shift away from short-haul flights towards rail where feasible by simplifying travel planning and lowering obstacles to using multimodal transportation. Integrated ticketing creates a smooth door-to-door travel experience when combined with infrastructure upgrades and schedule synchronisation [1][13]. Empirical data from the Chinese Air-Rail Integrated Services (ARIS) underlines the significant impact of integration models on passenger behaviour. Research using revealed preference data from Dalian Airport indicates that passengers are far more likely to choose air-rail services when transfer times are short, and connections are consistent [6].

Simulation-based research backs up even more that changes in the transfer process such as improved baggage handling, more frequent shuttles, and the application of fast-track security for rail-connected passengers can greatly increase throughput and lower processing delays [6][20]. Especially in resource-constrained airports where maintaining premium transfer services may be economically unviable, these operational models seldom consider cost-effectiveness and long-term scalability. This raises the question of whether suggested improvements are sustainable over time or practical outside of high-traffic main hubs.

AI-based passenger flow forecasting integrated with dynamic train timetable rescheduling can further enhance synchronization between air and rail modes. Through joint optimization of schedules and real-time passenger demand prediction, these advanced integration models effective-

viaggiare in modo efficiente in termini di tempo e a prezzi ragionevoli. I segmenti di viaggiatori come studenti e turisti sono più sensibili ai prezzi, a volte dando la massima priorità all'accessibilità rispetto alle piccole differenze di servizio. Al contrario, a causa dei limiti di tempo più stretti, i viaggiatori d'affari sottolineano l'affidabilità e la tempestività, evidenziando quindi una chiara segmentazione delle preferenze a seconda dell'obiettivo di viaggio [15]. I viaggiatori con un forte coinvolgimento e una minore ansia scelgono prontamente opzioni aereo-ferrovia integrate, mentre quelli preoccupati per la logistica dei trasferimenti li evitano attivamente. Ciò rivela che i viaggiatori per il tempo libero sono un gruppo eterogeneo i cui atteggiamenti verso la complessità, la preparazione e il rischio percepito modellano sostanzialmente i modelli di adozione multimodale [29].

Il tempo di trasferimento e connessione è un altro fattore chiave. La ricerca mostra che i servizi integrati sono molto più attraenti con trasferimenti più brevi ed efficienti, in particolare in ambienti ben progettati e ricchi di servizi. Il tempo di collegamento aereo-ferrovia influisce in modo significativo sul benessere dei passeggeri e sui profitti del sistema di trasporto, sottolineando la natura critica dell'efficienza del trasferimento [23]. Curiosamente, i passeggeri mostrano più tolleranza per i tempi di viaggio delle compagnie aeree più lunghi rispetto ai treni ad alta velocità, indicando che la loro visione del tempo cambia a seconda della modalità di trasporto [12]. Trasferire i tratti della città, tra cui la disponibilità di servizi, intrattenimento e servizi di convenienza, può anche favorire le preferenze, compensando anche i tempi di attesa più lunghi o i prezzi leggermente più alti [22]. Ma poiché le distanze di viaggio interurbane aumentano soprattutto oltre i 1200-1600 km, i passeggeri tendono a diventare meno sensibili ai tempi di connessione. Ciò suggerisce che i passeggeri a lungo raggio apprezzano la convenienza e l'efficienza generali rispetto ai soli bassi tempi di attesa, il che fornisce informazioni utili per l'ottimizzazione del servizio specifico del segmento [24].

I passeggeri hanno maggiori probabilità di vedere favorevolmente i servizi integrati quando l'esperienza di viaggio corrisponde o supera le aspettative, soprattutto in termini di continuità, comfort e affidabilità. D'altra parte, le esperienze negative spesso esposte dai dati dei reclami possono superare le qualità positive e ridurre notevolmente la fedeltà. Soprattutto per i viaggiatori di piacere che potrebbero essere più espliciti in merito a guasti del servizio, ritardi, servizio clienti o mancanza di alternative su misura come la gestione dei bagagli o le informazioni di viaggio personalizzate tendono a causare scontento.

Tecniche di modellazione avanzate come l'*Universal Choice Modelling Framework* e l'analisi della rete bayesiana hanno aiutato a quantificare questi elementi chiave di preferenza e mostrare la loro interazione gerarchica. Le caratteristiche di qualità del servizio come la puntualità e il prezzo dei biglietti sono state ritenute, ad esempio, più importanti nel processo decisionale; d'altra parte, fattori come i tempi di accesso e di accesso al veicolo hanno un impatto significativo sui valori di utilità in tutte le categorie di passeggeri [11][15].

Inoltre, i modelli di apprendimento automatico come

ly minimize waiting times, redistribute flow patterns, and alleviate congestion at transfer points [28][31]. Integrated frameworks not only enhance transfer efficiency but also modify overall flow behaviours within the network, resulting in more balanced and resilient multimodal systems. However, implementing these models creates interdependencies among passenger preferences, infrastructure capacity, and schedule adjustments, necessitating careful management to maintain network robustness [28].

Theme 3: Factors Driving Modal Preferences in Integrated Systems

Passenger preferences in integrated air-rail travel are shaped by a complex interplay of service quality, value perception, travel purpose, and operational convenience. Consistently mentioned across research is perceived service quality, which includes dependability, timeliness, comfort, ticketing simplicity, and connectivity. Passengers are more likely to choose integrated travel options when they see both air and rail as high quality and well-coordinated. Many of these results, though, are based on stated preference surveys rather than actual observed behaviour, which limits their external validity across various user groups.

Moreover, although operational elements such as real-time information, smooth transfers, and regular scheduling all directly affect general satisfaction and loyalty [12] [15], current research underexplores psychological factors including trust in the information systems, which could significantly affect passenger decision-making, particularly for occasional or first-time users.

Equally as crucial is perceived value the trade-off between cost and convenience. Passengers usually prefer travel that is time-efficient and reasonably priced. Segments of travellers such as students and leisure tourists are more price-sensitive, sometimes giving affordability top priority over small service differences. Conversely, because of closer time limits, business travellers stress dependability and timeliness, therefore highlighting a clear segmentation in preference depending on travel goal [15]. Travellers with strong engagement and low anxiety readily choose integrated air-rail options, whereas those apprehensive about transfer logistics actively avoid them. This reveals leisure travellers as a diverse group whose attitudes toward complexity, preparedness, and perceived risk substantially shape multimodal adoption patterns [29].

Transfer and connection time is one more key factor. Research shows that integrated services are much more appealing with shorter, more efficient transfers, particularly in well-designed, amenity-rich settings. Air-rail connecting time significantly impacts passenger welfare and transport system profits, emphasizing the critical nature of transfer efficiency [23]. Passengers, interestingly, show more tolerance for longer airline travel times than for high-speed rail, indicating that their view of time changes depending on the mode of transportation [12]. Transfer city traits including the availability of amenities, entertainment, and convenience services can also favour preferences even compensat-

il potenziamento del gradiente estremo hanno rivelato connessioni non lineari precedentemente ignorate, come l'effetto del fascino della città di trasferimento, che aiutano a chiarire la diversità delle preferenze dei passeggeri [22]. La Tab. 2 illustra i fattori chiave che influenzano le preferenze dei passeggeri, come costi, convenienza, qualità del servizio e connettività.

Se considerati insieme, questi risultati evidenziano l'importanza di approcci mirati e variegati nella progettazione e commercializzazione di sistemi aereo-ferrovia integrati. I fornitori di servizi possono personalizzare le offerte che migliorano la soddisfazione, aumentano l'assorbimento e aumentano l'attrattiva generale dei sistemi di trasporto multimodale segmentando i passeggeri in base allo scopo, alla distanza e alla sensibilità al costo o al tempo.

Basandosi su queste intuizioni comportamentali, la struttura *Tri-Reference-Point* (TRP - Punto di Riferimento Triplo) esamina le scelte di accesso all'aeroporto nei sistemi aereo-ferrovia. I loro risultati rivelano che i passeggeri mostrano una maggiore sensibilità alle perdite da arrivi tardivi rispetto a quelli in anticipo, sottolineando il primato della puntualità nel processo decisionale. Questo modello estende i tradizionali approcci basati sull'utilità incorporando l'avversione alla perdita psicologica e la precisione dei tempi nell'analisi delle preferenze modali, offrendo una comprensione più sfumata di come i passeggeri valutano i compromessi in contesti di viaggio integrati [29].

ing for longer wait times or marginally higher prices [22]. But as intercity travel distances rise especially beyond 1200 to 1600 km passengers tend to grow less sensitive to connection times. This suggests that longer-haul passengers value general convenience and efficiency over only low waiting times, which provides useful information for segment-specific service optimisation [24].

Passengers are more likely to see integrated services favourably when the travel experience matches or surpasses expectations especially in terms of seamlessness, comfort, and dependability. On the other hand, negative experiences often exposed by complaint data can outweigh positive qualities and greatly lower loyalty. Especially for leisure travellers who might be more outspoken about service failures, delays, customer service, or lack of tailored alternatives like baggage handling or customised travel information tend to cause unhappiness.

Advanced modelling techniques such as the Universal Choice Modelling Framework and Bayesian network analysis have helped quantify these preference drivers and show their hierarchical interaction. Service quality characteristics like punctuality and ticket pricing have been found, for example, to be most important in decision-making; on the other hand, factors like in-vehicle and access times have a significant impact on utility values across passenger categories [11][15].

Tabella 2 – Table 2

Elementi chiave di preferenza del passeggero
Drivers of Passenger Preference

No	Articoli <i>Articles</i>	Elementi chiave <i>Drivers</i>					
		Costo <i>Cost</i>	Qualità del servizio <i>Service quality</i>	Comodità <i>Comfort</i>	Tempo percorso <i>Travel Time</i>	Tempo di trasferimento <i>Transfer time</i>	Gestione dei bagagli <i>Baggage Handling</i>
1	SUN <i>et al.</i> (2024)	✓		✓	✓	✓	✓
2	JIANG <i>et al.</i> (2021)				✓	✓	
3	YUAN <i>et al.</i> (2021)	✓			✓		
4	CHEN <i>et al.</i> (2024)		✓	✓		✓	✓
5	REN <i>et al.</i> (2023)				✓	✓	
6	YANG <i>et al.</i> (2022)	✓		✓	✓		
7	LI & SHENG (2016)				✓	✓	
8	BUIRE <i>et al.</i> (2023)					✓	
9	WEISZER <i>et al.</i> (2021)			✓			
10	JIANG <i>et al.</i> (2023)	✓			✓		
11	YUAN <i>et al.</i> (2022)	✓			✓		
12	PEETAWAN, W. (2019)	✓			✓		
13	XIA & ZHANG (2017)	✓				✓	
14	JIANG <i>et al.</i> (2022)[26]	✓			✓	✓	
15	YUAN <i>et al.</i> (2021)		✓	✓		✓	

Tema 4: Esperienza del passeggero e sfide di trasferimento

La progettazione delle infrastrutture, che definisce la semplicità, la velocità e l'affidabilità dei trasferimenti, determina notevolmente l'efficacia dell'integrazione aereo-ferrovia. I passeggeri traggono vantaggio da un movimento più fluido tra le modalità quando le stazioni ferroviarie si trovano all'interno dei terminal aeroportuali. Anche nei sistemi integrati, i processi specifici dell'aeroporto come il check-in e il nulla osta di sicurezza potrebbero aumentare il tempo di trasferimento complessivo anche in condizioni integrate [20].

Quando le stazioni ferroviarie si trovano fuori dall'aeroporto, i trasferimenti diventano più difficili. Spesso, in tali situazioni, i passeggeri dipendono da servizi di metropolitana, taxi o bus navetta, che creano tempi di trasferimento più incerti e più lunghi. Questa situazione aumenta l'ansia da viaggio, in particolare con connessioni strette o assenza di informazioni in tempo reale [19]. Spesso, le coincidenze perse derivano da un'insufficiente sincronizzazione tra gli orari dei voli e dei treni, nonché dalla separazione fisica tra i terminal. Al contrario, gli hub integrati offrono tempi di attesa più coerenti e più brevi, migliorando così il comfort di viaggio [14].

Le prove empiriche dei servizi integrati aereo-ferrovia indonesiani illustrano una bassa soddisfazione dei passeggeri insieme a tassi di occupazione inferiori al 15% nella maggior parte degli aeroporti. Le prestazioni insufficienti derivano da molteplici guasti di servizi interconnessi. I passeggeri citano spesso il servizio clienti inadeguato, i malfunzionamenti del sistema di biglietteria, l'assenza di politiche tariffarie per i neonati e la pianificazione inflessibile come preoccupazioni principali [30]. La mancanza di biglietteria integrata aereo-ferrovia si rivela particolarmente problematica, costringendo i passeggeri a navigare in sistemi di prenotazione separati e aumentando sia la complessità che il disagio percepito. Ad aggravare queste carenze operative, gli accordi di gestione dei bagagli carenti estendono i tempi di attesa e creano ostacoli significativi all'adozione, poiché i passeggeri devono affrontare l'incertezza sull'affidabilità del trasferimento dei bagagli tra le modalità. La distanza percepita e le preoccupazioni di convenienza dissuadono i passeggeri dal camminare anche per brevi distanze, rivelando che l'accessibilità oggettiva non si traduce automaticamente in facilità d'uso soggettiva [30].

Le lunghe code di sicurezza, la bassa frequenza del servizio navetta e le poche opzioni di check-in self-service sono importanti colli di bottiglia legati al design. I modelli di simulazione hanno rivelato che le fermate della navetta mal posizionate e le limitate strutture di trasferimento si aggiungono alle inefficienze [13]. Inoltre, nelle aree urbane affollate come il corridoio Pechino-Tianjin-Hebei, questioni come segnaletica inadeguata e percorsi ambigui possono influire notevolmente sull'efficienza e sulla navigazione del trasferimento [11]. Tuttavia, la ricerca attuale tende a dare la massima priorità alla progettazione dello spazio, minimizzando l'importanza della percezione dei passeggeri: come gli strumenti di navigazione digitale, il supporto del personale e la chiarezza della segnaletica influenzano la facilità di trasferimento soggettiva rimangono poco studiati. La soddisfazione dei passeggeri è influenzata da vari fattori, tra cui costi, tempi di viaggio e affidabilità;

Furthermore, machine learning models like extreme gradient boosting have revealed previously ignored nonlinear connections such as the effect of transfer city appeal that help to clarify the diversity in passenger preferences [22]. Tab. 2 presents the key drivers that influence passenger preferences, such as cost, convenience, quality of service, and connectivity.

When considered together, these results highlight the importance of focused and varied approaches in the design and marketing of integrated air-rail systems. Service providers can customise offers that improve satisfaction, raise uptake, and boost the general attractiveness of multimodal transport systems by segmenting passengers according to purpose, distance, and sensitivity to cost or time.

Building on these behavioural insights, Tri-Reference-Point (TRP) framework to examine airport access choices in air-rail systems. Their findings reveal that passengers exhibit greater sensitivity to losses from late arrivals than to early ones, emphasizing the primacy of punctuality in decision-making. This model extends traditional utility-based approaches by embedding psychological loss aversion and timing precision into modal preference analysis, offering a more nuanced understanding of how passengers evaluate trade-offs in integrated travel contexts [29].

Theme 4: Passenger Experience and Transfer Challenges

Infrastructure design, which defines the simplicity, speed, and dependability of transfers, greatly shapes the efficacy of air-rail integration. Passengers gain from more seamless movement between modes when rail stations are co-located inside airport terminals. Even in integrated systems, airport-specific processes like check-in and security clearance might increase the overall transfer time even under integrated conditions [20].

When rail stations are outside the airport grounds, transfers get more difficult. Often, in such situations, passengers depend on metro services, taxis, or shuttle buses, which create more uncertain and longer transfer times. This situation heightens travel anxiety, particularly with close connections or absence of real-time information [19]. Often, missed connections result from insufficient synchronisation between flight and train schedules as well as physical separation between terminals. By contrast, integrated hubs provide more consistent and shorter wait times, therefore enhancing travel comfort [14].

Empirical evidence from Indonesia's Air-Rail Integrated Services illustrates low passenger satisfaction alongside occupancy rates below 15% at most airports underperformance stems from multiple interconnected service failures. Passengers frequently cite inadequate customer service, ticketing system malfunctions, absence of infant fare policies, and inflexible scheduling as primary concerns [30]. The lack of integrated flight-rail ticketing proves particularly problematic, forcing passengers to navigate separate booking systems and increasing both complexity and perceived inconvenience. Compounding these operational shortcomings, deficient luggage handling arrangements extend wait

tuttavia, l'accesso alle informazioni in tempo reale migliora significativamente la qualità del servizio percepito. Aiuta a ridurre gli impatti negativi causati da problemi di trasferimento intrinseci. Ad esempio, essere costantemente puntuali migliora l'esperienza, ma i ritardi combinati con la mancanza di informazioni aggiornate influiscono sulla fiducia dei passeggeri [12]. I passeggeri si preoccupano anche della qualità del servizio, soprattutto in relazione a connessioni incoerenti, problemi di gestione dei bagagli e mancanza di servizi individualizzati. Gli utenti di hub separati, in cui l'accessibilità e il coordinamento sono solitamente carenti, segnalano più reclami di quelli che utilizzano strutture integrate [15].

La Tab. 3 riassume le principali sfide di trasferimento per i passeggeri del trasporto aereo-ferroviario. Questi risultati presi insieme evidenziano che il miglioramento dell'integrazione aereo-ferrovia dipende principalmente dalla progettazione delle infrastrutture e dal coordinamento dei servizi. Sistemi ben integrati con terminali co-locati, l'orientamento efficiente e le operazioni sincronizzate possono ridurre notevolmente il carico operativo e psicologico sui passeggeri, migliorando così l'intera esperienza di viaggio.

4. Argomentazioni

Questa revisione sistematica ha esaminato 27 studi a revisione paritaria pubblicati tra il 2015 e il 2025 incentrati sull'integrazione aereo-ferrovia e sui suoi effetti sul comportamento dei passeggeri e sulle prestazioni del sistema.

4.1. Integrazione aereo-ferrovia sul comportamento dei passeggeri e sulle prestazioni del sistema

La persistente attenzione della letteratura sull'importanza vitale della progettazione fisica e del coordinamento operativo nell'integrazione aereo-ferrovia è notevole. L'hub di Hongqiao di Shanghai mostra i chiari vantaggi della co-locazione riducendo notevolmente i tempi di trasferimento e migliorando la contentezza dei passeggeri [4][12]. Ciò implica che, quando pianificati strategicamente, gli investimenti infrastrutturali possono convertirsi direttamente in migliori esperienze utente e un'adozione più multimodale. Ma un problema importante è fino a che punto questi modelli pesanti per le infrastrutture possono essere copiati in aree con varie limitazioni di spazio e finanziarie. Progetti come l'intensità di capitale di Hongqiao potrebbero limitare la loro redditività nelle regioni con una pianificazione o fonti di finanziamento meno centralizzate. Nonostante questo vincolo, il calo del 25% dei mancati collegamenti segnalato a causa di orari coordinati e il notevole aumento dell'uso delle ferrovie dal 35% al 50% quando gli orari sono sincronizzati sottolineano la possibilità di integrazione operativa anche senza grandi spese infrastrutturali [14]. Questi studi di coordinamento degli orari sono stati per lo più condotti in contesti europei; pertanto, va notato che i loro risultati potrebbero non applicarsi direttamente alle aree con infrastrutture ferroviarie meno sviluppate o altri sistemi normativi. L'attenzione ai sistemi di biglietteria integrati, tuttavia, suggerisce che la pro-

times and create significant barriers to adoption, as passengers face uncertainty about baggage transfer reliability between modes. Perceived distance and convenience concerns dissuade passengers from walking even short distances, revealing that objective accessibility does not automatically translate into subjective ease of use [30].

Important design-related bottlenecks are long security lines, low shuttle service frequency, and few self-service check-in choices. Simulation models have revealed that badly placed shuttle stops, and limited transfer facilities add to inefficiencies [13]. Moreover, in busy urban areas like the Beijing–Tianjin–Hebei corridor, issues including inadequate signage and ambiguous routes can greatly affect transfer efficiency and navigation [11]. Still, current research tends to give spatial design top priority while downplaying the importance of passenger perception—how digital navigation tools, staff support, and signage clarity affect the subjective transfer ease remains under-researched.

Passenger satisfaction is influenced by various factors, including cost, travel time, and reliability; however, access to real-time information significantly enhances perceived service quality. It helps lessen the negative impacts caused by inherent transfer problems. For example, being consistently on time enhances the experience, but delays combined with a lack of current information impact passenger confidence [12]. Passengers also worry about service quality, especially in relation to inconsistent connections, baggage handling problems, and the lack of individualised services. Users of separated hubs, where accessibility and coordination are usually lacking, report more complaints than those using integrated facilities [15].

Tab. 3 summarizes the main transfer challenges for air-rail passengers. These findings taken together highlight that enhancing air-rail integration depends mostly on infrastructure design and service coordination. Well-integrated systems with co-located terminals, efficient wayfinding, and synchronised operations can greatly lower the operational and psychological load on passengers, so improving the whole travel experience.

4. Discussion

This systematic review has examined 27 peer-reviewed studies published between 2015 and 2025 focusing on air-rail integration and its effects on passenger behaviour and system performance.

4.1. Air-rail integration on passenger behaviour and system performance

The literature's persistent focus on the vital importance of physical design and operational coordination in air-rail integration is remarkable. Shanghai's Hongqiao hub shows the clear advantages of co-location by greatly lowering transfer times and enhancing passenger happiness [4][12]. This implies that, when strategically planned, infrastructure in-

Tabella 3 – Table 3

Sfide dell'esperienza di trasferimento nell'integrazione aereo-ferrovia
Transfer Experience Challenges in Air-Rail Integration

Articolo <i>Article</i>	Sfide <i>Challenges</i>				
	Orientamento scadente <i>Poor Wayfinding</i>	Tempi di collegamento <i>Connection time</i>	Informazioni in tempo reale limitate <i>Limited Real-Time Info</i>	Servizio Bus- Navetta <i>Shuttle bus service</i>	Informazioni su biglietteria e check-in <i>Ticketing & Checkin information</i>
X. SUN <i>et al.</i> (2024)		Vincoli temporali, complessità del trasferimento <i>Time constraints, complexity of transfer</i>			
Y. JIANG <i>et al.</i> (2021)		Tempo di accesso a terra, margine di sicurezza <i>Ground access time, safety margin</i>	Mancanza di disponibilità delle informazioni per i trasferimenti <i>Lack of Information availability for transfers</i>		
Y. YUAN <i>et al.</i> (2021)	Navigazione in più modalità, complessità del viaggio <i>Navigating multiple modes, trip complexity</i>	Incertezza nei tempi di trasferimento <i>Uncertainty in transfer times</i>			
L. CHEN <i>et al.</i> (2024)		Tempi di attesa elevati, necessità di collegamenti rapidi <i>High waiting times, need for swift connections</i>			
Y. REN <i>et al.</i> (2023)		Tempi di trasferimento prolungati, coincidenze perse a causa di un coordinamento insufficiente <i>Extended transfer times, missed connections due to insufficient coordination</i>			
M. YANG <i>et al.</i> (2022)		Tempi di trasferimento prolungati, coincidenze perse <i>Extended transfer times, missed connections</i>			
M. GIVONI & X. CHEN (2017)					Check-in separato per aereo/ferrovia <i>Separate check-in for air/rail</i>
F. ZHANG <i>et al.</i> (2018)		Tempi di trasferimento <i>Transfer times</i>	Disponibilità di informazioni <i>Information availability</i>		

X. CHEN & L. LIN (2016)	Segnaletica inadeguata, navigazione complessa <i>Inadequate signage, complex navigation</i>	Tempi di trasferimento <i>Transfer times</i>	Mancanza di informazioni, servizi limitati <i>Lack of info, limited amenities</i>		
Z.C. Li, D. SHENG (2016)	Necessità di una segnaletica chiara <i>Need for clear signage</i>	Tempi di collegamento, ritardi <i>Connection times, delays</i>			Biglietteria disomogenea <i>Disparate ticketing</i>
M. WEISZER <i>et al.</i> (2024)		Tempi di trasferimento più lunghi, coincidenze perse <i>Longer transfer times, missed connections</i>			
F. JIANG <i>et al.</i> (2023)		Tempi di attesa significativi <i>Significant waiting times</i>		Attesa dei bus navetta <i>Waiting for shuttle buses</i>	Check-in multipli, processi complessi <i>Multiple check-ins, complex processes</i>
Y. YUAN <i>et al.</i> (2022)		Prolungati tempi di attesa <i>Long waiting times</i>			
W. PEETAWAN (2020)	Segnaletica poco chiara, navigazione complessa <i>Unclear signage, complex navigation</i>	Prolungati tempi di attesa <i>Long waiting times</i>			
F. JIANG <i>et al.</i> (2022)	Necessità di indicazioni migliori <i>Need for better guidance.</i>	Percezione dei tempi di trasferimento <i>Perception of transfer times</i>	Necessità di informazioni migliori sull'integrazione <i>Need for better information on integration</i>		
N. HUAN <i>et al.</i> (2023)	Difficoltà di navigazione tra diverse modalità di trasporto <i>difficulties between different transport modes</i>				Complessità biglietteria, confusione nelle informazioni <i>Ticketing complexity, info confusion</i>

gettazione incentrata sull'utente è un aspetto vitale, forse più universalmente rilevante, di un'integrazione efficace data la sua enfasi sulla riduzione delle barriere psicologiche [13].

Questo studio mostra infine che l'infrastruttura fisica di per sé è inadeguata; per massimizzare davvero l'esperienza aereo-ferrovia, deve essere combinata con un'integrazione operativa e digitale impeccabile. I modelli di maggior successo sembrano essere quelli che gestiscono sia gli aspetti tangibili dell'efficienza del trasferimento che le componenti intangibili della fiducia e della convenienza dei passeggeri.

4.2. I modelli di integrazione aereo-ferrovia e il loro impatto sulla dinamica dei flussi

La diversità delle preferenze e dei comportamenti dei

vestments can directly convert into better user experiences and more multimodal adoption. But a major issue is how far these infrastructure-heavy models can be copied in areas with various spatial and financial limitations. Projects such as Hongqiao's capital intensity might restrict their viability in regions with less centralised planning or funding sources. Notwithstanding this constraint, the 25% drop in missed connections reported because of coordinated timetables and the notable rise in rail use from 35% to 50% when schedules are synchronised emphasise the possibility of operational integration even without great infrastructure expenditure [14]. These schedule coordination studies were mostly done in European settings; thus, it should be noted that their results might not directly apply to areas with less developed rail infrastructure or other regulatory systems. The focus

passaggeri è evidente in vari gruppi demografici e scopi di viaggio. I viaggiatori d'affari in genere mostrano un valore più elevato del tempo (VDT) e una maggiore disponibilità a pagare per connessioni fluide e risparmi di tempo, evidenziando l'importanza di tenere conto delle differenze di VDT tra i viaggiatori [18]. Utilizzando la modellazione dei minimi quadrati parziali a miscela finita, [15] ha ulteriormente avanzato questa comprensione identificando modelli di preferenza distinti, indicando che i fattori di soddisfazione variano in modo significativo tra i passeggeri d'affari e di piacere.

Questa diversità si estende anche alla valutazione della qualità del servizio. I viaggiatori per il tempo libero spesso danno la priorità all'accessibilità, al comfort e all'esperienza di viaggio complessiva, mentre i viaggiatori d'affari tendono a valutare l'affidabilità, la puntualità e le connessioni rapide [15]. Queste variazioni nei modelli di preferenza suggeriscono che è improbabile che un approccio unico all'integrazione aereo-ferrovia ottimizzi la soddisfazione dei passeggeri in tutti i segmenti. Le recenti tecniche di modellazione hanno iniziato ad affrontare questa complessità. Ad esempio, [11] ha proposto un *Universal Choice Modelling Framework* (Struttura Universale di Modellazione della Scelta) che cattura i processi decisionali sfumati di diversi gruppi di passeggeri, mentre [22] ha impiegato metodi di apprendimento automatico per scoprire relazioni non lineari precedentemente trascurate nelle preferenze dei passeggeri, inclusa l'influenza del fascino della città di trasferimento sulla selezione del percorso. Questi approcci analitici avanzati evidenziano una direzione promettente per lo sviluppo di strategie di integrazione più mirate ed efficaci.

4.3. Fattori che guidano le preferenze dei passeggeri nei sistemi multimodali

Sebbene l'integrazione aereo-ferrovia abbia possibili vantaggi, esistono ancora importanti ostacoli nel massimizzare l'esperienza di trasferimento. Tra gli importanti colli di bottiglia riscontrati nel processo di trasferimento vi erano servizi navetta insufficienti, controlli di sicurezza prolungati e mancanza di informazioni sull'orientamento. In particolare, per i passeggeri sensibili al fattore tempo, queste inefficienze operative possono ridurre significativamente il valore percepito dei servizi integrati [20]. In diversi studi, la gestione dei bagagli si distingue come una difficoltà costante. La mancanza di servizi di bagaglio attraverso il check-in, in molti hub integrati è un grosso ostacolo al buon viaggio poiché i viaggiatori potrebbero dover recuperare e riconsegnare i bagagli durante i trasferimenti [15]. Questo risultato corrisponde alla ricerca più generale sul trasporto multimodale, che indica regolarmente la gestione dei bagagli come una delle principali fonti di disagio nell'esperienza dei passeggeri.

Anche l'esperienza di trasferimento è fortemente influenzata dalla fornitura di informazioni in tempo reale. Attraverso la modellazione di simulazione, i sistemi informativi migliorati potrebbero ridurre significativamente l'ansia dei passeggeri e migliorare la soddisfazione generale, soprattutto in caso di ritardi o interruzioni. Un'area

on integrated ticketing systems, however, suggests that user-centric design is a vital, maybe more universally relevant aspect of effective integration given its emphasis on reducing psychological barriers [13].

This study finally shows that physical infrastructure by itself is inadequate; to really maximise the air-rail experience, it must be combined with flawless operational and digital integration. The most successful models seem to be those that handle both the tangible aspects of transfer efficiency and the intangible components of passenger confidence and convenience.

4.2. Air-rail integration models and their impact on flow dynamics

Diversity in passenger preferences and behaviours is evident across various demographic groups and travel purposes. Business travellers typically exhibit a higher value of time (VOT) and a greater willingness to pay for smooth connections and time savings, highlighting the importance of accounting for differences in VOT among travellers [18]. Using finite mixture partial least squares modelling, [15] further advanced this understanding by identifying distinct preference patterns, indicating that satisfaction factors vary significantly between business and leisure passengers.

This diversity also extends to the assessment of service quality. Leisure travellers often prioritise affordability, comfort, and the overall travel experience, whereas business travellers tend to value reliability, punctuality, and swift connections [15]. These variations in preference patterns suggest that a one-size-fits-all approach to air-rail integration is unlikely to optimise passenger satisfaction across all segments. Recent modelling techniques have begun to address this complexity. For example, [11] proposed a Universal Choice Modelling Framework that captures the nuanced decision-making processes of different passenger groups, while [22] employed machine learning methods to uncover previously overlooked nonlinear relationships in passenger preferences including the influence of transfer city appeal on route selection. These advanced analytical approaches highlight a promising direction for developing more targeted and effective integration strategies.

4.3. Factors driving passenger preferences in multimodal systems

Though air-rail integration has possible advantages, major obstacles still exist in maximising the transfer experience. Among the important bottlenecks found in the transfer process were insufficient shuttle services, protracted security checks, and lacking wayfinding information. Particularly for time-sensitive passengers, these operational inefficiencies can significantly reduce the perceived value of integrated services [20]. Across several studies, baggage handling stands out as a constant difficulty. Many integrated hubs' lack of through-check baggage services is a major obstacle to smooth travel since travellers may have to retrieve and

importante per il miglioramento del servizio è la disponibilità di aggiornamenti coerenti, accurati e tempestivi in entrambi i segmenti aereo e ferroviario [13].

4.4. Esperienza dei passeggeri e sfide di trasferimento tra diversi progetti di infrastruttura

I problemi in corso riscontrati in letteratura attirano l'attenzione su una preoccupante disparità tra i modelli teorici di integrazione e le effettive esperienze dei passeggeri. I colli di bottiglia operativi come la bassa frequenza delle navette, i controlli di sicurezza prolungati e la segnaletica inadeguata non solo compromettono l'efficienza del trasferimento, ma aumentano anche notevolmente l'ansia e l'insoddisfazione degli utenti [20]. Questi risultati implicano che difetti operativi potrebbero compromettere anche infrastrutture fisiche ben progettate. Forse l'ostacolo più importante alla buona integrazione è il problema in corso della gestione dei bagagli [15].

Questa difficoltà sottolinea la necessità di una standardizzazione a livello di settore e di investimenti in strutture di controllo approfondito, una soluzione che richiede un coordinamento non solo tra le modalità di trasporto, ma anche tra i sistemi normativi e le procedure di sicurezza. La difficoltà di questo compito potrebbe aiutare a spiegare perché i progressi sono stati modesti, nonostante la sua evidente rilevanza per i viaggiatori. Come dimostrato dal buon effetto dell'accesso alle informazioni in tempo reale, l'infrastruttura digitale è sempre più essenziale per migliorare l'affidabilità del servizio percepita.

Tale risultato implica che anche quando i cambiamenti dell'infrastruttura fisica sono limitati, le soluzioni tecnologiche potrebbero fornire miglioramenti a prezzi ragionevoli all'esperienza dei passeggeri. La trasmissione delle informazioni aiuta a ridurre l'incertezza, che è un'ottima arma contro lo stress connesso ai trasferimenti multimodali.

Un grave inconveniente in questo campo di studio è l'assenza di misure coerenti per la valutazione delle esperienze di trasferimento, che complica il confronto dei modelli di integrazione in varie aree e contesti. Questo divario metodologico rende più difficile trovare le migliori pratiche e riduce la generalizzabilità dei risultati. Molti degli studi esaminati utilizzano dati basati su sondaggi o modelli convenzionali, che di solito mancano di granularità temporale o individualizzazione. In questo senso, l'analisi basata sull'intelligenza artificiale potrebbe creare nuove frontiere in tempo reale, catturando su larga scala le varie esigenze dei passeggeri. Gli studi futuri forniranno quadri di valutazione coerenti che possono consentire confronti intersistemici più significativi con la massima priorità.

4.5. Limitazioni

Nonostante l'approccio sistematico, questa revisione ha dei limiti. I diversi approcci metodologici e gli indicatori di prestazione incoerenti tra gli studi hanno precluso

recheck bags during transfers [15]. This result corresponds to the more general research on multimodal transportation, which regularly points out baggage handling as a major source of discomfort in the passenger experience.

The transfer experience is also greatly affected by real-time information provision. Through simulation modelling, Improved information systems could significantly lower passenger anxiety and improve general satisfaction, especially during delays or disruptions. A major area for service enhancement is the availability of consistent, accurate, and timely updates across both air and rail segments [13].

4.4. Passenger experience and transfer challenges across different infrastructure designs

The ongoing issues found in the literature draw attention to a troubling disparity between theoretical integration models and actual passenger experiences. Operational bottlenecks like low shuttle frequency, protracted security checks, and inadequate signage not only impair transfer efficiency but also greatly increase user anxiety and dissatisfaction [20]. These results imply that operational flaws might compromise even well-designed physical infrastructure. Perhaps the most important obstacle to smooth integration is the ongoing problem of baggage handling [15].

This difficulty emphasises the need of industry-wide standardisation and investment in through-check facilities, a solution that calls for coordination not only between transportation modes but also across regulatory systems and security procedures. The difficulty of this task could help to explain why, despite its obvious relevance to travellers, progress has been modest. As shown by the good effect of real-time information access, digital infrastructure is increasingly essential in improving perceived service dependability.

This result implies that even when physical infrastructure changes are limited, technological solutions might provide reasonably priced enhancements to the passenger experience. Information delivery helps one to lower uncertainty, which is a great weapon against the stress connected with multimodal transfers.

A major drawback in this field of study is the absence of consistent measures for assessing transfer experiences, which complicates comparison of integration models across various areas and settings. This methodological gap makes it more difficult to find best practices and reduces the generalisability of results. Many of the studies examined use survey-based data or conventional modelling, which usually lack temporal granularity or individualisation. In this sense, artificial intelligence-driven analytics might create new frontiers in real-time, large-scale capture of varied passenger needs. Future studies will give consistent evaluation frameworks that can enable more significant cross-system comparisons top priority.

la sintesi quantitativa, limitando le conclusioni a modelli e tendenze qualitativi. Più significativamente, la forte dipendenza da casi di studio provenienti dalla Cina (17 documenti) significa che i risultati e i modelli sintetizzati possono essere meno applicabili a regioni con diverse caratteristiche istituzionali, economiche o infrastrutturali. Questa lacuna rappresenta un'opportunità per la ricerca futura di raccogliere e analizzare casi di studio da varie regioni in particolare Europa, Nord America e nazioni in via di sviluppo per migliorare la comprensione comparativa dei risultati dell'integrazione aereo-ferrovia.

4.6. Risposte alle domande di ricerca

Per affrontare in modo chiaro gli obiettivi di questo studio, questa sezione presenta sistematicamente le risposte a ciascuna domanda di ricerca.

DR: In che modo l'integrazione aereo-ferrovia modella il comportamento dei passeggeri, la connettività e l'efficienza complessiva nei sistemi di trasporto multimodali?

L'integrazione aggiunge possibilità multimodali ai set di scelta dei passeggeri, cambiando così i processi decisionali di viaggio. Un'integrazione ben eseguita può allontanare i viaggiatori dai viaggi monomodali (in particolare i voli a corto raggio) verso alternative multimodali, migliorando l'accesso alle località regionali e generando possibilità di trasferimento più coerenti. I terminali co-locali e gli orari sincronizzati riducono chiaramente i tempi di trasferimento fino al 25% e ampliano le finestre di collegamento possibili per i viaggiatori. La connettività di rete migliora notevolmente quando è presente sia l'integrazione fisica che quella digitale, generando quindi nuovi viaggi fattibili che in precedenza sarebbero stati problematici.

L'integrazione massimizza l'allocazione delle risorse all'interno delle reti di trasporto, influenzando quindi l'efficienza del sistema. Lo studio ha dimostrato che, riducendo la congestione aeroportuale e consentendo agli aeroporti di concentrare la capacità sulle operazioni a lungo raggio in cui il trasporto aereo ha un vantaggio comparativo, la ferrovia ad alta velocità può sostituire in modo efficiente i voli a corto raggio. In particolare, negli aeroporti hub affollati in cui le fasce orarie liberate hanno un grande valore economico, questa sostituzione della modalità produce miglioramenti di efficienza.

Sub-DR1: Quali sono i modelli esistenti di integrazione aereo-ferrovia e in che modo influenzano il flusso di passeggeri?

Lo studio ha identificato vari modelli di integrazione che influenzano il flusso di passeggeri in modi distinti. I servizi di trasporto co-localizzati riducono al minimo le distanze e le durate dei trasferimenti, con conseguente aumento dei tassi di utilizzo e maggiore soddisfazione dei passeggeri. La biglietteria integrata mitiga le barriere psicologiche al viaggio multimodale amalgamando i segmenti aereo e ferroviario, soprattutto se abbinata alla gestione dei bagagli senza soluzione di continuità. In determinate circostanze, le tecniche

4.5. Limitations

Despite the systematic approach, this review has limitations. The diverse methodological approaches and inconsistent performance indicators across studies precluded quantitative synthesis, restricting conclusions to qualitative patterns and trends. More significantly, the heavy reliance on case studies from China (17 papers) means that the synthesized findings and models may be less applicable to regions with different institutional, economic, or infrastructural characteristics. This gap presents an opportunity for future research to collect and analyse case studies from various regions specifically Europe, North America, and developing nations to enhance the comparative understanding of air-rail integration outcomes.

4.6. Research questions answered

To clearly address the objectives of this study, this section systematically presents the answers to each research question.

RQ: *How do air-rail integration shape passenger behaviour, connectivity, and overall efficiency in multimodal transportation systems?*

Integration adds multimodal possibilities to passengers' choice sets, hence changing travel decision-making processes. Well-executed integration can move travellers away from single-mode trips (especially short-haul flights) towards multimodal alternatives and by enhancing access to regional locations and generating more consistent transfer possibilities. Co-located terminals and synchronised schedules clearly cut transfer times by as much as 25% and widen the feasible connecting windows for travellers. Network connectivity improves considerably when both physical and digital integration are present, therefore generating new feasible trips that formerly would have been problematic.

Integration maximises resource allocation within transportation networks, therefore influencing system efficiency. The study showed that, by lowering airport congestion and enabling airports to concentrate capacity on long-haul operations where air transportation has a comparative advantage, high-speed rail can efficiently replace short-haul flights. Particularly at busy hub airports where freed slots have great economic value, this mode replacement produces efficiency improvements.

Sub-RQ1: *What are the existing models of air-rail integration and how do they affect passenger flow?*

The study identified various integration models that influence passenger flow in distinct manners. Co-located transport services minimise transfer distances and durations, resulting in increased utilisation rates and enhanced passenger satisfaction. Integrated ticketing mitigates psychological barriers to multimodal travel by amalgamating air and rail segments, especially when coupled with seamless luggage handling. In certain circumstances, mathematical optimisation techniques for timetable coordina-

di ottimizzazione matematica per il coordinamento degli orari hanno ridotto i mancati collegamenti di circa il 25% e aumentato la quota della modalità ferroviaria dal 35% al 50%. I modelli di previsione della domanda basati sui dati allineano l'erogazione dei servizi con i modelli di domanda previsti, mentre la sincronizzazione della rete produce servizi complementari piuttosto che competitivi. Sebbene la loro efficacia dipenda in modo significativo dalle infrastrutture esistenti, dai dati demografici dei passeggeri e dalle capacità di coordinamento operativo, queste strategie sono più efficaci se implementate contemporaneamente. Le metodologie di pianificazione della capacità basate sui dati garantiscono che l'erogazione del servizio sia in linea con le tendenze della domanda previste, riducendo così al minimo i colli di bottiglia e migliorando l'efficienza complessiva del sistema.

Sub-DR2: Quali fattori chiave influenzano le preferenze dei passeggeri nella scelta delle opzioni aereo-ferrovia integrate?

Le preferenze dei passeggeri per le opzioni aereo-ferrovia integrate sono influenzate da diversi fattori critici. Gli attributi di qualità del servizio come l'affidabilità, la puntualità, il comfort e la frequenza costituiscono la base della soddisfazione in tutti i segmenti di passeggeri. La sensibilità ai costi varia sostanzialmente in base al segmento, con i viaggiatori nel tempo libero che mostrano una maggiore elasticità dei prezzi rispetto ai viaggiatori d'affari che danno priorità a connessioni affidabili e risparmi di tempo. Il tempo di viaggio totale, inclusi i tempi di accesso, attesa e trasferimento, influenza fortemente la scelta della modalità, con il tempo di attesa del trasferimento percepito in modo più negativo rispetto al tempo a bordo del veicolo. La continuità delle transizioni tra le modalità, compresa la gestione dei bagagli e la fornitura di informazioni, influisce in modo significativo sulla soddisfazione e sulle scelte future. I fattori demografici e gli attributi del viaggio creano modelli di preferenza eterogenei che richiedono una progettazione del servizio segmentata piuttosto che soluzioni adatte a tutti.

Sub-DR3: Quali sono le sfide principali per i passeggeri durante i trasferimenti aereo-ferrovia e in che modo variano tra i progetti di infrastruttura?

I passeggeri incontrano numerose difficoltà in corso durante i trasferimenti aereo-ferrovia che differiscono in base alle configurazioni infrastrutturali. La gestione dei bagagli continua ad essere la sfida principale, poiché i sistemi limitati forniscono un'autentica gestione attraverso il bagaglio, che richiede ai passeggeri di recuperare e riconsegnare i loro bagagli. Informazioni insufficienti sulla connettività in tempo reale inducono l'ansia dei passeggeri, in particolare durante le interruzioni e nelle strutture non integrate. Il design complesso, la segnaletica insufficiente e le informazioni direzionali irregolari impediscono la navigazione, soprattutto per gli utenti alle prime armi e in strutture non co-localizzate. La divisione delle procedure di biglietteria e check-in genera processi ridondanti e ambiguità, mentre la programmazione irregolare e gli intervalli di buffer insufficienti erodono la fiducia nei servizi integrati. Le sfide sono notevolmente più pronunciate nelle strutture fisicamente separate rispetto ai terminali co-localizzati;

tion have reduced missed connections by around 25% and increased rail mode share from 35% to 50%. Data-driven demand prediction models align service delivery with anticipated demand patterns, while network synchronisation yields complementary services rather than competitive ones. Although their efficacy is significantly dependent on existing infrastructure, passenger demographics, and operational coordination capabilities, these strategies are most effective when implemented simultaneously. Data-driven capacity planning methodologies guarantee that service delivery aligns with projected demand trends, thereby minimising bottlenecks and enhancing overall system efficiency.

Sub-RQ2: What key factors influence passenger preferences when choosing integrated air-rail options?

Passenger preferences for integrated air-rail options are influenced by several critical factors. Service quality attributes like reliability, punctuality, comfort, and frequency form the foundation of satisfaction across all passenger segments. Cost sensitivity varies substantially by segment, with leisure travellers showing greater price elasticity than business travellers who prioritize reliable connections and time savings. Total journey time, including access, waiting, and transfer times, strongly influences mode choice, with transfer waiting time perceived more negatively than in-vehicle time. The seamlessness of transitions between modes, including baggage handling and information provision, significantly affects satisfaction and future choices. Demographic factors and trip attributes create heterogeneous preference patterns requiring segmented service design rather than one-size-fits-all solutions.

Sub-RQ3: What are the primary challenges for passengers during air-rail transfers and how do they vary across infrastructure designs?

Passengers encounter numerous ongoing difficulties during air-rail transfers that differ based on infrastructural configurations. Baggage handling continues to be the primary challenge, as limited systems provide genuine through-baggage handling, necessitating passengers to retrieve and recheck their luggage. Insufficient real-time connectivity information induces passenger anxiety, particularly during disruptions and in non-integrated facilities. Intricate design, insufficient signs, and erratic directional information impede navigation, especially for novice users and in non-co-located facilities. The division of ticketing and check-in procedures generates redundant processes and ambiguity, while erratic scheduling and insufficient buffer intervals erode trust in integrated services. The challenges are markedly more pronounced in physically separated facilities than in co-located terminals; yet effective solutions must encompass both physical infrastructure and operational coordinating elements.

4.7. Key findings

The key findings illustrated in Fig. 6 highlight how air-

tuttavia, le soluzioni efficaci devono comprendere sia l'infrastruttura fisica che gli elementi di coordinamento operativo.

4.7. Principali risultati

I risultati chiave illustrati nella Fig. 6 evidenziano in che modo l'integrazione aereo-ferrovia influenza il comportamento dei passeggeri, la connettività e le prestazioni complessive del sistema.

L'integrazione aereo-ferrovia influenza profondamente il comportamento dei passeggeri, la connessione e l'efficienza complessiva dei sistemi di trasporto multimodali. Migliorando le alternative di viaggio multimodali, promuove una transizione dai viaggi monomodali, in particolare i voli a corto raggio, ai viaggi aerei-ferroviari integrati, influenzando così i processi decisionali di viaggio. L'integrazione efficace, in particolare tramite terminali co-locali e orari sincronizzati, può ridurre i tempi di trasferimento fino al 25% e migliorare la fattibilità di collegamenti precedentemente impossibili. L'integrazione di elementi fisici e digitali aumenta l'accessibilità regionale e migliora la connettività di rete complessiva. L'efficienza del sistema è migliorata poiché la ferrovia ad alta velocità sostituisce gli aeromobili a corto raggio, liberando così la capacità aeroportuale per le operazioni a lungo raggio e alleviando la congestione, in particolare nei principali aeroporti hub. Diversi modelli di integrazione influenzano il flusso di passeggeri in modi distinti.

I servizi co-localizzati consentono di risparmiare tempo e distanza di trasferimento, migliorando la soddisfazione e i tassi di utilizzo. I sistemi di biglietteria integrati affrontano gli ostacoli psicologici e logistici unificando i segmenti aereo e ferroviario, soprattutto se abbinati a una gestione efficiente dei bagagli. Gli orari ottimizzati hanno mostrato una diminuzione del 25% dei mancati collegamenti e un aumento della quota della modalità ferroviaria dal 35% al 50%, mentre gli algoritmi di previsione della domanda basati sui dati sincronizzano l'erogazione del servizio con i requisiti previsti. L'efficacia di questi metodi dipende principalmente dalle infrastrutture locali, dai dati demografici dei passeggeri e dalle capacità di coordinamento. Le preferenze dei passeggeri sono influenzate da aspetti critici tra cui la qualità del servizio (affidabilità, puntualità, comfort, frequenza), la sensibilità ai costi e la durata complessiva del viaggio, con i tempi di trasferimento percepiti in modo più sfavorevole rispetto al tempo a bordo del veicolo. Transizioni impeccabili che comprendono un'efficace gestione dei bagagli e informazioni trasparenti in tempo reale aumentano significativamente il godimento. Tali preferenze sono diverse e richiedono progetti di servizi personalizzati piuttosto che soluzioni standardizzate. Nonostante questi vantaggi, i passeggeri incontrano numerose difficoltà durante i trasferimenti.

La gestione dei bagagli continua ad essere un problema significativo, in particolare in assenza di servizi di controllo completo. Informazioni insufficienti in tempo reale, segnaletica inadeguata, layout contorti e procedure di biglietteria e check-in frammentate aggravano l'esperienza di trasferimento. Queste difficoltà sono particolarmente pronunciate nelle

rail integration influences passenger behaviour, connectivity, and overall system performance.

Air-rail integration profoundly influences passenger behaviour, connection, and the overall efficiency of multimodal transportation systems. By enhancing multimodal travel alternatives, it promotes a transition from single-mode journeys particularly short-haul flights to integrated air-rail travel, hence affecting travel decision-making processes. Effective integration, especially via co-located terminals and synchronised timetables, can diminish transfer times by as much as 25% and enhance the viability of formerly unfeasible links. The integration of physical and digital elements boosts regional accessibility and improves overall network connectivity. The efficiency of the system is enhanced as high-speed rail substitutes short-haul aircraft, so liberating airport capacity for long-haul operations and alleviating congestion, particularly at major hub airports. Diverse integration models affect passenger flow in distinct ways.

Co-located services save transfer time and distance, enhancing satisfaction and utilisation rates. Integrated ticketing systems address psychological and logistical obstacles by unifying air and rail segments, especially when coupled with efficient baggage management. Optimised timetables have shown a 25% decrease in missed connections and an increase in rail mode share from 35% to 50%, while data-driven demand forecasting algorithms synchronise service delivery with projected requirements. The efficacy of these methods is predominantly contingent upon local infrastructure, passenger demographics, and coordination skills. Passenger preferences are influenced by critical aspects including service quality (reliability, punctuality, comfort, frequency), cost sensitivity and overall journey duration, with transfer times perceived more unfavourably than in-vehicle time. Flawless transitions encompassing effective baggage management and transparent real-time information significantly elevate enjoyment. These preferences are diverse, necessitating customised service designs rather than standardised solutions. Notwithstanding these advantages, passengers encounter numerous difficulties during transfers.

Baggage handling continues to be a significant issue, particularly in the absence of through-check services. Insufficient real-time information, inadequate signage, convoluted layouts, and fragmented ticketing and check-in procedures exacerbate the transfer experience. These difficulties are especially pronounced in non-co-located facilities. Consequently, successful integration relies not alone on physical infrastructure but also on efficient operational coordination, with both components crucial for enhancing the passenger experience and the performance of the multimodal system.

The conceptual framework illustrated in Fig. 7 synthesises the main insights of this study by visually mapping the relationships between integration strategies, influencing factors, and observed outcomes in air-rail systems.

This conceptual framework demonstrates the dynamic

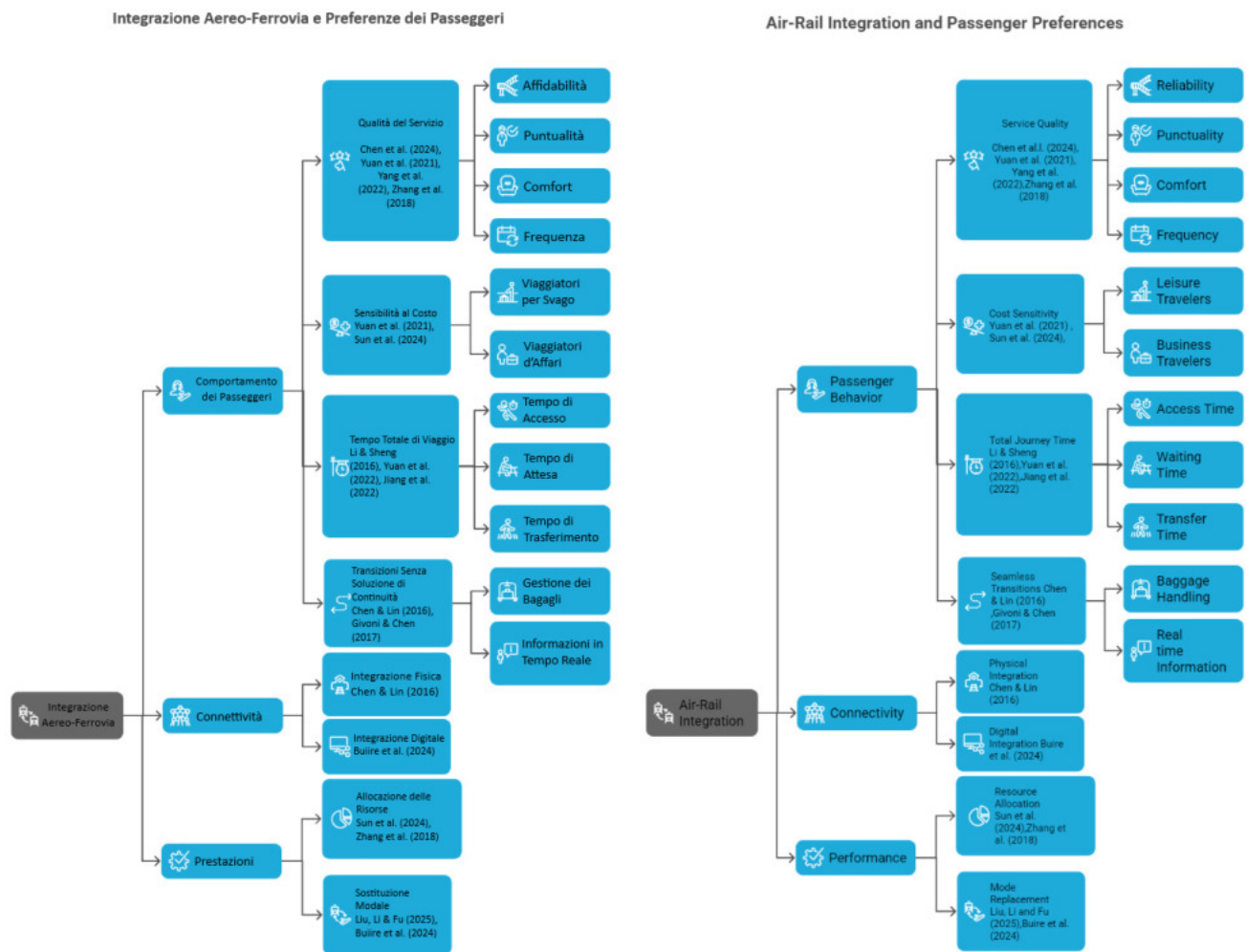


Figura 6 - Risultati chiave.
 Figure 6 - Key Findings.

strutture non co-locate. Di conseguenza, l'integrazione di successo non si basa solo sull'infrastruttura fisica, ma anche su un efficiente coordinamento operativo, con entrambe le componenti cruciali per migliorare l'esperienza dei passeggeri e le prestazioni del sistema multimodale.

Il quadro concettuale illustrato nella Fig. 7 sintetizza le principali intuizioni di questo studio mappando visivamente le relazioni tra strategie di integrazione, fattori influenzanti e risultati osservati nei sistemi aereo-ferrovia.

Questo quadro concettuale dimostra le interazioni dinamiche all'interno dei sistemi di integrazione aereo-ferrovia. Fondamentalmente, illustra come i modelli di integrazione sono strutturati per fornire risultati specifici. Il quadro sottolinea le interconnessioni tra tutte le componenti. I fattori abilitanti migliorano l'integrazione di successo influenzando positivamente sia i modelli che i risultati. Al contrario, i fattori inibitori creano ostacoli che influiscono negativamente sull'implementazione e sui risultati.

interactions within air-rail integration systems. Fundamentally, it illustrates how Integration Models are structured to provide specified Outcomes. The framework emphasises the interconnections among all components. Enabling factors enhance successful integration by positively impacting both models and outcomes. Conversely, inhibiting factors create hurdles that adversely affect implementation and outcomes.

Future trends and emerging technologies impact all system components, indicating that the framework adapts throughout time as new innovations arise.

4.8. Future directions and emerging trends

Several new trends looking ahead point to encouraging paths for both research and practice in air-rail integration. Particularly in areas with well-developed HSR networks, the increasing focus on environmental sustainability is expected to hasten the movement from short-haul flights to

Le tendenze future e le tecnologie emergenti hanno un impatto su tutti i componenti del sistema, indicando che il quadro si adatta nel tempo al sorgere di nuove innovazioni.

4.8. Orientamenti futuri e tendenze emergenti

Diverse nuove tendenze che guardano al futuro indicano percorsi incoraggianti sia per la ricerca che per la pratica nell'integrazione aereo-ferrovia. In particolare, nelle aree con reti AV ben sviluppate, la crescente attenzione alla sostenibilità ambientale dovrebbe accelerare il passaggio dai voli a corto raggio ai servizi ferroviari. Questo cambiamento potrebbe ottenere un maggiore sostegno politico e adattarsi a obiettivi di decarbonizzazione più generali nel settore dei trasporti.

Il quadro concettuale derivato dallo studio offre una prospettiva significativa per comprendere e prevedere i cambiamenti futuri. Il quadro sottolinea le aree chiave per l'innovazione e l'intervento dimostrando l'interazione dinamica tra i modelli di integrazione, i fattori facilitanti e inibitori e i loro risultati. Oltre ad affrontare sfide durature come la gestione dei bagagli e la governance frammentata, sottolinea l'importanza di utilizzare fattori abilitanti come informazioni in tempo reale, supporto delle politiche e tecnologie emergenti. Questo approccio globale promuove la pianificazione strategica per migliorare la connettività multimodale e la soddisfazione dei passeggeri in mezzo a sfide in evoluzione.

Un'altra strada importante per migliorare l'integrazione risiede nei progressi tecnologici, in particolare nell'integrazione dei dati e nei servizi digitali. Strumenti come pianificatori di viaggio completi, sistemi di gestione delle interruzioni in tempo reale e offerte di servizi personalizzati hanno il potenziale per migliorare significativamente l'esperienza dei passeggeri. Come evidenziato da [21], una migliore connettività e accessibilità multimodale possono influenzare i modelli di mobilità regionale, suggerendo che i progressi nell'integrazione digitale possono guidare e integrare i cambiamenti nelle infrastrutture fisiche.

Modelli operativi avanzati, come le tecniche di programmazione lineare mista-intera, mostrano la possibilità di un coordinamento della pianificazione e di un'allocazione delle risorse più complessi. Queste strategie di ottimizzazione potrebbero aiutare a risolvere le attuali inefficienze del processo di trasferimento e costruire reti multimodali più robuste [14]. Finalmente, il cambiamento post-pandemia dei modelli di viaggio offre sia possibilità che difficoltà all'integrazione aereo-ferrovia. I cambiamenti nelle preferenze dei passeggeri, una maggiore connettività digitale e il cambiamento dei modelli di lavoro potrebbero richiedere modifiche agli attuali modelli di integrazione. Gli studi futuri dovrebbero indagare su come i metodi incentrati sui dati e basati sull'intelligenza artificiale come l'analisi del flusso di passeggeri in tempo reale, la modellazione delle preferenze basata sull'apprendimento automatico e la previsione del viaggio potenziata dall'intelligenza artificiale possano approfondire la nostra conoscenza dei vari comportamenti dei passeggeri nelle reti aereo-ferrovia integrate. Questi approcci hanno la possibilità di superare le intuizioni a livello aggregato, con-

rail services. This change might get more policy support and fits more general decarbonisation objectives in the transportation industry.

The conceptual framework derived from the study offers a significant perspective for comprehending and predicting future changes. The framework emphasises key areas for innovation and intervention by demonstrating the dynamic interaction among integration models, facilitating and inhibiting factors, and their results. In addition to addressing enduring challenges like baggage handling and fragmented governance, it emphasises the significance of utilising enabling factors like real-time information, policy support, and emerging technologies. This comprehensive approach promotes strategic planning to improve multimodal connectivity and passenger satisfaction amid evolving challenges.

Another important avenue for enhancing integration lies in technological advancements, particularly in data integration and digital services. Tools such as comprehensive journey planners, real-time disruption management systems, and personalised service offerings have the potential to significantly improve the passenger experience. As highlighted by [21], improved connectivity and multimodal accessibility can influence regional mobility patterns, suggesting that advancements in digital integration may drive and complement changes in physical infrastructure.

Advanced operational models, such as the mixed-integer linear programming techniques show the possibility for more complex schedule coordination and resource allocation. These optimisation strategies could help fix present transfer process inefficiencies and build more robust multimodal networks [14]. At last, the post-pandemic change of travel patterns offers air-rail integration both possibilities and difficulties. Changes in passenger preferences, greater digital connectivity, and changing work patterns could call for modifications to current integration models. Future studies should investigate how data-centric and AI-driven methods like real-time passenger flow analytics, machine learning-based preference modelling, and AI-enhanced journey prediction can deepen our knowledge of various passenger behaviours in integrated air-rail networks. These approaches have the possibility to exceed aggregate-level insights, therefore allowing more granular, adaptive, and tailored service strategies that fit changing post-pandemic travel patterns.

4.9. Ethical consideration

Air and rail integrated networks must deal with several ethical and technical problems when utilising AI to keep the public's trust and make sure that it is used responsibly. Privacy is a major ethical concern in data mining. To completely understand how data will be used in a study, people must give their informed consent [31]. Early bias detection in datasets is essential for effective governance systems, facilitating prompt measures to avert the influence of bias on model conclusions. To protect people's rights and stop data misuse, legislators need to write and implement rules

sentendo quindi strategie di servizio più granulari, adattive e personalizzate che si adattano ai cambiamenti dei modelli di viaggio post-pandemia.

4.9. Considerazioni etiche

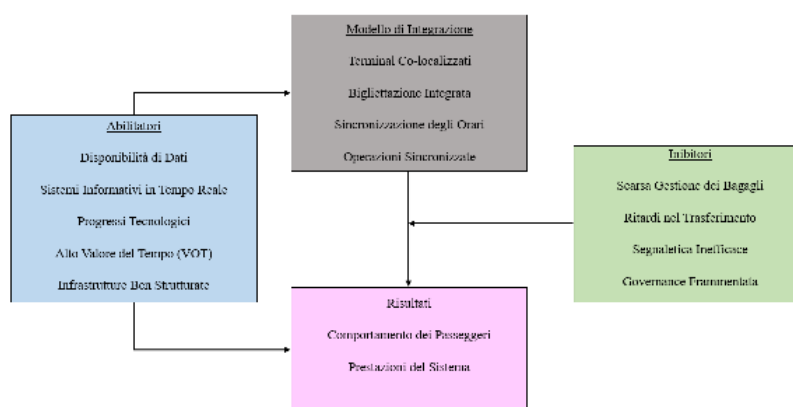
Le reti integrate aeree e ferroviarie devono affrontare diversi problemi etici e tecnici quando utilizzano l'intelligenza artificiale per mantenere la fiducia del pubblico e assicurarsi che venga utilizzata in modo responsabile. La privacy è una delle principali preoccupazioni etiche nell'estrazione di dati. Per comprendere appieno come verranno utilizzati i dati in uno studio, le persone devono dare il loro consenso informato [31]. L'individuazione precoce dei pregiudizi nei set di dati è essenziale per sistemi di governance efficaci, facilitando misure tempestive per evitare l'influenza dei pregiudizi sulle conclusioni del modello. Per proteggere i diritti delle persone e fermare l'uso improprio dei dati, i legislatori devono scrivere e attuare regole sulle applicazioni di intelligenza artificiale, come la raccolta e il monitoraggio dei dati [31]. L'adozione di questi passaggi può rendere i sistemi di intelligenza artificiale più sicuri per i dati, affrontare questioni morali e ottenere la fiducia del pubblico. Queste misure sono necessarie per utilizzare in sicurezza l'IA nel trasporto aereo e ferroviario.

5. Conclusione

Questa ESL ha analizzato 27 documenti a revisione paritaria pubblicati tra il 2015 e il 2025 per valutare l'impatto dell'integrazione aereo-ferrovia sul comportamento dei passeggeri e sulle prestazioni del sistema. La revisione ha esaminato l'argomento di ricerca principale sull'influenza dell'integrazione aereo-ferrovia sul comportamento dei passeggeri, sulla connettività e sull'efficienza complessiva all'interno delle reti di trasporto multimodali.

I risultati hanno indicato che l'integrazione aereo-ferrovia efficiente migliora notevolmente la connettività multimodale e la soddisfazione dei passeggeri se eseguita tramite infrastrutture ben strutturate e operazioni sincronizzate. I terminali co-localizzati, gli orari sincronizzati e i sistemi di biglietteria integrati si sono dimostrati tattiche di integrazione particolarmente efficaci. L'analisi ha rivelato che il coordinamento degli orari da solo ha ridotto i mancati collegamenti di circa il 25%, mentre la sincronizzazione degli orari ha aumentato la quota della modalità ferroviaria dal 35% al 50% in circostanze specifiche.

Quadro Concettuale per l'Integrazione Aereo-Ferrovia



Conceptual Framework for Air Rail Integration

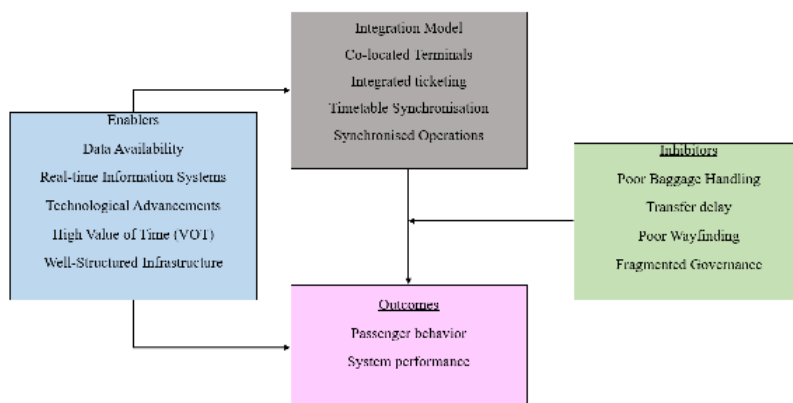


Figura 7 - Quadro concettuale.
Figure 7 - Conceptual Framework.

about AI applications, such as data collection and monitoring [31]. Taking these steps can make AI systems safer for data, deal with moral issues, and gain the trust of the public. These measures are necessary for safely using AI in air and rail transportation.

5. Conclusion

This SLR analysed 27 peer-reviewed papers published between 2015 and 2025 to assess the impact of air-rail integration on passenger behaviour and system performance. The review examined the primary research topic on the influence of air-rail integration on passenger behaviour, connectivity, and overall efficiency within multimodal transportation networks.

The results indicated that efficient air-rail integration markedly improves multimodal connectivity and passenger satisfaction when executed via well-structured infrastructure and synchronised operations. Co-located terminals, synchronised schedules, and integrated ticketing systems have

La revisione ha rivelato tendenze distinte nelle preferenze dei passeggeri in base ai segmenti di viaggiatori, con i viaggiatori d'affari che danno la priorità all'efficienza e all'affidabilità del tempo, mentre i viaggiatori di piacere hanno sottolineato l'accessibilità e il comfort. Queste preferenze specifiche per segmento sottolineano la necessità di strategie di integrazione personalizzate invece di soluzioni uniformi. L'indagine ha rivelato molteplici ostacoli duraturi che ostacolano un'integrazione agevole, come una gestione inefficiente dei bagagli, sistemi di informazione in tempo reale carenti e operazioni di trasferimento contorte presso hub non integrati. Le sfide riguardavano in modo significativo varie configurazioni infrastrutturali, con strutture fisicamente separate che presentavano ostacoli maggiori rispetto ai terminali co-locali.

La revisione ha indicato che diversi modelli di integrazione influenzano i flussi di passeggeri in modo variabile, con servizi di trasporto co-locali e operazioni coordinate che mostrano l'influenza benefica più significativa sull'efficienza dei trasferimenti e sulla soddisfazione dei passeggeri. L'efficacia di questi modelli, tuttavia, è significativamente influenzata da fattori contestuali come la rete di trasporto adiacente, i dati demografici dei passeggeri e il coordinamento operativo. Il focus geografico degli studi in Cina e in Europa rivela un notevole vincolo nella letteratura esistente, indicando la necessità di uno studio contestuale più vario. La valutazione ha anche evidenziato una significativa mancanza di quadri di valutazione standardizzati per l'analisi di diversi metodi di integrazione in varie circostanze.

Lo studio futuro dovrà correggere questa lacuna formulando criteri di valutazione completi che considerino l'eterogeneità dei passeggeri. Questi sistemi faciliterebbero importanti confronti tra sistemi e migliorerebbero il processo decisionale basato sull'evidenza per gli investimenti nell'integrazione aereo-ferrovia. Inoltre, un esame approfondito delle difficoltà operative associate alla gestione dei bagagli e alla fornitura di informazioni incentrate sui dati in tempo reale produrrà informazioni significative per migliorare l'esperienza dei passeggeri nei sistemi integrati.

La presente revisione individua un divario critico in letteratura: l'assenza di una matrice di valutazione strutturata per la valutazione dei modelli comportamentali dei passeggeri in contesti di integrazione aereo-ferrovia. Tale matrice potrebbe potenzialmente evolvere in un quadro o strumento di valutazione completo per supportare il processo decisionale basato sui dati nella futura ricerca di integrazione aereo-ferrovia.

proven to be particularly effective integration tactics. The analysis revealed that schedule coordination alone reduced missed connections by roughly 25%, whereas timetable synchronisation elevated rail mode share from 35% to 50% in specific circumstances.

The review revealed distinct trends in passenger preferences based on traveller segments, with business travellers prioritising time efficiency and reliability, whilst leisure travellers emphasised affordability and comfort. These segment-specific preferences underscore the necessity for customised integration strategies instead of uniform solutions. The investigation revealed multiple enduring obstacles that hinder smooth integration, such as inefficient baggage handling, deficient real-time information systems, and convoluted transfer operations at non-integrated hubs. The challenges were significantly among various infrastructure configurations, with physically separated facilities presenting greater obstacles than co-located terminals.

The review indicated that different integration models affect passenger flows variably, with co-located transport services and coordinated operations exhibiting the most significant beneficial influence on transfer efficiency and passenger satisfaction. The efficacy of these models, however, is significantly influenced by contextual factors such as the adjacent transportation network, passenger demographics, and operational coordination. The geographical focus of studies in China and Europe reveals a notable constraint in the existing literature, indicating a necessity for more varied contextual study. The assessment also highlighted a significant lack of standardised evaluation frameworks for analysing diverse integration methods in varied circumstances.

Future study must rectify this gap by formulating comprehensive evaluation criteria that consider passenger heterogeneity. These systems would facilitate significant cross system comparisons and enhance evidence-based decision making for investments in air-rail integration. Moreover, an in-depth examination of the operational difficulties associated with luggage handling and the supply of real-time data centric information will yield significant insights for enhancing the passenger experience in integrated systems.

This review identifies a critical gap in the literature: the absence of a structured evaluation matrix for assessing passenger behavioural patterns in air-rail integration contexts. Such a matrix could potentially evolve into a comprehensive evaluation framework or tool to support data-driven decision making in future air-rail integration research.

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] SUN X. *et al.* (2024), "A review on research regarding HSR interactions with air transport and outlook for future research challenges", *Transport Policy*, 157, pp. 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.08.008>.
- [2] GIVONI M., CHEN X. (2017), "Airline and railway disintegration in China: the case of Shanghai Hongqiao Integrated Transport Hub", *Transportation Letters*, 9(4), pp. 202–214. <https://doi.org/10.1080/19427867.2016.1252877>.
- [3] GIVONI M., BANISTER D. (2006), "Airline and railway integration", *Transport Policy*, 13(5), pp. 386–397. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2006.02.001>.

- [4] CHEN X., LIN L. (2016), "The Integration of Air and Rail technologies: Shanghai's Hongqiao Integrated Transport Hub", *Journal of Urban Technology*, 23(2), pp. 23–46. <https://doi.org/10.1080/10630732.2015.1102418>.
- [5] ZHANG F., GRAHAM D.J., WONG M.S.C. (2018), "Quantifying the substitutability and complementarity between high-speed rail and air transport", *Transportation Research Part a Policy and Practice*, 118, pp. 191–215. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.08.004>.
- [6] JIANG Y. *et al.* (2021), "Ground access behaviour of air-rail passengers: A case study of Dalian ARIS", *Travel Behaviour and Society*, 24, pp. 152–163. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2021.03.006>.
- [7] PEETAWAN W. (2020), "Overview of Air-Rail passenger transport relationship from 1997 to 2018", p. 11. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019039011>.
- [8] XIA W., ZHANG A. (2017), "Air and high-speed rail transport integration on profits and welfare: Effects of air-rail connecting time", *Journal of Air Transport Management*, 65, pp. 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2017.06.008>.
- [9] LO L.P., MARINOV M., and RÜGER B. (2021), "A qualitative study on providing alternative solutions for handling the HSR passenger's luggage", *Urban Rail Transit*, 7(1), pp. 12–28. <https://doi.org/10.1007/s40864-020-00139-y>.
- [10] YEUNG H.K., MARINOV M. (2019), "A systems design study introducing a collection point for baggage transfer services at a railway station in the UK", *Urban Rail Transit*, 5(2), pp. 80–103. <https://doi.org/10.1007/s40864-019-0101-4>.
- [11] CHEN L. *ET AL.* (2024), "Understanding passengers' intermodal travel behavior to improve air-rail service: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration", *Journal of Air Transport Management*, 118, p. 102615. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102615>.
- [12] YANG M. *ET AL.* (2022), "Exploring satisfaction with air-HSR intermodal services: A Bayesian network analysis", *Transportation Research Part a Policy and Practice*, 156, pp. 69–89. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.12.011>.
- [13] JIANG F., YANG M., HUANG S. (2023), "Optimizing the transfer process of Air-Rail Integration Services: A Simulation approach" *Journal of Advanced Transportation*, 2023, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1155/2023/8870004>.
- [14] BUIRE C. *et al.* (2023), "Air–rail timetable synchronisation: Improving passenger connections in Europe within and across transportation modes", *Journal of Air Transport Management*, 115, p. 102526. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102526>.
- [15] YUAN Y. *et al.* (2021), "Heterogeneity in passenger satisfaction with air-rail integration services: Results of a finite mixture partial least squares model", *Transportation Research Part a Policy and Practice*, 147, pp. 133–158. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.03.003>.
- [16] DENYER D., TRANFIELD D. (2009), "Producing a systematic review". In BUCHANAN, D. A. and BRYMAN, A. (eds) *The Sage handbook of organizational research methods*. London: Sage Publications Ltd, pp. 671–689.
- [17] MOHER D. *et al.* (2009), "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement", *BMJ*, 339(jul21 1), p. b2535. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2535>.
- [18] LIU W.-J., LI Z.-C., FU X. (2025), "Modeling the effects of new airport on a multi-airport system with air-rail integration service and heterogeneous passengers", *Transportation Research Part B Methodological*, 195, p. 103195. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2025.103195>.
- [19] YUAN Y., YANG M., FENG T., RASOULI S., RUAN X. *et al.* (2021), "Analyzing heterogeneity in passenger satisfaction, loyalty, and complaints with air-rail integrated services", *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 97, p. 102950. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102950>.
- [20] WEISZER M., DELGADO L., GURTNER G. (2024), "Evaluation of passenger connections in air-rail multimodal operations". 14th SESAR Innovation Days. Rome, Italy 12 - 15 Nov 2024 SESAR. <https://doi.org/10.34737/wxx30>.
- [21] HUAN N., YAO E., XIAO Y. (2023), "Roles of accessibility and air-rail intermodality in shaping mobility patterns in mega-city regions: Behavioural insights from China", *Cities*, 143, p. 104591. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104591>.
- [22] REN Y. *et al.* (2023), "Exploring passengers' choice of transfer city in air-to-rail intermodal travel using an interpretable ensemble machine learning approach", *Transportation*, 51(4), pp. 1493–1523. <https://doi.org/10.1007/s11116-023-10375-3>.
- [23] LI Z.-C., SHENG D. (2016), "Forecasting passenger travel demand for air and high-speed rail integration service: A case study of Beijing-Guangzhou corridor, China", *Transportation Research Part a Policy and Practice*, 94, pp. 397–410. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.10.002>.
- [24] BUENO-GONZÁLEZ J. *et al.* (2023), "Air-rail timetable synchronisation for seamless multimodal passenger travel: a case study for Valencia-Lanzarote door-to-door journeys", *Transportation Research Procedia*, 71, pp. 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.061>.

- [25] YUAN Y. *et al.* (2022), “Heterogeneity in the transfer time of air-rail intermodal passengers based on ticket booking data”, *Transportation Research Part a Policy and Practice*, 165, pp. 533–552. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2022.09.022>.
- [26] JIANG F., WANG L., HUANG S. (2022), “Analysis of the transfer time and influencing factors of Air-Rail Integration passengers: A case study of Shijiazhuang Zhengding International Airport”, *Sustainability*, 14(23), p. 16193. <https://doi.org/10.3390/su142316193>.
- [27] LU M., PEREZ E.J., MASON K., LI L. (2025), “Comparison of PCA and fractal analysis approaches in the evaluation of air-HSR intermodal network”. *Research in Transportation Business & Management*, 62, 101435. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2025.101435>.
- [28] TAN Y., LI Y., WANG R., MI X., LI Y., ZHENG H., KE Y., WANG Y. (2022), “Improving synchronization in High-Speed railway and air intermodality: integrated train timetable rescheduling and passenger flow forecasting”. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(3), 2651–2667. <https://doi.org/10.1109/tits.2021.3137410>.
- [29] HUAN N., YAO E., XIAO Y. (2025), “Tourist preferences for air-high-speed rail intermodal transport: Insights from a mega-city region”. *Transportation Research Part a Policy and Practice*, 199, 104575. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2025.104575>.
- [30] SETIAWAN D., PRIYANTO S., AMROZI M.R.F., MUTHOHAR I. (2025), “The comparison of main features and minimum service standards of air-rail integrated services (ARIS) implementation in Indonesia”. *Multimodal Transportation*, 100224. <https://doi.org/10.1016/j.multra.2025.100224>.
- [31] MAHESH N., HADEED R., MARINOV M. (2025), “The impact of artificial intelligence on passenger flow in air and rail integrated networks: A systematic literature review”. In *2025 20th European Dependable Computing Conference Companion Proceedings (EDCC-C)* (pp. 102–107). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDCC-C66476.2025.00040>.

Appendice A

N.	Tipo di Pubblicazione <i>Type of Paper</i>	Nome della Rivista/ Conferenza <i>Journal Name Conference</i>	N. di Articoli <i>N. of Papers</i>	Classificazione <i>Ranking</i>
1	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Transport Policy	1	Q1
2	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Travel Behaviour and Society	1	Q2
3	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Transportation Research Part A: Policy and Practice	6	Q1
4	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Transportation	1	Q1
5	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Transportation Letters	1	Q2
6	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Journal of Urban Technology	1	Q1
7	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Journal of Air Transport Management	3	Q1
8	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Journal of Advanced Transportation	1	Q2
9	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Sustainability	1	Q1
10	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Transportation Research Part D: Transport and Environment	1	Q1
11	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Cities	1	Q1
12	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Transportation Research Part B: Methodological	1	Q1
13	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Multimodal Transportation	1	Q1
14	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Intelligent Transport Systems	1	Q1

15	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Research in Transportation Business & Management	1	Q1
16	Articolo su rivista <i>Journal Article</i>	Journal of Choice Modelling	1	Q1
17	Atti di Conferenza <i>Conference Proceedings</i>	Innovation Aviation & Aerospace Industry – International Conference 2020	1	-
18	Atti di Conferenza <i>Conference Proceedings</i>	Transportation Research Procedia	1	-
19	Atti di Conferenza <i>Conference Proceedings</i>	14th SESAR Innovation Days	1	-
20	Atti di Conferenza <i>Conference Proceedings</i>	European Dependable Computing Conference Companion Proceedings (EDCC-C)	1	-

Nuove soluzioni per elevate prestazioni

Traverse Linea Storica



Sistema FAST



Traversoni per scambi



www.overail.com

Overail
track solutions

Overail S.r.l. – Società del Gruppo Salcef

Railway Forum Napoli 2025 – Slab Track

Massimiliano BRUNER - SAPIENZA Università di Roma, DICEA

Valerio GIOVINE - Segretario Generale CIFI

1. Introduzione

Il “Railway Forum Napoli 2025 – Slab Track” ha rappresentato un importante evento tecnico e scientifico internazionale, dedicato alle moderne tecnologie nella progettazione, costruzione e manutenzione degli armamenti ferroviari su piastra (Slab Track Systems).

Si è svolto il 6 e il 7 novembre 2025 presso il Museo Ferroviario di Pietrarsa (Napoli) ed è stato organizzato dall'*Union of European Railway Engineer Associations* (UEEIV) e dal Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (CIF), nell'ambito della collaborazione tra le due Associazioni (Fig. 1).

L'UEEIV, organizzazione che riunisce le Associazioni europee degli ingegneri ferroviari e diverse Imprese che operano del settore a livello internazionale, e il CIFI, il riferimento tecnico e culturale del sistema ferroviario in Italia, condividono la missione di promuovere la diffusione di buone pratiche, lo scambio di conoscenze tecniche e il mantenimento del “sapere” ferroviario.

La finalità del Forum è stata favorire il confronto scientifico e tecnico sui sistemi ferroviari su piastra, ponendo al centro della discussione le sfide dell'innovazione, della sostenibilità ambientale e della digitalizzazione nel settore ferroviario (Fig. 2).

Il Forum di Napoli ha inoltre fornito risposte alle strategie europee volte all'espansione delle reti ferroviarie ad alta velocità e alla modernizzazione del trasporto pubblico urbano.

2. Svolgimento dell'evento

Il 5 novembre, presso l'Holiday Inn di Napoli, si sono tenute la riu-

nione del Presidium e l'Assemblea Generale dell'UEEIV.

In tali occasioni si sono rinnovati gli organi di gestione dell'UEEIV

e si è avuto l'avvicendamento della Vice Presidenza tra l'Ing. M. BROGLIA e l'Ing. G. SPADI, attuale Preside della Sezione CIFI di Milano. L'Ing. M.



Figura 1 – Presentazione del convegno.



Figura 2 – L'intervento dell'Ing. Ing. V. METAXA e l'Ing. R. FELSNER.

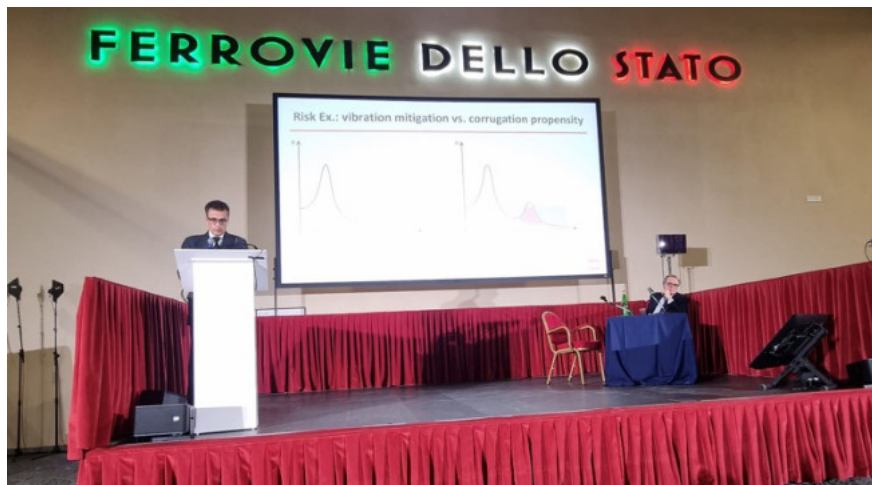


Figura 3 – L'intervento dell'Ing. Ing. M. ACQUATI.



Figura 4 – L'intervento del Prof. Prof. O. AKBAYIR.



Figura 5 – L'intervento dell'Ing. Ing. L. HANSEN.

BROGLIA è stato nominato Membro Onorario dell'Associazione europea.

Le sessioni del Forum, svolte nelle due giornate successive, hanno visto interventi di studiosi, progettisti e manager provenienti da numerosi Paesi (Italia, Austria, Germania, Svizzera, Regno Unito, India, Serbia, Turchia, Croazia, ...), a testimonianza della natura internazionale del convegno.

Le presentazioni, distribuite in sette sessioni, hanno riguardato quattro aspetti specifici dei sistemi Slab Track:

- **“Slab Track Systems”**

illustrato nelle prime tre sessioni, con interventi sulle tecnologie più versatili e sulle soluzioni innovative, in particolare sulla sostenibilità e la durabilità del binario su piastra (crf. Fig. 2);

- **“Digitalization in Railway Track”**

presentato in un'unica sessione, attraverso contributi relativi ai progressi nella digitalizzazione e ai sistemi di monitoraggio per la progettazione e la manutenzione del binario (Fig. 3);

- **“Slab TraTrack Projects”**

trattato in due sessioni, con casi di studio di particolare rilievo, tra cui il tunnel di Base del Brennero, il Progetto GAZIRAY in Turchia e interventi di modernizzazione nelle reti austriache e cilene, e con approfondimenti tecnici specifici, quali l'ottimizzazione delle zone di transizione, il posizionamento di Slab Track su viadotto, misure preventive per la resilienza, analisi di impatto ambientale per varie tipologie di piastra (Fig. 4);

- **“Public Transport Systems”**

affrontato con esempi di applicazione delle tecniche di Slab Track a linee tramviarie e di metropolitana, evidenziando soluzioni orientate all'economia circolare e alla riduzione dei tempi di posa in opera (Fig. 5).

L'evento si è concluso con una tavola rotonda con considerazioni e prospettive sugli argomenti trattati.

L'escursione del giorno 8 novem-

bre, dedicata alla visita delle stazioni artistiche delle linee 1 e 6 della metropolitana di Napoli, gestite dall'Azienda Napoletana Mobilità (AMM), ha offerto un momento culturale e simbolico a chiusura dell'evento, sottolineando il legame tra innovazione tecnologica e valorizzazione del patri-

monio urbano (Fig. 6, Fig. 7., Fig. 8., Fig. 9).

3. Conclusioni

Il Railway Forum Napoli 2025 ha rappresentato un momento per condividere esperienze e risultati di ri-

cerca nel campo delle infrastrutture ferroviarie su piastra.

La presenza di 14 Imprese di livello internazionale in qualità di sponsor e la partecipazione di circa 150 persone hanno reso fortemente significativo l'evento (Fig. 10). La splendida struttura del Museo Ferroviario lo



Figura 6 – Linea 1 Staz. Centro Direzionale.



Figura 7 – Linea 1 Staz. Toledo.



Figura 8 – Linea 6 Staz. Chiaia.



Figura 9 – Staz. S. Pasquale.



Figura 10 – I relatori e gli organizzatori del convegno.

ha inoltre completato con un gradevole tocco storico e paesaggistico.

La pluralità degli approcci presentati, ingegneristico, gestionale, ambientale e tecnologico, ha testimoniato la complessità e la interdisciplinarietà del settore ferroviario e ha evidenziato l'attenzione alla digitalizzazione come fattore chiave per il mi-

glioramento della sicurezza e dell'efficienza economica.

L'incontro tra ingegneri, accademici e professionisti ha rafforzato la cooperazione internazionale nel campo dell'ingegneria ferroviaria, ponendo le basi per ulteriori sviluppi nelle tecnologie e nella modernizzazione del trasporto ferroviario europeo.

Va infine segnalato il notevole lavoro organizzativo svolto dallo staff del CIFI, V. LA MANNA, S. LEONETTI, A. MANNA, riconosciuto e apprezzato da tutti i partecipanti al Forum.

Prossimo appuntamento a Cracovia nel novembre 2026 con un altro tema ferroviario!

Trieste ferroviaria, tra tecnica e cultura Tre giorni all'insegna della scoperta e riscoperta della tranvia di Opicina e delle linee tra Trieste, Nova Gorica e Gorizia – 17 ottobre 2025

Giorgio SPADI - Preside Sezione CIFI Milano,
Riccardo GENOVA - Vice Presidente CIFI Area Nord,
Carola CODOGNOTTO - *Event & Communication Assistant*,
Istituto Internazionale delle Comunicazioni

Che l'Italia sia disseminata di piccole perle dal valore storico è conoscenza comune, dall'arte architettonica a quella ingegneristica non è esagerato affermare che persino nel più piccolo e sperduto paesino si possa trovare una testimonianza dal valore storico e culturale inestimabile. Ed è proprio di una perla storica del filone ingegneristico e della sua rilevanza storica che si narrerà in questo articolo che racconta, nella "Vita del CIFI", un interessante frammento di cultura in tutte le sue declinazioni.

Lo scorso 17 ottobre la Sezione CIFI di Milano, promotrice dell'iniziativa, congiuntamente con la Sezione di Trieste e nell'ambito delle attività dell'Area Nord, ha organizzato una visita tecnica alla tranvia Trieste-Opicina, preceduta da un'introduzione convegnistica di particolare rilievo. In apertura sono intervenuti la Magnifica Retttrice dell'Università di Trieste, Prof.ssa D. VINELLI, l'AD di Trieste Trasporti, A. SEMPLICE, che per l'occasione ha messo a disposizione la vettura 401 (Fig. 1) a supporto della visita, l'Ing. A. CERVIA direttore esercizio della trenovia Trieste Opicina e il Preside della Sezione CIFI di Trieste, Prof. G. LONGO. Hanno preso parte all'evento il Preside della Sezione CIFI di Milano, Ing. G. SPADI, e il Vice Presidente Area Nord, Prof. R. GENOVA.

La tranvia di Opicina (Fig. 2), più comunemente conosciuta come Trenovia di Opicina, è un impianto unico nel panorama europeo e attualmente gestito da Trieste Trasporti. La sua particolarità risiede nella sezione a fune che si sviluppa fino a Vetta



Figura 1 - Vettura 401 a Vetta Scorcola.



Figura 2 - Vettura storica 6 a Opicina.

Scorcola, dove, grazie all'ausilio degli spintori – veicoli agganciati al sistema funicolare – le vetture tranviarie riescono a superare un tratto a forte

pendenza. Il percorso complessivo si estende per circa 5 km, dei quali circa 800 m presentano pendenze che raggiungono il 26%. In questi tratti più



Figura 3 – Foto di gruppo di fronte alla vettura 6.

impegnativi, sia in salita che in discesa, gli spintori garantiscono il superamento del dislivello, rendendo questa tranvia un'opera ingegneristica singolare nel contesto europeo.

Ufficialmente classificata come Linea 2 sin dalla sua inaugurazione nel 1902, la tranvia si sviluppa lungo un tracciato di grande suggestione, collegando il centro della città di Trieste con Villa Opicina, conosciuta anche come Opzina nel dialetto locale. Questo impianto rappresenta oggi un prezioso patrimonio storico per l'area urbana triestina, essendo l'unica linea tranviaria ancora in esercizio dopo la soppressione della rete urbana avvenuta nel 1970.

Dopo la visita agli impianti a funicolare, e la relativa sala macchine, la visita tecnica si è conclusa presso il deposito e officina di Opicina, dove si trovano le restanti vetture tranviarie. Tutti i mezzi, ad eccezione della vettura 407, sono stati oggetto di interventi di ammodernamento, in particolare con l'introduzione della tecnologia di trazione con chopper.

Un momento particolarmente significativo è stata l'esposizione dello storico tram numero 6 (Fig. 2), co-

struito nel 1902 dalla Grazer Waggon und Maschinen Fabriks di Graz, con equipaggiamento elettrico fornito dalla AEG Union di Vienna. L'esposizione ha suscitato grande interesse tra i partecipanti (Fig. 3), testimoniato anche da numerosi scatti fotografici, affiancata proprio alla vettura 407.

La giornata si è conclusa con la cena sociale in un locale tipico di Trieste, per gustare le specialità gastronomiche locali.

Il programma è proseguito il giorno successivo, 18 ottobre, con un affascinante viaggio di frontiera tra Italia e Slovenia. Alle ore 9.03, dalla stazione di Trieste Centrale, è iniziato il viaggio con treno regionale 1825 diretto a Villa Opicina, stazione nella quale erano presenti moderne locomotive e treni cargo convenzionali ed intermodali di numerose imprese

ferroviarie (Fig. 4), a testimonianza dell'importanza dei collegamenti ferroviari tra il porto di Trieste, l'Italia e le regioni balcaniche che si svolgono attraverso questo storico valico, e della vivacità del trasporto merci ferroviario frutto della liberalizzazione del settore e della necessità di rendere il trasporto delle merci sostenibile ed ambientalmente compatibile.

Da Villa Opicina il viaggio è proseguito con treno regionale 1825 (stesso numero del treno italiano!) delle Slovenske Železnice diretto a Ljubljana.



Figura 4 - Traffico ferroviario internazionale a Villa Opicina.



Figura 5 - Complesso automotore 711 SŽ Sežana.



Figura 6 - Locomotiva a vapore JŽ 118.005, ex FS 940.

È un peccato che difficoltà di natura tecnica e mancanza di accordi tra le imprese ferroviarie impongano ancora oggi il cambio del treno a Villa Opicina, in un territorio che oramai è completamente integrato: la Slovenia fa parte della UE da oltre 20 anni.

All'arrivo a Sežana, prima stazione dopo il confine, è stato possibile osservare un'automotrice SŽ serie 711 (Fig. 5) (ex JŽ), tra le più prestigiose d'Europa per le sue soluzioni tecniche all'avanguardia e l'elevato livello di comfort. Questi rotabili, costruiti nel 1970 in Germania dalla Waggon und Maschinenbau GmbH Donauwörth come VT24 DB, erano originariamente impiegati nei collegamenti diretti tra Ljubljana e Belgrado.

La visita è quindi proseguita lungo la rete ferroviaria slovena a bordo del treno regionale 4210, a trazione diesel, diretto alla monumentale stazione di Nova Gorica, costruita lungo la storica linea della Transalpina. Il percorso si è snodato attraverso il paesaggio boschivo del Carso, offrendo un'esperienza immersiva nel contesto naturale e culturale della zona. Una volta giunti a destinazione, i partecipanti hanno potuto ammirare da vicino la locomotiva a vapore JŽ 118.005 (Fig. 6), già appartenente al gruppo FS 940, oltre al suggestivo confine tra Italia e Slovenia (Fig. 7) che attraversa la piazza della stazione, luogo simbolico, fortemente evocativo, della storia europea del Novecento.

Il rientro verso l'Italia, lungo il raccordo che da Nova Gorica condu-

ce a Gorizia Centrale, è avvenuto a bordo del treno regionale 7972 che collega le due città a Venezia, operato da un convoglio ibrido "Blues" di Trenitalia. Questi treni, dotati di tripla alimentazione, sono in grado di operare sia con motore diesel che con alimentazione elettrica tramite pantografo o batterie, rappresentando

una delle soluzioni tecnologiche più avanzate attualmente in servizio sulla rete ferroviaria italiana. Il pomeriggio è stato dedicato alla visita della città di Gorizia inserita nel più ampio contesto di "Go! 2025 - Nova Gorica e Gorizia Capitale europea della cultura 2025", con la visita ai principali luoghi d'arte tra cui il Castello di



Figura 7 - Gorizia: la stazione Transalpina, il confine tra Italia e Slovenia, la chiesa di Sant'Ignazio e il Castello.



Figura 8 - Piazza Unità d'Italia a Trieste

Gorizia, che domina i colli teatro di drammatiche battaglie nella Prima guerra mondiale, la chiesa di Sant'Ignazio e la Cattedrale dei Santi Ilario e Taziano (Duomo di Gorizia).

L'ultima tratta del viaggio si è svolta a bordo del treno regionale 3888, che ha riportato i partecipanti alla stazione di Trieste Centrale, culminando così un'esperienza tecnica e culturale intensa e ricca di spunti storici.

La giornata conclusiva, il 19 ottobre, ha visto i partecipanti impegnati nella visita ai principali luoghi simbolici della città di Trieste, tra cui Piazza Unità d'Italia (Fig. 8), il Colle di San Giusto e altri siti di particolare rilievo storico e architettonico, completando così un'iniziativa che ha saputo coniugare perfettamente tecnica, territorio e memoria storica.

Con questi tre giorni il CIFI ha assaporato un pezzo di storia che

sfreccia sulle ripide rotaie triestine dal 1902, vista oggi con lo sguardo di chi sa leggere le storie nascoste dietro ogni carrozza, prima di immergersi in un'altra direzione del viaggio, più recente è vero, ma con un peso storico e politico ancora purtroppo tuttora attuale che ha segnato e segna tutt'ora le città di Gorizia e Trieste, un tempo ultima frontiera del territorio italiano, oggi luogo di integrazione tra culture e popolazioni differenti.

Notizie dall'interno

Massimiliano BRUNER

TRASPORTI SU ROTAIA

Nazionale: nel 2024 numero totale di incidenti ferroviari inferiore al valore medio degli ultimi 10 anni

Scopo della Relazione Annuale sulla Sicurezza delle Ferrovie Interconnesse è riferire sulle attività dell'Agenzia che, per l'Italia, è Autorità Nazionale, in merito allo sviluppo della sicurezza ferroviaria e dell'interoperabilità nel sistema ferroviario dell'Unione. La Relazione, che ogni anno viene inviata al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e all'ERA (European Railway Agency), contiene informazioni su incidenti e inconvenienti che si sono verificati, ne analizza cause e condizioni e restituisce, quindi, un quadro sull'evoluzione della sicurezza ferroviaria, non solo di anno in anno ma soprattutto dei trend che si configurano sul lungo periodo.

Nel documento vengono illustrate anche le attività della Direzione Generale per la Sicurezza delle Ferrovie in ANSFISA sul fronte normativo, a livello nazionale e europeo, autorizzativo, e di supervisione tramite ispezioni e audit sui sistemi di gestione dei gestori dell'infrastruttura e delle imprese ferroviarie, oltreché l'analisi degli incidenti ferroviari.

L'ambito di riferimento è costituito dalle linee gestite da RFI, gestore della rete nazionale, e dalle ferrovie regionali interconnesse. Si tratta di una rete di circa 18.000 km complessivi con oltre 5.000 passaggi a livello e 20.000 tra viadotti, gallerie e altre opere d'arte. I gestori dell'infrastruttura sono complessivamente 9 e le imprese autorizzate a circolare, tra merci e passeggeri, sono 95, tra cui imprese provenienti da vari Paesi

dell'Europa e imprese che accedono alle sole stazioni di confine, con un totale di oltre 10.000 treni al giorno e circa 4 milioni di treni all'anno.

Su questa rete, nel 2024, si sono registrati 103 incidenti significativi cioè con morti o feriti o danni ingenti al materiale o interruzioni prolungate del servizio. Quindi un valore medio che non solo è in linea con i valori di riferimento e gli obiettivi europei, ma che in realtà segna un leggero miglioramento. Analizzando l'andamento complessivo dei dati derivanti dall'incidentalità ferroviaria registrato in Italia negli ultimi anni, peraltro, i valori di riferimento per tutte le categorie di rischio stabiliti a livello europeo sono stati sempre rispettati.

Anche per il 2024, come già rilevato negli ultimi anni, continua ad emergere che in gran parte le cause sono ascrivibili a indebite presenze di pedoni (79 incidenti, pari a circa il 77%). Stesso dato riguarda le vittime intese come decessi e feriti gravi: sono state 86 e si registrano per larga parte per indebite presenze di pedoni con 79 vittime, pari a circa il 92% del totale.

Tornando agli incidenti, le altre situazioni ricorrenti riguardano contesti manutentivi e cantieri dove si sono registrati 12 incidenti, pari a circa l'11% del totale, errata esecuzione di procedure in esercizio e manovra con 5 incidenti, pari a circa il 5%, indebite presenze di veicoli stradali (3 incidenti), indebite salite/discese dai treni (2 incidenti) e dissesto idrogeologico (2 incidenti).

Altro aspetto che emerge dalle analisi è che gli incidenti significativi più spiccatamente di carattere ferroviario, ovvero le 6 collisioni e i 4 deragliamenti di treni, registrati nel 2024 non hanno causato alcun decesso ma solo danni materiali.

Anche a fronte di un risultato che mostra un graduale miglioramento, in qualità di Autorità Nazionale di Sicurezza, l'Agenzia, in linea con quanto disposto dalla norma europea, si pone l'obiettivo di stimolare "ove ragionevolmente praticabile, il costante miglioramento" dei livelli di sicurezza. Pertanto, nell'indirizzo delle sue attività, grande priorità è data alla prevenzione degli incidenti, non solo attraverso l'analisi degli stessi, ma anche attraverso l'indagine dei loro precursori, con cui si amplia la numerosità del campione statistico di riferimento. In sostanza, un'azione a tutto spettro, che coinvolge differenti ambiti del Sistema di Gestione della Sicurezza degli Operatori e su cui gli stessi Operatori sono stati chiamati ad intervenire e a porre in essere, quando possibile, azioni di miglioramento in un settore molto complesso e in rapida trasformazione. I livelli di sicurezza, infatti, constano ormai di un mix tra il corretto impiego di norme, tecnologie, formazione professionale e procedure, incluse le procedure che regolano il comportamento delle persone nei riguardi delle tecnologie, e dall'interazione tra queste diverse dimensioni che vanno tutte analizzate e migliorate costantemente.

Al di là della "conta" degli incidenti, la Relazione fornisce anche un corposo dettaglio di tutta l'attività della Direzione Ferrovie sia in termini di autorizzazioni/certificazioni (dei gestori delle infrastrutture e delle imprese ferroviarie, quali organizzazioni, e dei singoli veicoli e sottosistemi ferroviari), che per la supervisione (attività di monitoraggio attraverso ispezioni e audit). Spazio anche a un tema di grande attualità e trasversalità: la diffusione della cultura della sicurezza su cui l'Agenzia lavora costantemente, a partire da una Survey lanciata nel 2021 e che a breve sarà nuovamente misurata per ottenere una fotografia simultanea trasversale dello sviluppo della cultura della sicurezza a livello nazionale e valutare gli sviluppi a valle di 3 anni di attività effettuata. Di sicuro interesse gli indicatori impiegati in questa attività di monitoraggio basati su interviste al middle-management e al personale

operativo che permettono di valutare l'efficacia, percepita dal personale, delle iniziative attuate dall'Organizzazione per quanto riguarda i Fattori Umani e Organizzativi e la Cultura della Sicurezza e verificare sul campo l'implementazione di questi elementi strategici nel Sistema di Gestione della Sicurezza dell'organizzazione, misurandone anche il livello di prestazione nel tempo. Attraverso quest'azione sinergica di controllo, fatta di ispezioni, audit puntuali, attività correttive e predittive in chiave sistemica, vengono individuate le aree di miglioramento su cui lavorare e sollecitare investimenti.

Parallelamente viene presentata anche la Relazione Annuale Sulle Reti Ferroviarie Funzionalmente Isolate il cui ambito di riferimento è costituito da 13 linee e reti, funzionalmente isolate dal sistema ferroviario nazionale interoperabile, per un totale di circa 1050 km.

Tali linee e reti sono gestite sia da gestori dell'infrastruttura che da esercenti, cioè soggetti integrati che gestiscono l'infrastruttura ed effettuano il servizio di trasporto in esclusiva sulla propria rete o sulla rete gestita e, rispetto al passato, sono chiamati ad operare secondo un approccio non più basato sulla mera applicazione di regole stabilite, ma sui concetti di rischio, miglioramento continuo e cultura positiva della sicurezza.

Anche qui, si registra una diminuzione, sia pur lieve, nel numero degli incidenti significativi che si possono ascrivere per lo più a problemi di manutenzione dell'infrastruttura o all'indebita presenza dei pedoni sulla sede ferroviaria o che hanno coinvolto veicoli in prossimità di Passaggi a Livello (Da: *Comunicato Stampa AN-SFISA*, 17 ottobre 2025)

Liguria: stazione di Ventimiglia, prima fase di adeguamento elettrificazione a 3.000 V

Inaugurati i primi due binari della stazione di Ventimiglia adeguati con l'elettrificazione a 3.000 Volt per consentire l'arrivo nella città di con-

fine dei nuovi elettrotreni italiani che potranno offrire il servizio nell'intera tratta del ponente ligure finora servita solo da materiali meno recenti.

Presenti all'inaugurazione il Viceministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, E. RIXI, l'Assessore ai Trasporti di Regione Liguria, M. SCAJOLA, il Sindaco di Ventimiglia, F. DI MURO e l'Amministratore Delegato e Direttore Generale di Rete Ferroviaria Italiana (Gruppo FS), A. ISI, insieme alle Istituzioni e Associazioni locali (Fig. 1).

La prima fase, consiste nella realizzazione di un percorso di arrivo sul primo e secondo binario interamente alimentato a 3000 Volt che rende possibile, a partire da lunedì 17 novembre, l'arrivo e la partenza dalla stazione di Ventimiglia dei primi treni elettrici di nuova generazione che saranno incrementati dal cambio orario del 14 dicembre; contestualmente è stato anche riconfigurato l'Apparato di Comando e Controllo della stazione. Questa fase è parte integrante del progetto complessivo che consentirà di avere disponibili 7 binari per il ricevimento dei nuovi materiali, il cui completamento dei lavori è previsto alla fine del 2027.

L'investimento è di 7 milioni di euro ed è regolamentato dalla "Convenzione Attuativa per l'adeguamento

infrastrutturale e la modifica del sistema di alimentazione TE della Stazione di Ventimiglia" firmata da RFI e Regione Liguria che co-finanziano l'opera per, rispettivamente 2,5 e 4,5 milioni di euro. A questi si aggiungono i 2,5 milioni di Euro investiti da RFI per la fase già attivata a giugno 2025 che ha consentito l'arrivo fino a Ventimiglia dei treni a doppio piano Vivalto di Trenitalia.

- Dettagli sul servizio offerto da Trenitalia

Da lunedì 17 novembre saranno 8 i collegamenti, che aumenteranno dal prossimo cambio orario del 14 dicembre, effettuati da Trenitalia con i nuovi elettrotreni doppio piano e monopiano, questi ultimi, in doppia composizione offriranno fino a mille posti per ogni singola corsa, di cui 600 seduti.

I collegamenti, che percorreranno le tratte Ventimiglia-Genova-Milano e Savona-Ventimiglia, renderanno fruibili dall'intero ponente ligure i servizi dei nuovi convogli che per comfort e affidabilità garantiscono livelli paragonabili a quelli dei treni Alta Velocità attrezzati con impianto di video sorveglianza interno ed esterno in ogni carrozza, sistemi di comunicazione con il personale di bordo e un'ampia visibilità interna che tu-



(Fonte: RFI Gruppo FS Italiane)

Figura 1 – Firma della Convenzione attuativa per l'adeguamento infrastrutturale e la modifica del sistema di alimentazione.

telano la tranquillità dei passeggeri. Le persone anziane o con difficoltà motorie potranno usufruire dei nuovi accessi alle carrozze “a raso”, ove i marciapiedi lo consentono, senza dover affrontare scale in salita o discesa, né superare dislivelli fra il piano del treno e la banchina.

Inoltre, vani porta bici, spaziose bagagliere, prese di corrente a 220 V, ampi finestrini, un sistema di climatizzazione di ultima generazione, monitor, display informativi e altoparlanti distribuiti in ogni vettura migliorano i servizi e il comfort di viaggio (Da: *Comunicato Stampa RFI Gruppo FS Italiane*, 13 novembre 2025)

Piemonte-Veneto: Nuove tecnologie per la circolazione sulle linee AV

E' stato attivato da Rete Ferroviaria Italiana e Italferr (Società del Gruppo FS Italiane) un moderno Sistema Comando Controllo Multistazione (SCCM). Le nuove tecnologie di segnalamento ferroviario, tra le più avanzate e tecnologiche al mondo, consentiranno un'ottimale gestione della circolazione ferroviaria dal Posto Centrale di Milano Greco Pirelli, migliorandone sensibilmente la regolarità nelle linee AV Torino-Milano, Treviglio-Brescia e Torino Padova.

L'attivazione consiste nell'implementazione di un nuovo e più moderno sistema di controllo, sostituendo o aggiornando i sistemi precedenti.

Coinvolti circa 40 persone del Gruppo FS Italiane e delle ditte appaltatrici. Tra i benefici portati da questa nuova tecnologia di ultima generazione, l'incremento dell'affidabilità dell'infrastruttura e una migliore gestione della circolazione ferroviaria in termini di regolarità e puntualità dei treni. Benefici anche nei processi di manutenzione e upgrade dell'infrastruttura grazie a sistemi informatici di diagnostica predittiva che preven- gono l'insorgenza di avarie improvvisi- se.

L'investimento economico è di circa 10 milioni di euro (Da: *Comunicato Stampa RFI Gruppo FS Italiane*, 12 novembre 2025)

Lombardia: la ferrovia si scopre giocando, gli studenti di Luino partecipano a “Trenord Mobility Challenge”

A Luino prende il via la “Trenord Mobility Challenge”, un progetto didattico che trasforma la scoperta del sistema ferroviario lombardo e dei comportamenti corretti da adottare in treno in un gioco coinvolgente per 800 studenti tra i 14 e i 19 anni. L'obiettivo? Promuovere la cultura della mobilità sostenibile tra i più giovani, in modo divertente e interattivo.

Realizzato da Trenord in collaborazione con l'Isis “Città di Luino - Carlo Volonté”, il Comune di Luino e il partner tecnico Gamindo, il progetto nasce dalla volontà di rafforzare il ruolo del treno come strumento strategico per la qualità della vita e per lo sviluppo sostenibile dei territori, con uno sguardo rivolto alla responsabilità ambientale delle generazioni future.

Il progetto è stato presentato agli studenti e ai loro docenti, mercoledì 12 novembre, dal Direttore Comunicazione di Trenord P. GARAVAGLIA e dalla Responsabile Digital, Social, Customer Communication dell'azienda R. CAMMARANO, alla presenza del Sindaco del Comune di L. E. BIANCHI, della Vice Sindaca e Assessora all'Istruzione A. SONNESSA, dalla Consigliera con delega ai trasporti F. V. SQUITIERI.

- Come funziona “Trenord Mobility Challenge”

Attraverso una piattaforma digitale, gli studenti accedono al gioco utilizzando un codice personalizzato e riservato. Il percorso si sviluppa lungo tutte le stazioni che si affacciano lungo la linea R21 Luino-Gallarate-Milano, che diventano “tappe” di sfide interattive come quiz, cruciverba, Wordle e vero-falso, pensate per testare e stimolare la conoscenza del servizio ferroviario, il senso civico e la valorizzazione del patrimonio locale.

Al superamento di ogni tappa, gli studenti guadagneranno un punteggio che consentirà loro, al termine dell'intero percorso, di valutare la propria preparazione. Potranno giocare fino a fine novembre.

L'iniziativa “Trenord Mobility Challenge” potrà essere riproposta anche in altre scuole della Lombardia, con l'obiettivo di guidare le nuove generazioni di viaggiatori a un uso consapevole e responsabile del treno come mezzo di trasporto sostenibile e bene collettivo (Da: *Comunicato Stampa TRENORD*, 12 novembre 2025).

Piemonte: treni storici da Torino ad Alba e nel cuore delle Langhe

Proseguono con successo i treni storici promossi da Fondazione FS e FS Treni Turistici Italiani in Piemonte in programma fino al prossimo dicembre. Domenica 23 novembre viaggio sull'itinerario Torino Porta Nuova – Alba - Nizza Monferrato attraversando uno dei territori più suggestivi della Regione ovvero Langhe, Roero e Monferrato (Fig. 2).

I viaggiatori avranno l'opportunità di rivivere l'atmosfera dei primi anni del secolo scorso cullati dal ritmo lento del treno e circondati dai colori caldi e suggestivi dell'autunno. Durante il percorso, sarà possibile ammirare i vigneti e i borghi storici che punteggiano le colline patrimonio dell'umanità. Il treno storico, composto dalle iconiche vetture centoposte, partirà da Torino Porta Nuova alle ore 8.55 ed effettuerà fermate intermedie nelle stazioni di Torino Lingotto (9.04), Bra (9.49), Alba (10.07), Canelli (10.45) e arrivo a Nizza Monferrato alle ore 11.00

Ad Alba, capitale delle Langhe e città del Tartufo Bianco, tempo libero per esplorare il centro storico, le botteghe artigiane e le eccellenze enogastronomiche locali, vivendo un'esperienza autentica tra tradizione, cultura e sapori. Il treno di ritorno da Nizza Monferrato partirà alle 18.00 con arrivo a Torino Porta Nuova previsto per le 20.20

Oltre a domenica 23 novembre il treno storico circolerà sulla medesima tratta domenica 7 dicembre con locomotiva a vapore in composizione da Alba a Nizza Monferrato. I biglietti per viaggiare a bordo del treno stori-



(Fonte: Fondazione FS italiane, Gruppo FS Italiane)

Figura 2 – Il treno storico della Fondazione FS in marcia sulle linee piemontesi.

co possono essere acquistati su tutti i canali di vendita di Trenitalia, biglietterie, app e sul sito www.fstrenituristici.it al costo di € 29,90 (tariffa ragazzi dai 4 ai 12 anni non compiuti € 14,95). I bambini al di sotto dei 4 anni non compiuti viaggiano gratuitamente (Da: *Comunicato Stampa Fondazione FS Italiane, Gruppo FS Italiane*, 13 novembre 2025).

TRASPORTI URBANI

Campania: aperta al pubblico la stazione di Baia della Cumana

È stata inaugurata ed aperta al pubblico la nuova stazione di Baia della linea Cumana. Erano presenti il Presidente della Regione Campania V. DE LUCA, il sindaco di Bacoli J. DELLA RAGIONE, l'assessore B. DISCEPOLO ed i sindaci di Pozzuoli e Monte di Procida.

Il Presidente di EAV U. DE GREGORIO ha ricordato come i lavori per la realizzazione della nuova stazione di Baia, partiti nel 2005 e bloccati dal

2012, sono stati ripresi nel mese di febbraio 2023 da EAV a seguito della chiusura del contenzioso tra Commissario Governativo della Regione Campania e Concessionario. In due anni EAV ha completato la prima fase ed aperto la stazione.

Il costo è stato di 37 milioni. La stazione si sviluppa su una superficie di circa 3 mila mq.

Tutta la nuova stazione a Baia è stata ideata come un'introduzione, per i viaggiatori, alla storia dei luoghi sia attraverso le scelte architettoniche, materiali, tessiture colori e riferimenti alle architetture antiche del luogo, sia con un allestimento artistico che si sviluppa attraverso il racconto delle vicende, luoghi, personaggi che hanno fatto la storia del territorio. Sono state anche prodotte, attraverso le più moderne tecniche della stampa in 3D, alcune statue ritrovate a Baia e custodite presso il Museo Archeologico Nazionale di Napoli (MANN). Alcune statue sono state esposte all'Expo Osaka, nell'ambito della mostra "Fuoco e Memoria. Vulcani, storia e archeo-

logia", durante la settimana dedicata alla Regione Campania, dal 20 al 30 luglio 2025.

Ora si apre la seconda fase dei lavori per 14 milioni di euro che riguarda il Sottopasso Stazione Baia e il percorso di collegamento con la vecchia stazione di Baia. La chiusura del cantiere è prevista nel 2027. L'intervento prevede la realizzazione del sottopasso che collegherà direttamente la stazione al lungomare di Baia

NB. Al momento la linea Cumana sta subendo gravi problemi legati al terremoto. In particolare, la scossa di 4 gradi di fine luglio ha creato danni alla galleria di Monte Olibano nonché alla stazione vecchia di Pozzuoli. Purtroppo, quindi la circolazione è interrotta da Arco Felice sino a Gerolomini, in sostanza spezzata a metà, con una navetta gomma tra Arco Felice a Gerolomini. I lavori per ripristinare la sicurezza nella galleria sono in corso e termineranno entro 3 mesi. I lavori per attivare la nuova stazione di Pozzuoli termineranno entro Luglio '26. Il raddoppio dei binari è praticamente terminato e senza il problema

del terremoto sarebbe già in essere su tutta la linea.

Sono anche in corso i lavori per ripristinare la circolazione (interrotta da oltre 15 anni) nel tratto da Licola a Torregaveta sulla Circumflegrea (Da: *Comunicato Stampa EAV*, 6 novembre 2025).

Puglia: sessant'anni dalla inaugurazione della linea Bari-Barletta

Sessant'anni fa veniva inaugurata la "nuova" linea Bari-Barletta, la prima linea ferroviaria completamente elettrificata del Mezzogiorno (Fig. 3).

Alla cerimonia ufficiale del 30 set-

tembre 1965 presero parte il Presidente del Consiglio dei Ministri On.le A. MORO, il Ministro dei Trasporti On.le R. JERVOLINO ed il Presidente e Amministratore Delegato della Ferrotramviaria Ing. Conte G. PASQUINI, che nel suo discorso, dopo i doverosi ringraziamenti alle autorità presenti e a tutti quelli che contribuirono alla realizzazione dell'opera, rese omaggio alla memoria del genitore, Avv. Conte U. PASQUINI "mancato prima che gli fosse stata concessa la gioia e la soddisfazione di vedere compiuta l'opera alla quale si dedicò per tanti anni".

La giornata segnò l'avvio di una nuova stagione per la mobilità in Puglia, aprendo la strada a un percorso fatto di innovazione, ammoderna-

mento tecnologico e integrazione dei servizi.

A distanza di sessant'anni, Ferrotramviaria celebra quell'anniversario rinnovando l'impegno verso qualità del servizio, innovazione tecnologica e sostenibilità, valori che già allora furono al centro della visione dell'Azienda. Ricordare la giornata del 30 settembre 1965 significa non soltanto onorare una pagina importante della storia aziendale e del territorio, ma riaffermare il legame con una tradizione di progresso che continua a ispirare il futuro della ferrovia (Da: *Comunicato Stampa Ferrotramviaria*, settembre 2025).



(Fonte: Ferrotramviaria)

Figura 3 – L'inaugurazione della linea Bari-Barletta in una fotografia storica.



(Fonte: FS Logistix Gruppo FS Italiane)

Figura 4 – La flotta di FS Logistix (Gruppo FS) si arricchisce con 12 nuovi autocarri green prodotti da IVECO.

TRASPORTI INTERMODALI

Nazionale: potenziamento della flotta green FS Logistix con 12 autocarri alimentati ad HVO

I nuovi IVECO S-Way, veicoli a basse emissioni, alimentati con carburante HVO e costituiti da motrici e semirimorchi, sono stati acquistati da Mercitalia Shunting & Terminal, società appartenente a FS Logistix, e saranno impiegati per offrire servizi intermodali efficienti dal primo all'ultimo miglio, sfruttando la sinergia tra trasporto ferroviario e su gomma. I nuovi autocarri integrano e vanno a rinnovare i mezzi della flotta, che adesso può contare su un totale di 36 motrici e rimorchi (Fig. 4).

"L'ingresso nella flotta di questi mezzi si inserisce nel percorso strategico definito dal nostro piano industriale, che prevede l'arrivo di 42 nuovi camion entro il 2029" - ha dichiarato S. DE FILIPPIS, Amministratore Delegato di FS Logistix. "L'obiettivo è quello di rispondere alla crescente domanda di intermodalità proponendo un'offerta congiunta ferro-gomma, per offrire ai nostri clienti servizi di trasporto dal primo all'ultimo miglio. Un percorso iniziato nel luglio 2023 con l'acquisizione del ramo d'azienda di Autamarocchi e arricchito nel marzo 2024 con l'arrivo di 10 nuovi autocarri green".

M. PERRI, Direttore Generale di IVECO Mercato Italia, ha evidenziato come questa fornitura rappresenti un passo importante per il trasporto sostenibile: "L'introduzione degli IVECO S-Way nella flotta di FS Logistix conferma il nostro impegno nel fornire soluzioni che combinano prestazioni elevate e attenzione all'ambiente. In un territorio complesso come quello italiano, è fondamentale disporre di veicoli versatili e affidabili che possano supportare efficacemente la mobilità intermodale. Inoltre, l'adozione di carburanti alternativi come l'HVO è un ulteriore segnale concreto della nostra volontà di ridurre l'impatto ambientale, promuovendo un trasporto sempre più pulito e innovativo".

L'acquisto dei nuovi mezzi rientra tra le azioni previste dal Piano Strategico 2025-2029 del Gruppo FS per aumentare l'autoproduzione dei servizi di trasporto su gomma green e incrementare l'intermodalità. I camion di FS Logistix sono a basse emissioni con la possibilità di utilizzare di carburanti prodotti da fonti rinnovabili. Inoltre, sono attenti alla sicurezza delle persone grazie a sistemi di assistenza alla guida tecnologici e connettività.

Questa nuova flotta rappresenta un ulteriore passo avanti nell'impegno di FS Logistix verso una mobilità sostenibile e più efficiente, che integra diverse modalità di trasporto per ridurre l'impatto ambientale e garantire l'efficienza delle attività. Grazie all'adozione di tecnologie all'avanguardia e all'attenzione alle esigenze operative, FS Logistix conferma la sua leadership nel settore della logistica intermodale in Italia.

La collaborazione con IVECO sottolinea inoltre la volontà di puntare su partner tecnologici affidabili e innovativi, capaci di fornire soluzioni su misura per le sfide del trasporto moderno. L'integrazione dei nuovi IVECO S-Way nella flotta permette di consolidare un sistema logistico integrato, flessibile e pronto a rispondere alle richieste di un mercato in continua evoluzione.

La fornitura è stata curata da Ro-

mana Diesel, storica concessionaria IVECO sviluppata sulle quattro sedi di Roma, Frosinone, Latina e Viterbo che, nella sua lunga attività, ha consolidato rapporti commerciali con una vasta clientela, confermandosi punto di riferimento per i clienti del territorio (Da: *Comunicato Stampa FS Logistix Gruppo FS Italiane*, 28 ottobre 2025).

Nazionale: MIT e mobilità, pubblicato il Rapporto trimestrale dell'Osservatorio (II - 2025)

Pubblicato il Report del secondo trimestre 2025 sulle tendenze della mobilità degli italiani, predisposto dalla Struttura Tecnica di Missione (STM) del MIT.

Con riferimento alle abitudini di mobilità degli italiani, si rileva che nel trimestre si sono spostati ogni giorno circa 36,9 milioni (circa il 71,7% della popolazione di riferimento), ciascuno dei quali ha effettuato mediamente 2,6 spostamenti al giorno per un totale di quasi 95 milioni di spostamenti, pari a oltre 2,4 miliardi di spostamenti x km/giorno.

Il documento sottolinea la tendenza positiva della domanda di mobilità per quasi tutte le modalità di trasporto, che nel secondo trimestre registra una crescita rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente, in particolare con aumenti sino al +6% nel settore degli spostamenti autostradali.

Nel dettaglio, nei giorni feriali ci si sposta di più di quelli festivi e con un maggior numero di spostamenti medi pro-capite. La maggior parte degli spostamenti è di natura locale, infatti la percentuale di utenti medi/giorno che si sposta entro i 50 km è quasi il 64% del totale.

Tra i dati raccolti, emerge che negli spostamenti regionali circa il 6% della mobilità di un giorno feriale medio è extraregionale, con il 78% tra questi movimenti che effettua una percorrenza fino a 250 km (con punte fino al 90% per le Regioni di più piccole dimensioni, quali Liguria, Umbria, Valle d'Aosta, Basilicata e Molise).

Il Report è realizzato sulla base dei dati raccolti dall'Osservatorio sulla mobilità di passeggeri e merci, messi a disposizione dagli operatori multimodali nazionali e dalle Direzioni Generali del MIT, oltre che da prestigiosi Centri studi e di ricerca e società di promozione e pianificazione dei trasporti.

Le analisi sono realizzate al fine di monitorare l'evoluzione e le esigenze del settore dei trasporti e della logistica, anche per meglio pianificare e programmare gli investimenti nelle infrastrutture e nei servizi di trasporto (Da: *Comunicato Stampa MIT*, 6 novembre 2025).

INDUSTRIA

OICE: gare pubbliche di ingegneria e architettura, aggiornamento a Settembre 2025

Si conferma anche a settembre il netto miglioramento nei bandi pubblici per servizi tecnici analizzati dall'Osservatorio gare OICE, l'Associazione delle società di ingegneria e architettura aderente a Confindustria, con i primi nove mesi in aumento del 26,6% sul 2024: circa 1,7 mld.

rispetto a circa 1,4 del 2024. Va precisato che, al fine di restituire un più verosimile andamento del mercato, i dati citati e nel seguito esposti non tengono volutamente in considerazione il mega-bando Consip SpA che istituisce per due anni un sistema dinamico di acquisto da 2,1 mld, fino a luglio 2027. Nel nono mese dell'anno, il valore ottenuto sommando l'importo delle gare per servizi di ingegneria e architettura (100,7 mln.) al valore della progettazione esecutiva stimata compresa negli appalti integrati (4 mln.), raggiunge l'importo complessivo di 104,7 mln., evidenziando un consistente calo su agosto 2025 del 76,8%, ma una crescita su settembre 2024 del 38,3%.

Così commenta i dati dell'Osservatorio di settembre il Presidente dell'Associazione, G. LUPORI: "Il miglioramento del quadro generale e di

questi ultimi 9 mesi è un dato positivo che corregge le previsioni pessimistiche di inizio anno di forte riduzione. Così continuando si potrebbe raggiungere la quota di 2 miliardi, in parte sempre legata al PNRR, sotto il profilo delle direzioni lavori. La riduzione degli appalti integrati e della quota di progettazione esecutiva ad essi connessa è direttamente effetto della sostanziale chiusura delle gare di lavori legate al Next generazione UE. I nostri Uffici ci segnalano però un incremento delle criticità dei bandi di gara, con violazione di quasi tutti i principi del codice appalti. Attendiamo quindi con ansia la chiusura del lavoro dell'ANAC sul bando-tipo anche se vorremmo che esso risultasse applicabile anche agli affidamenti oltre 140.000 e non solo

sopra soglia UE. Certezza del diritto e quadro stabile di regole sono infatti valori fondamentali anche per risolvere molti problemi che incontriamo leggendo gli atti di gara, ma servirà anche un controllo ex post incisivo e rapido. Da questo punto di vista non mancheremo di attivare iniziative a difesa degli Associati anche con azioni per ripristinare condizioni di equilibrio contrattuale fra le parti, come deciso dal nostro Consiglio Generale. A tale proposito ribadiamo con forza la necessità di un contratto-tipo perché anche nella fase esecutiva le distorsioni in danno di professionisti, studi e società sono molteplici” (Fig. 5).

Le gare per soli servizi di ingegneria e architettura (esclusi gli appalti integrati) rilevate a settembre hanno

raggiunto un importo di 100,7 mln., evidenziando un andamento estremamente positivo. Infatti, a fronte di un forte calo del 75,7% su agosto 2025, emerge sul lungo periodo un trend positivo, con un +68,5% su settembre 2024 e un +37,1% dei primi nove mesi dell'anno (per complessivi 1.603,8 mln.) sullo stesso periodo del 2024.

A settembre, in un contesto di generale ripresa nel numero delle gare UE (+173,3% su agosto 2025; +36,8% su settembre 2024), l'Italia, con 87 bandi, registra tuttavia una consistente flessione del 51,1% sul mese precedente, scendendo dal terzo al decimo posto per gare pubblicate. Il confronto con settembre 2024 mostra diversamente un dato positivo (+17,6%).

Gen-Set	€
2018	899.603.434
2019	1.033.620.320
2020	1.588.627.955
2021	1.686.898.812
2022	3.975.650.485
2023	3.922.319.659
2024	1.366.382.020
2025	Parziale primi 9 mesi 1.730.450.885 ⁽²⁾

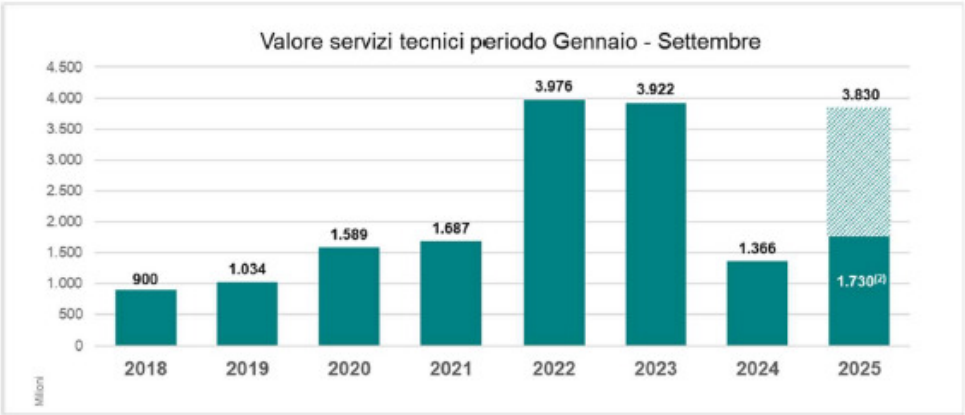


Figura 5 – Valore dei servizi tecnici nei primi nove mesi anni 2018-2025 (Nota (1): Per il valore è stato considerato l'importo dei servizi di architettura e ingegneria pura e quello della progettazione esecutiva affidata mediante appalto integrato. Nota (2): Il dato è al netto dell'importo del mega-bando Consip di agosto 2025 da 2,1 mld.

Per quanto riguarda le gare di sola progettazione, nel mese di settembre il dato evidenzia un andamento estremamente positivo. Infatti, a fronte di un crollo dell'85,2% su agosto 2025 (254,1 mln), emerge sul lungo periodo un trend positivo, con un +53,7% su settembre 2024 e un +70,7% dei primi nove mesi del 2025 (per complessivi 624,4 mln.) sullo stesso periodo dell'anno precedente.

I bandi per accordo quadro rilevati a settembre sono stati 27, pari al 14,7% del totale dei bandi per servizi di ingegneria e architettura pubblicati, di cui hanno costituito il 28,4% in termini di valore, con 28,6 mln. Rispetto ad agosto 2025, si rileva una considerevole flessione nel numero (-73,0%), e un crollo in valore (-91,3%). Al contrario, il confronto con settembre 2024 registra un'impennata sia nel numero dei bandi (+350,0%), che in valore (+229,1%).

Nei primi nove mesi del 2025, il numero dei bandi per accordo quadro rilevato è stato 232, per 811,5 mln., pari rispettivamente al 14,6% in numero e al 21,9% in valore sul

totale dei bandi per servizi di ingegneria e architettura. Rispetto allo stesso periodo 2024, il numero dei bandi risulta in forte crescita sia nel numero (+64,5%), che in valore (+87,3%).

A settembre 2025, le gare rilevate per appalto integrato sono state 57, con un importo della progettazione esecutiva compresa stimato in 4,0 mln. Rispetto al mese precedente, si evidenzia un crollo dell'88,9% del valore dei servizi, a fronte di una crescita del 50,0% nel numero delle gare. Il confronto con il mese di settembre 2024 evidenzia, diversamente, un forte calo del 74,9% nel valore della progettazione esecutiva, assieme a una flessione del 18,6% nel numero delle gare pubblicate. Nei primi nove mesi del 2025, il valore della progettazione esecutiva incluso negli appalti integrati è stato di 126,6 mln. Rispetto allo stesso periodo 2024, si rileva una flessione in valore del 35,7%. Il numero dei bandi rilevati è stato di 552, con una minima flessione del 5,5% sui primi nove mesi del 2024 (Da: *Comunicato Stampa OICE*, 21 ottobre 2025)

VARIE

Molise: al MIT il secondo tavolo tecnico sulla SS 650 "Trignina"

Su indicazione del Vicepresidente del Consiglio e Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, M. SALVINI, si è svolto presso la sede del MIT il secondo incontro del tavolo tecnico permanente dedicato al potenziamento e alla messa in sicurezza della strada statale 650 denominata "Trignina".

All'incontro hanno partecipato (Fig. 6), oltre ai vertici dell'Ufficio di Gabinetto del MIT, l'assessore alle Infrastrutture della Regione Molise, M. MARONE, i rappresentanti delle Camere di Commercio dell'area Adriatico-Tirreno — Chieti-Pescara, Molise, Frosinone-Latina, Caserta e Gran Sasso d'Italia — con la delegazione guidata dal presidente della Camera di Commercio Chieti-Pescara, G. STREVER, il direttore di Uniontrasporti, A. FONTANILI, e i vertici di ANAS.

L'iniziativa, fortemente voluta dal



(Fonte: MIT)

Figura 6 – Al MIT, il Focus sul potenziamento e sul corridoio Adriatico-Tirrenico.

Ministro SALVINI, conferma l'impegno del MIT a garantire sicurezza, accessibilità e sviluppo infrastrutturale in un'area strategica per i collegamenti tra Adriatico e Tirreno, a beneficio di cittadini e imprese. Il tavolo tecnico è stato accolto con grande soddisfazione e con spirito di collaborazione dalle cinque Camere di Commercio dell'Adriatico e del Tirreno, che lavorano in sinergia con il MIT per promuovere la competitività dei territori e sostenere la modernizzazione delle infrastrutture.

Al centro dell'incontro, la presentazione del documento tecnico redatto da Uniontrasporti, che analizza le caratteristiche e la distribuzione territoriale del tessuto produttivo interessato dal potenziamento della SS 650, evidenziandone il ruolo strategico per la competitività del corridoio Adriatico-Tirrenico. L'arteria, che collega le autostrade A14 e A1, serve un bacino di circa 320 mila imprese tra Abruzzo, Molise, Lazio e Campania, con poli industriali di rilievo nei settori automotive e chimico-farmaceutico e un export complessivo che supera i 28 miliardi di euro (Da: Co-

municato Stampa MIT, 13 novembre 2025).

Puglia: impianto fotovoltaico di Foggia

Italferr, società di ingegneria del Gruppo FS, ha avuto un ruolo chiave nella realizzazione del nuovo impianto fotovoltaico attivato da FS Energy nell'agro foggiano, destinato ad alimentare la rete elettrica ferroviaria (Fig. 7). L'impianto, composto da oltre 6.600 pannelli e con una potenza di 3 MWp, rappresenta un passo importante verso la decarbonizzazione dei consumi energetici del Gruppo FS.

Grazie all'esperienza di Italferr nella progettazione digitale e nell'uso del Building Information Modeling (BIM), è stato possibile ottimizzare ogni fase del processo, riducendo tempi e rischi operativi e garantendo una migliore integrazione paesaggistica. Il modello digitale ha consentito di minimizzare l'impatto ambientale e di assicurare la massima efficienza nella realizzazione dell'impianto.

Il progetto si inserisce nella strategia green del Gruppo FS, che punta a installare oltre 1 GW di capacità rinnovabile entro il 2029 e circa 2 GW entro il 2034, coprendo fino al 40% del fabbisogno elettrico del Gruppo. L'impianto di Foggia, insieme a quello di Padova, contribuirà a produrre complessivamente 11 GWh all'anno, equivalenti a migliaia di km percorsi dai treni in modalità sostenibile.

Con il supporto tecnico di RFI e la competenza ingegneristica di Italferr, FS Energy conferma il proprio impegno per un approvvigionamento energetico sicuro e sostenibile, in linea con gli obiettivi di decarbonizzazione e transizione ecologica (Da: Comunicato Stampa Italferr Gruppo FS Italiane, 12 novembre 2025).

Campania: sicurezza infrastrutture, a Napoli la giornata "Conoscenza, Supervisione e Sicurezza"

Si è chiusa all'Unione Industriali di Napoli la giornata di confronto "Conoscenza, Supervisione e Sicurezza"



(Fonte: Italferr Gruppo FS Italiane)
Figura 7 – Vista aerea dell'impianto fotovoltaico di Foggia.

za” promossa da ANSFISA, letta dal Direttore D. CAPOMOLLA come una tappa di un percorso già in atto: rafforzare il sistema dei controlli, rendere più chiaro il perimetro delle responsabilità e dotare l’Agenzia di strumenti normativi e organizzativi in grado di incidere in modo concreto sulla sicurezza delle infrastrutture di trasporto (Fig. 8). L’obiettivo è passare da una prevenzione dichiarata a una prevenzione praticata, misurabile nei risultati sul territorio.

Il confronto ha intrecciato due piani. Da un lato la gestione del rischio: prevenire il dissesto idrogeologico, governare gli impatti degli eventi meteo-climatici estremi su ponti, gallerie, strade e ferrovie, integrare i dati territoriali nella programmazione della manutenzione. Dall’altro il ruolo dell’Agenzia nazionale per la sicurezza delle ferrovie e delle infrastrutture stradali e autostradali: autorizzazioni, vigilanza, controllo e supporto tecnico alle altre istituzioni, in un quadro di responsabilità più leggibile per tutti gli attori della filiera.

A tirare le fila del confronto è stato proprio il Direttore CAPOMOLLA, che ha ricordato come l’Agenzia abbia già elevato il livello dei controlli su reti e gestori, affiancando il Ministero nelle scelte e nelle verifiche, indicando in conoscenza strutturata, supervisione sistematica e responsabilità definite la rotta comune su cui proseguire, perché la sicurezza delle infrastrutture sia un bene quotidiano, non solo un tema di emergenza.

Sul fronte istituzionale, il Sottosegretario alla Presidenza del Consiglio A. MORELLI ha richiamato il valore strategico di ANSFISA nel presidio della sicurezza infrastrutturale, sottolineando la necessità di trasformare basi dati, monitoraggi e cooperazione tra amministrazioni in cantieri, interventi e risultati tangibili per i cittadini. In un messaggio ai partecipanti, il Viceministro delle Infrastrutture e dei Trasporti E. RIXI ha invece inquadrato il dissesto idrogeologico come una sfida sistemica per il Paese, indicando proprio la presentazione in anteprima del Libro Bianco su dissesto idrogeologico e infrastrutture di tra-



(Fonte: ANSFISA)

Figura 8 – Prevenzione del dissesto idrogeologico e vigilanza sulle opere al centro dell’appuntamento: sessione tecnica al mattino e focus pomeridiano su autorizzazioni, controlli e profili di responsabilità.

sporto un passo fondamentale verso un modello nazionale di prevenzione, fondato su conoscenze condivise, responsabilità diffuse e integrazione del rischio nelle scelte di pianificazione e manutenzione.

Sempre in materia di Libro Bianco, il documento è stato presentato nella sua natura di strumento necessario a mettere in rete dati, esperienze e competenze al fine di rendere più coerenti le decisioni di investimento e manutenzione con le condizioni reali delle opere e dei territori, proponendo indirizzi operativi replicabili su scala nazionale. Su questi temi si è concentrata anche la sessione tecnica del mattino, che ha visto un confronto serrato tra le strutture dell’Agenzia e i principali gestori nazionali, Autostrade per l’Italia, ANAS, RFI, Italferr, Autostrada del Brennero insieme a RemTech Expo e CTS Infratech/Ischia e Gruppo Fininc, in dialogo con la Struttura Tecnica di Missione del MIT, su monitoraggio, classificazione delle criticità e priorità manutentive, con attenzione alle interdipendenze tra reti stradali e ferroviarie, aree urbane e aree interne.

Nel pomeriggio il baricentro si è spostato invece sui processi e sul quadro delle responsabilità: dai procedimenti autorizzativi alle attività ispettive e di vigilanza di ANSFISA, fino al dialogo conclusivo tra autorità giudiziaria e comunità tecnica.

Il messaggio che arriva da Napoli è quindi chiaro: decisioni basate su conoscenza strutturata, supervisione sistematica e responsabilità definite, perché la sicurezza delle infrastrutture sia un bene quotidiano e non solo un tema di emergenza (Da: *Comunicato Stampa ANSFISA*, 13 novembre 2025).

Nazionale: Master Universitario di II Livello in Ingegneria delle Infrastrutture e dei Sistemi Ferroviari A.A. 2025/2026

Sono aperte le iscrizioni al Master di secondo livello in Ingegneria delle Infrastrutture e dei Sistemi Ferroviari, giunto alla sua ventunesima edizione (Fig. 9), la prima internazionale, interamente in lingua inglese, con lezioni tenute da docenti universitari

e aziendali provenienti da diversi paesi europei.

Le domande di ammissione dovranno essere presentate entro 31 gennaio 2026, esclusivamente online alla pagina web: <https://masteriisf.web.uniroma1.it/it/domanda-di-ammissione>.

Il Corso, promosso da Sapienza, Università di Roma in collaborazione con Alstom, ATAC, BPS Deployment, Fertramviaria, GCF (Generale Costruzioni Ferroviarie), STS, IDOM, Italo – Nuovo Trasporto Viaggiatori, Salcef Group, Siemens Mobility, Technital e Trenolab, si propone di realizzare un percorso formativo finalizzato ad un perfezionamento scientifico multidisciplinare nel campo dei trasporti ferroviari e dell'intera mobilità, con l'obiettivo di preparare tecnici di alto livello in grado di soddisfare le esigenze delle società ferroviarie e di ingegneria, dei centri di ricerca e delle imprese e industrie che operano nel settore.


Il Master è destinato ai laureati di secondo livello in Ingegneria, nelle classi di laurea riportate nel Bando. Possono presentare domanda di ammissione anche i laureandi che conseguiranno il titolo entro il 31 marzo 2026.

La selezione per l'ammissione al Master avverrà sulla base della valutazione dei titoli dei candidati e di una prova di accesso, volta a verificare le loro conoscenze tecniche, linguistiche (inglese) e capacità attitudinali. Saranno ammessi al Master un massimo di 35 allievi.

La quota di iscrizione al Master è di € 3.000,00. Le Aziende partner mettono a disposizione borse di studio da € 3.000,00 ai primi 10 candidati ammessi al Master, che frequenteranno in aula almeno il 75% delle ore di didattica.

Il Master richiede un impegno a tempo pieno per 7 mesi, da febbraio




SAPIENZA
 UNIVERSITÀ DI ROMA


Railway Infrastructure and Systems Engineering

Post-Master course - 2025/2026

<p>Objective To train, through a multidisciplinary programme of excellence, high-level professionals with a systemic vision of rail transport and mobility.</p> <p>Beneficiaries Graduates with a master's degree in engineering. Graduating students who will obtain their master's degree by 31 March 2026 may also apply for admission.</p>	<p>Course organisation 60 ECTS degree course consisting of:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ 12 teaching modules. 480 hours of lectures, seminars, project work and visits to railway facilities. Lectures are given by lecturers and managers from partner companies; ▶ 250 hours of internship included in the training programme; ▶ final discussion of the project developed during the internship.
--	---

To apply, please see the call for applications on the website: <https://masteriisf.web.uniroma1.it/en>
 Submit your application by **31 January 2026**. The registration fee is €3,000.00.

Candidates will participate in a selection process based on qualifications, technical and linguistic knowledge (English), aptitude skills.
 A maximum of 35 students will be admitted to the Post-Master's programme.
 Scholarships of €3,000.00 will be awarded to the best 10 students admitted to the Post-Master's programme who attend at least 75% of the teaching hours in the classroom.
 Location and duration: Rome, February to October 2026.













Figura 9 – La locandina dell'evento.

a giugno 2026 per lezioni, lavori di gruppo e visite didattiche, da luglio a settembre per l'attività di stage; mentre la prova finale, con discussione del progetto elaborato durante il periodo di stage, è prevista nel mese di ottobre 2026.

Per ulteriori informazioni è possibile consultare il Bando sul sito web del Master (<https://masteriisf.web.uniroma1.it/it>) e scrivere all'indirizzo e-mail master_iisf@uniroma1.it (Da: *Comunicato Stampa Segreteria Master IISF*, 24 novembre 2025).

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

Notizie dall'estero *News from foreign countries*

Massimiliano BRUNER

TRASPORTI SU ROTAIA *RAILWAY TRANSPORTATION*

Egitto: il treno ad alta velocità Velaro al TransMEA 2025

Siemens Mobility ha raggiunto traguardi importanti nel percorso di trasformazione ferroviaria dell'Egitto, collegando milioni di egiziani in tutto il Paese con un servizio ferroviario veloce, affidabile e sostenibile. In occasione dell'inaugurazione ufficiale di TransMEA 2025, la principale fiera regionale dedicata ai trasporti e alla logistica in Medio Oriente e Africa, Siemens Mobility ha presentato per la prima volta al pubblico egiziano il treno ad alta velocità Velaro nell'area espositiva esterna (Fig. 1). Il treno ad alta velocità tecnologicamente avanzato, appositamente adattato alle condizioni desertiche dell'Egitto, raggiunge velocità fino a 250 km/h e offre posti a sedere per 489 passeggeri. Lo stesso giorno, il treno regionale Desiro HC ha completato con successo la sua prima corsa su binari di nuova costruzione nei pressi del Deposito del 6 ottobre, a ovest del Cairo. La sua messa in servizio è prevista per la Linea Verde, una rete di 660 km che collega il Cairo ad Ain Sokhna, Alessandria e Marsa Matrouh, spesso definita il "Canale di Suez su rotaie".

Entrambi i traguardi sono stati celebrati dal Primo Ministro egiziano M. MADBOULY, dal Vice Primo Ministro per lo Sviluppo Industriale e Ministro dei Trasporti e dell'Industria K. EL-WAZIR, dal Presidente e CEO di Siemens AG R. BUSCH, dal CEO di Siemens Mobility M. PETER e da altri ospiti illustri.

Questi traguardi sottolineano la

coraggiosa visione dell'Egitto di costruire una delle più grandi reti ferroviarie ad alta velocità al mondo e sottolineano l'impegno di Siemens Mobility nel fornire soluzioni di trasporto completamente integrate e sostenibili, adattate all'ambiente unico dell'Egitto. La rete ferroviaria ad alta velocità è in fase di sviluppo in collaborazione con Arab Contractors e Orascom Construction.

S.E. Il Tenente Generale Ingegnere K. EL-WAZIR, Vice Primo Ministro per lo Sviluppo Industriale e Ministro dei Trasporti e dell'Industria, ha commentato: "La corsa inaugurale del treno regionale Desiro e l'arrivo del Velaro segnano un momento decisivo nella strategia di modernizzazione dei trasporti egiziani. Questo

progetto ferroviario ad alta velocità contribuirà a ridefinire l'esperienza dei passeggeri, ridurre i tempi di percorrenza e migliorare la connettività tra le città. Riflette il nostro impegno nella costruzione di una rete ferroviaria moderna, sicura e sostenibile al servizio della nostra popolazione e a sostegno della crescita economica dell'Egitto per le generazioni future."

R. BUSCH, Presidente e CEO di Siemens AG, ha dichiarato: "Stiamo assistendo alla nascita del futuro della mobilità in Egitto. Il debutto pubblico del nostro treno ad alta velocità è un impegno nel fornire tecnologie di livello mondiale e nel sostenere la visione dell'Egitto per una mobilità sostenibile e una crescita economica. Insieme ai nostri partner, siamo orgogliosi di contribuire alla costruzione della nuova rete ferroviaria ad alta velocità egiziana, che presto diventerà la sesta più grande al mondo, collegando milioni di egiziani in tutto il Paese e trasformando la mobilità per le generazioni future".

Il modello avanzato di treno ad alta velocità Velaro di Siemens Mobility fa parte del sistema ferroviario ad alta velocità chiavi in mano in fase



(Fonte – Source: Siemens Mobility)

Figura 1 – Il Primo Ministro egiziano M. MADBOULY, il Vice Primo Ministro per lo Sviluppo Industriale e Ministro dei Trasporti e dell'Industria K. EL-WAZIR, il Presidente e CEO di Siemens AG R. BUSCH, il CEO di Siemens Mobility M. PETER hanno assistito all'inaugurazione del treno ad alta velocità Velaro; il treno regionale Desiro HC ha completato con successo la sua prima corsa; l'Egitto sta costruendo la sesta rete ferroviaria ad alta velocità più grande del mondo, stabilendo nuovi standard per la mobilità e la connettività.

Figure 1 – Egypt's Prime Minister M. MADBOULY, Deputy Prime Minister for Industrial Development and Minister of Transport and Industry K. EL-WAZIR, Siemens AG President and CEO R. BUSCH, Siemens Mobility CEO M. PETER witnessed the unveiling of the Velaro high-speed train; the Desiro HC regional train successfully completed its first train run; Egypt building the world's sixth largest high-speed rail network, setting new standards for mobility and connectivity.

di implementazione in Egitto. Grazie a decenni di esperienza globale, Siemens Mobility ha costruito il Velaro per resistere alle difficili condizioni ambientali dei deserti egiziani. Utilizzando gli strumenti avanzati di Altair che potenziano il gemello digitale, Siemens Mobility ha ottimizzato il design del treno per ottenere le massime prestazioni e durata. Il Velaro integra tecnologie all'avanguardia per contrastare gli effetti di sabbia, calore e polvere, supportate da robusti sistemi di filtraggio e da un sistema di raffreddamento potenziato, garantendo affidabilità e comfort per i passeggeri anche in climi estremi.

Il treno regionale ad alta capacità Desiro di Siemens Mobility è un elemento chiave della nuova rete ferroviaria ad alta velocità egiziana, con 94 treni destinati a fornire un trasporto regionale efficiente e confortevole. Appositamente adattato al clima egiziano, ogni treno offre fino a 849 posti passeggeri e funzionalità avanzate come aria condizionata, protezione del treno con segnalamento ETCS Livello 2 e accesso per sedie a rotelle. Con una velocità massima di 160 km/h, il Desiro HC garantisce un servizio affidabile anche in condizioni difficili. La flotta svolgerà un ruolo fondamentale nel collegare le città, ridurre i tempi di percorrenza e supportare la visione dell'Egitto per una mobilità sostenibile.

Il treno regionale ad alta capacità Desiro di Siemens Mobility è un elemento chiave della nuova rete ferroviaria ad alta velocità egiziana, con 94 treni destinati a garantire un trasporto regionale efficiente e confortevole. Appositamente adattato al clima egiziano, ogni treno offre fino a 849 posti passeggeri e funzionalità avanzate come aria condizionata, protezione del treno con segnalamento ETCS Livello 2 e accesso per sedie a rotelle. Con una velocità massima di 160 km/h, il Desiro HC garantisce un servizio affidabile anche in condizioni difficili. La flotta svolgerà un ruolo fondamentale nel collegare le città, ridurre i tempi di percorrenza e supportare la visione egiziana di una mobilità sostenibile.

Il progetto ferroviario ad alta velocità egiziano, con le sue tre linee, si estenderà per oltre 2.000 km, collegando tutte le principali città e raggiungendo quasi il 90% della popolazione. Una volta completato, sarà la sesta rete ad alta velocità più grande al mondo, riducendo significativamente i tempi di percorrenza, diminuendo le emissioni di CO₂ e promuovendo lo sviluppo economico locale sostenibile. L'impegno di manutenzione quindicennale di Siemens Mobility copre l'intero parco ferroviario, inclusa la flotta della nuova rete ferroviaria ad alta velocità egiziana: 41 treni Velaro, 94 treni regionali Desiro ad alta capacità e 41 locomotive Vectron, garantendo l'eccellenza operativa a lungo termine. Questa rete avvicinerà persone e comunità, riducendo i tempi di percorrenza fino al 50% e offrendo a milioni di passeggeri viaggi più sicuri, affidabili e confortevoli (Da: *Comunicato Stampa Siemens Mobility*, 10 novembre 2025)

Egypt: Velaro High-Speed Train at TransMEA 2025

Siemens Mobility has reached major milestones in Egypt's rail transformation journey, connecting millions of Egyptian people across the country with fast, reliable, and sustainable rail service. At the official opening of TransMEA 2025, the region's leading exhibition for transportation and logistics in the Middle East and Africa, Siemens Mobility unveiled the Velaro high-speed train to the Egyptian public for the first time in the outdoor display area (Fig. 1). The technologically advanced high-speed train, specially adapted for Egypt's desert conditions, reaches speeds of up to 250 km/h and offers seating for 489 passengers. On the same day, the Desiro HC regional train successfully completed its first train run on newly constructed tracks near the 6th of October Depot, west of Cairo. Its commissioning is planned for the Green Line - a 660 km network connecting Cairo to Ain Sokhna, Alexandria, and Marsa Matrouh, often referred to as the "Suez Canal on Rails".

Both milestones were witnessed by Egypt's Prime Minister M. MADBOULY, Deputy Prime Minister for Industrial Development and Minister of Transport and Industry K. EL-WAZIR, Siemens AG President and CEO R. BUSCH, Siemens Mobility CEO M. PETER, and other distinguished guests.

These achievements underscore Egypt's bold vision to build one of the world's largest high-speed rail networks and highlight Siemens Mobility's commitment to delivering fully integrated, sustainable transportation solutions tailored to Egypt's unique environment. The high-speed rail network is being developed in partnership with Arab Contractors and Orascom Construction.

H.E. Lieutenant General Engineer K. EL-WAZIR, Deputy Prime Minister for Industrial Development and Minister of Transport and Industry, commented: "The inaugural ride of the Desiro regional train and the arrival of the Velaro marks a defining moment in Egypt's transport modernization strategy. This high-speed train project will help redefine passenger experience, reduce travel times, and boost connectivity between cities. It reflects our commitment to building a modern, safe, and sustainable rail network that serves our people and supports Egypt's economic growth for generations to come."

R. BUSCH, President and CEO of Siemens AG said: "We are witnessing the future of mobility in Egypt take shape. The public debut of our Velaro high-speed train at TransMEA and the first train run of the Desiro regional train are powerful symbols of progress and partnership. These milestones reflect our commitment to delivering world-class technology and supporting Egypt's vision for sustainable mobility and economic growth. Together with our partners, we are proud to help build Egypt's new high-speed rail network - soon the sixth largest in the world - connecting millions of Egyptian people across the country, and transforming mobility for generations to come."

Siemens Mobility's advanced high-speed train model the Velaro is part of the turnkey high-speed rail system

being implemented in Egypt. Drawing on decades of global experience, Siemens Mobility build the Velaro to withstand the harsh environment of Egypt's deserts. Using Altair's advanced tools enhancing the digital twin, Siemens Mobility optimized the train's design for maximum performance and durability. The Velaro incorporates cutting-edge technologies to counter the effects of sand, heat, and dust, supported by robust filtration systems and enhanced cooling, ensuring reliability and passenger comfort even in extreme climates.

The Siemens Mobility Desiro High-Capacity regional train is a key element of Egypt's new high-speed rail network, with 94 trains set to provide efficient and comfortable regional transport. Specially adapted for Egypt's climate, each train offers up to 849 passenger spaces and advanced features such as air conditioning, Signaling ETCS Level 2 train protection, and wheelchair access. With a top speed of 160 km/h, the Desiro HC ensures reliable service even under challenging conditions. The fleet will play a vital role in connecting cities, reducing travel times, and supporting Egypt's vision for sustainable mobility.

The Egypt high-speed rail project, with its three lines, will span over 2,000 km, connecting all the major cities and reaching nearly 90% of the population. Once complete, it will be the sixth-largest high-speed network in the world, significantly reducing travel times, cutting CO₂ emissions, and boosting sustainable local economic development.

Siemens Mobility's 15-year maintenance commitment covers the entire railway equipments including the fleet for Egypt's new high-speed rail network – 41 Velaro high-speed trains, 94 Desiro High-Capacity regional trains, and 41 Vectron locomotives – ensuring long-term operational excellence. This network will bring people and communities closer together, cutting travel times by up to 50% and offering millions of passengers safer, more reliable, and more comfortable journeys (From: Siemens Mobility Press Release, November 10th, 2025).

Regno Unito: supporto a SWR con la flotta Arterio

Alstom ha firmato un accordo di supporto tecnico e fornitura di ricambi (TSSSA) della durata di quattro anni e mezzo con South Western Railway (SWR) per supportare il funzionamento e le prestazioni dei suoi nuovi treni Arterio Classe 701 (Fig. 2).

Valutato 66 milioni di sterline (76 milioni di euro), il contratto fornirà supporto tecnico 24 ore su 24 a 750 veicoli Aventra, composti da 60 unità da dieci carrozze e 30 da cinque carrozze, in servizio sulle linee suburbane da Londra Waterloo. La fornitura da parte di Alstom sarà affidata a un team di quasi 40 persone provenienti sia dal deposito Traincare di Wimbledon di SWR che dal Centro Operativo Ferroviario (ROC) di Basingstoke di Network Rail.

Questo nuovo contratto prosegue la proficua collaborazione avviata nel 2017, a testimonianza del solido e positivo rapporto di lavoro instaurato tra Alstom e SWR negli ultimi otto anni.

“Questo nuovo accordo con South Western Railway segna una pietra

miliare significativa nella nostra partnership di lunga data. Siamo orgogliosi di continuare a supportare la flotta Arterio con la nostra competenza tecnica e le nostre capacità di manutenzione predittiva”, ha dichiarato S. HARVEY, Direttore Servizi per Regno Unito e Irlanda di Alstom.

Ha aggiunto: “Il nostro team dedicato si impegna a garantire che questi treni costruiti da Alstom offrano i più elevati standard di prestazioni e affidabilità per i passeggeri paganti di Londra e del sud-ovest dell'Inghilterra”.

In base all'accordo, Alstom fornirà anche ricambi per manutenzione leggera e pesante, garantendo che la flotta rimanga in condizioni ottimali. Un team di cinque ingegneri si concentrerà sull'acquisizione e l'analisi dei dati dai treni in servizio, consentendo la manutenzione predittiva e il miglioramento delle prestazioni.

“L'introduzione della flotta Arterio sta trasformando i viaggi dei clienti sulle tratte della nostra rete suburbana, con maggiore capacità e comfort. Mentre continuiamo l'implementazione della flotta, accogliamo con grande favore questo nuovo accordo con Alstom e il supporto tecnico e di



(Fonte - Source: Alstom)

Figura 2 – Treni Aventra Classe 701 South Western Railway Arterio alla stazione ferroviaria di Londra Waterloo.

Figure 2 - Aventra Class 701 South Western Railway Arterio trains at London Waterloo railway station.

manutenzione che fornirà nei prossimi anni”, ha dichiarato J. WALE, Responsabile della Distribuzione Flotta di South Western Railway.

La flotta Arterio rappresenta un importante aggiornamento per i clienti SWR, offrendo maggiore comfort, affidabilità ed efficienza. Progettata, ingegnerizzata, prodotta e testata presso lo stabilimento Alstom di Litchurch Lane a Derby, il nome Arterio riflette i suoi percorsi lungo le arterie della rete suburbana di SWR dalla capitale. Parte della famiglia di treni Aventra di Alstom, l'azienda ha prodotto 2.660 carrozze a Derby per i clienti di tutto il Regno Unito dal 2015, rendendolo il più grande programma di produzione di treni dell'ultima generazione.

“La nuova flotta Classe 701 sta già facendo una vera differenza per i passeggeri. Siamo lieti che il nostro partner di lunga data Alstom, con cui collaboriamo a stretto contatto, continuerà a occuparsi della manutenzione dei treni e a fornire un servizio eccellente ai passeggeri”, ha dichiarato M. SWINDELL, Amministratore Delegato di Rock Rail e proprietario dei treni.

Alstom supporta i clienti durante l'intero ciclo di vita dei propri asset con il più ampio portafoglio di soluzioni di servizi. I servizi di manutenzione di Alstom sono personalizzati in base alle esigenze dei clienti e ai requisiti operativi, dal supporto tecnico con ricambi alle soluzioni di manutenzione completamente esternalizzate. Alstom gestisce oltre 35.500 veicoli in tutto il mondo ed è un partner affidabile per la manutenzione di asset ferroviari propri e di terze parti (Da: *Comunicato Stampa Alstom*, 5 novembre 2025).

UK: support to SWR with Arterio fleet

Alstom has signed a four-and-a-half-year Technical Support and Spares Supply Agreement (TSSSA) with South Western Railway (SWR) to support the operation and performance of their new Class 701 Arterio trains (Fig. 2).

Valued at £66 million (€76 mil-

lion), the contract will provide round-the-clock technical support for 750 Aventra vehicles – comprising 60 ten-car and 30 five-car units – operating across suburban routes from London Waterloo. Alstom provision will be delivered by a team of almost 40 from both SWR's Wimbledon Traincare Depot and Network Rail's Basingstoke Rail Operations Centre (ROC).

This new contract continues the successful collaboration first established in 2017, reflecting the strong and positive working relationship forged between Alstom and SWR over the past eight years.

“This new agreement with South Western Railway marks a significant milestone in our long-standing partnership. We're proud to continue supporting the Arterio fleet with our technical expertise and predictive maintenance capabilities,” said S. HARVEY, Services Director UK and Ireland at Alstom.

He added: “Our dedicated team is committed to ensuring these Alstom-built trains deliver the highest standards of performance and reliability for fare-paying passengers across London and South West England.”

Under the agreement, Alstom will also supply heavy and light maintenance spares, ensuring the fleet remains in optimal condition. A team of five engineers will focus on data capture and analysis from trains in service, enabling predictive maintenance and performance improvements.

“The introduction of the Arterio fleet is transforming journeys for customers on routes across our suburban network with increased capacity and comfort. As we continue the rollout of the fleet, we warmly welcome this new agreement with Alstom, and the technical and maintenance support they will provide over the coming years,” said J. WALE, Head of Fleet Delivery at South Western Railway.

The Arterio fleet represents a major upgrade for SWR customers, offering enhanced comfort, reliability and efficiency. Designed, engineered, manufactured and tested at Alstom's Litchurch Lane Works in Derby, the name – Arterio – reflects their routes along the ar-

teries of SWR's suburban network from the capital. Part of Alstom's Aventra family of trains, the company has produced 2,660 cars in Derby for customers across the UK since 2015 – making it the biggest train manufacturing programme in a generation.

“The new Class 701 fleet is already making a real difference for the passengers. We are delighted that our long term partner Alstom, with whom we work very closely, will be continuing to maintain the trains and provide an excellent service to passengers,” said M. SWINDELL, Chief Executive Officer at Rock Rail, and who own the trains.

Alstom is the market leader in rail services, supporting customers over the entire asset lifecycle with the broadest portfolio of services solutions. Alstom's maintenance services are tailored to customer needs and operational requirements, from technical support with spares to fully outsourced maintenance solutions. Alstom maintains over 35,500 vehicles worldwide and is a trusted partner for servicing both Alstom and non-Alstom rail assets (From: Alstom Press Release, November 5th, 2025).

TRASPORTI INTERMODALI INTERMODAL TRANSPORTATION

Arabia Saudita: il primo furgone elettrico verso la decarbonizzazione della logistica

• Introduzione

Sulla strada verso le emissioni zero, il leader globale della logistica A.P. Moller - Maersk (Maersk) e il gigante dei beni di consumo Unilever uniscono le forze per lanciare il loro primo furgone elettrico in Arabia Saudita. Questa iniziativa pionieristica rappresenta un'importante pietra miliare nella decarbonizzazione delle operazioni logistiche nel Regno, supportando gli obiettivi della Saudi Vision 2030 di ridurre le emissioni di carbonio di 278 milioni di tonnellate all'anno e aumentare l'utilizzo di energie rinnovabili al 50%.

Questo lancio è l'inizio di una tra-

sformazione più ampia. Entrambe le aziende mirano a estendere la mobilità elettrica a tutte le attività saudite e a esplorare ulteriori innovazioni (Fig. 3), tra cui soluzioni di stoccaggio a energia solare e di trasporto intermodale.

- Promuovere la decarbonizzazione a Jeddah

Il furgone elettrico servirà esclusivamente il Gruppo BinDawood, uno dei principali partner commerciali di Unilever, che opera entro un raggio di 50 km e percorre fino a 3.500 km al mese. Questa implementazione segue il successo del consolidamento dei magazzini di Unilever e Maersk in un unico centro logistico presso il Maersk Logistics Park di Jeddah, che ha già portato a una riduzione delle emissioni del 5%. Questa riduzione è resa possibile dalla solida infrastruttura di sostenibilità del Parco, che include un impianto solare di 64.000 mq sul tetto e un sistema di raffreddamento avanzato che utilizza refrigerante naturale (ammoniaca) e acqua di mare al posto dell'acqua potabile.

- Partnership per un Valore Sostenibile

L'iniziativa dimostra la forza della partnership tra Maersk e Unilever, con entrambe le aziende che collaborano alla preparazione delle infrastrutture, alla pianificazione operativa e al coinvolgimento degli stakeholder per garantire un'implementazione di successo.

Maersk offre attualmente soluzioni di trasporto a basse emissioni in oltre 14 paesi in tutto il mondo, tra cui Cina, India, Stati Uniti, Brasile, Cile, Perù e diversi paesi europei. L'azienda si impegna a raggiungere emissioni nette pari a zero entro il 2040 lungo l'intera catena di fornitura attraverso nuove tecnologie, soluzioni energetiche alternative e strette partnership con clienti e fornitori. Nell'ambito dell'impegno di Unilever per raggiungere l'obiettivo di zero emissioni nette lungo tutta la catena del valore entro il 2039, l'azienda sta implementando misure volte a ridurre le emissioni di gas serra della propria rete logistica



(Fonte - Source: Maersk)

Figura 3 – Il furgone elettrico contribuirà alla riduzione delle emissioni presso il Maersk Logistics Park, che vanta un impianto solare sul tetto di 64.000 mq e un sistema di raffreddamento avanzato.

Figure 3 – The electric van will supplement emissions reduction at Maersk's Logistics Park that boasts a 64,000 sq. m rooftop solar plant and an advanced cooling system.

fino al 50% entro il 2030. Un pilastro fondamentale di questa strategia è la transizione ai veicoli elettrici, che rafforza l'impegno di Maersk e Unilever nel costruire un futuro più sostenibile.

- Nota per il lettore: informazioni su Maersk

A.P. Moller - Maersk è un'azienda di logistica integrata che si impegna a connettere e semplificare le supply chain dei propri clienti. Leader mondiale nei servizi logistici, l'azienda opera in oltre 130 paesi e impiega circa 100.000 persone. Maersk punta a raggiungere zero emissioni nette di gas serra entro il 2040 in tutte le sue attività grazie a nuove tecnologie, nuove navi e carburanti a ridotte emissioni di gas serra (Maersk definisce "carburanti a ridotte emissioni di gas serra" i carburanti con una riduzione di almeno il 65% delle emissioni di gas serra lungo l'intero ciclo di vita rispetto ai combustibili fossili, pari a 94 g CO₂e/MJ).

- Nota per il lettore: informazioni su Unilever

Unilever è uno dei principali fornitori mondiali di prodotti per la bellezza e il benessere, la cura della persona, la cura della casa, l'alimen-

tazione e il gelato, con vendite in oltre 190 paesi e prodotti utilizzati da 3,4 miliardi di persone ogni giorno. Abbiamo 128.000 dipendenti e abbiamo generato un fatturato di 60,8 miliardi di euro nel 2024 (Da: Comunicato Stampa Maersk, 7 novembre 2025).

Saudi Arabia: first electric van towards decarbonising logistics

- Intro

On the road to zero emissions, global logistics leader A.P. Moller - Maersk (Maersk) and consumer goods giant Unilever are joining forces to launch their first electric van in Saudi Arabia. This pioneering initiative is an important milestone in decarbonising logistics operations in the Kingdom, supporting Saudi Vision 2030 objectives to reduce carbon emissions by 278 million tonnes annually and increase renewable energy usage to 50%.

This launch is the beginning of a broader transformation. Both companies aim to scale electric mobility across Saudi operations and explore additional innovations (Fig. 3), including solar-powered warehousing and intermodal transport solutions.

- Driving Decarbonisation in Jeddah

The electric van will exclusively serve the BinDawood Group, one of Unilever's key retail partners, operating within a 50 km radius and covering up to 3,500 km per month. This deployment follows Unilever and Maersk's successful consolidation of warehouses into a single fulfilment centre at Maersk's Logistics Park in Jeddah, already delivering a 5% emissions reduction. This reduction is enabled by the Park's strong sustainability infrastructure, including a 64,000 sqm rooftop solar plant and an advanced cooling system using natural refrigerant (Ammonia) and seawater instead of potable water.

- **Partnership for Sustainable Value**

The initiative showcases the strength of the Maersk-Unilever partnership, with both companies working collaboratively on infrastructure readiness, operational planning, and stakeholder engagement to ensure successful implementation.

Maersk currently offers low-emission trucking solutions in more than 14 countries globally, including China, India, the USA, Brazil, Chile, Peru, and several European countries. The company is committed to reaching net-zero emissions by 2040 across the entire supply chain through new technologies, alternative energy solutions, and close partnerships with customers and vendors. As part of Unilever's commitment to achieving net zero across the value chain by 2039, the company is implementing measures designed to reduce greenhouse gas emissions from their logistics network by up to 50% by 2030. A key pillar of this strategy is the transition to electric vehicles, reinforcing Maersk and Unilever's dedication to building a more sustainable future.

- **Note for the reader: about Maersk**

A.P. Moller - Maersk is an integrated logistics company working to connect and simplify its customers' supply chains. As a global leader in logistics services, the company operates in more than 130 countries and employs around 100,000 people. Maersk is aiming to reach net zero GHG emissions by 2040 across the entire business with

new technologies, new vessels, and reduced GHG emissions fuels (Maersk defines "reduced GHG emissions fuels" as fuels with at least 65% reductions in GHG emissions on a lifecycle basis compared to fossil of 94 g CO_{2e}/MJ).

- **Note for the reader: about Unilever**

Unilever is one of the world's leading suppliers of Beauty & Wellbeing, Personal Care, Home Care, Foods and Ice Cream products, with sales in over 190 countries and products used by 3.4 billion people every day. We have 128,000 employees and generated sales of €60.8 billion in 2024 (From: Maersk Press Release, November 7th, 2025).

TRASPORTI URBANI URBAN TRANSPORTATION

Canada: messa in servizio di altri 33 km della metropolitana Réseau express a Montreal

Alstom ha partecipato all'inaugurazione della diramazione nord del Réseau express métropolitain (REM) da parte di La Caisse e CDPQ Infra, estendendo questo sistema ferroviario urbano automatizzato dalla Stazione Centrale di Montréal al comune di Deux-Montagnes, sulla riva nord dell'area metropolitana (Fig. 4).

La diramazione aprirà al pubblico il 17 novembre, aggiungendo 14 nuove stazioni e 2 collegamenti alla metropolitana sotterranea. L'ampliamento aggiunge 33 km alla rete, portando la lunghezza totale del sistema a 50 km. Il sistema ampliato ora collega sia la riva nord che quella sud al centro città. La diramazione della riva sud, inaugurata nel 2023, collega Brossard alla Stazione Centrale.

La diramazione della riva nord offrirà un'esperienza di viaggio moderna, affidabile, sicura e ad alta frequenza ai residenti di Montréal e della riva nord, attraversando il Monte Royal in tempi record per raggiungere il centro città.

Alstom ha fornito a REM un sistema metropolitano completamente automatizzato e senza conducente, completo di materiale rotabile e

segnalamento. L'azienda partecipa inoltre alla gestione e alla manutenzione del sistema pianificato di 67 km per 30 anni tramite Pulsar, una joint venture creata da Alstom e AtkinsRéalis.

Questo sistema di livello mondiale comprende 212 carrozze della metropolitana Alstom Metropolis (106 convogli a due carrozze), la soluzione Urbalis GoA4 di Alstom (il più alto livello di automazione sul mercato) per il funzionamento senza conducente e il controllo dei treni basato su CBTC, la soluzione di controllo Urbalis Vision, porte di banchina, connettività Wi-Fi a bordo e sicurezza informatica. Alstom ha inoltre fornito apparecchiature per due depositi e due impianti di lavaggio treni. I team di manutenzione REM utilizzano la piattaforma digitale HealthHub di Alstom, uno strumento di manutenzione predittiva che monitora lo stato di salute della flotta ferroviaria e dell'infrastruttura in tempo reale, sfruttando l'intelligenza artificiale per analizzare tutti i dati acquisiti nel sistema ferroviario.

Una volta completata, la REM sarà una delle reti di trasporto automatizzate più grandi e avanzate al mondo, con 26 stazioni che si estendono per 67 chilometri e collegheranno il centro di Montréal alla South Shore, alla North Shore, alla West Island e all'aeroporto internazionale di Montréal-Trudeau.

M. KEROUILLÉ, Presidente e CEO di Alstom nelle Americhe, ha dichiarato: "Siamo molto orgogliosi del lavoro svolto dai nostri talentuosi dipendenti, in collaborazione con i nostri partner, per la messa in servizio di questa nuova tratta della REM. Questa nuova tratta, che offre un sistema metropolitano all'avanguardia, completamente elettrico, automatizzato e ad alta frequenza, trasformerà la vita di migliaia di residenti di Montréal e della sua North Shore che viaggiano quotidianamente, consentendo loro di farlo in modo efficiente, comodo e sicuro. Più specificamente, questa estensione permetterà loro di attraversare il Monte Royal in meno di tre minuti: una novità assoluta! Con la



(Fonte - Source: Alstom)

Figura 4 – Questo sistema di livello mondiale comprende 212 carrozze della metropolitana Alstom Metropolis.

Figure 4 – This world-class system includes 212 Alstom Metropolis metro cars.

REM, Alstom presenta la sua gamma completa di tecnologie urbane, evidenziando la sua competenza locale e globale nella mobilità sostenibile e intelligente”.

Con il loro design e le loro caratteristiche uniche, le carrozze Metropolis di REM riflettono e traggono ispirazione dal paesaggio e dalla storia di Montreal, offrendo ai passeggeri una finestra unica sulla loro città.

Alstom impiega oltre 2.000 persone in Quebec, con la sede centrale americana a Saint-Bruno-de-Montarville, Québec. Alstom, unico produttore ferroviario in Canada, fornisce materiale rotabile, soluzioni di segnalamento, servizi completi di gestione e manutenzione, infrastrutture e sistemi chiavi in mano, in particolare per il progetto REM di Montreal, la Société de transport de Montréal ed exo, nonché per le principali città e reti ferroviarie in tutto il Canada.

ALSTOM™, Metropolis™, Urbalis™, Urbalis Vision™ e HealthHub™ sono marchi registrati del Gruppo Alstom (Da: Comunicato Stampa Alstom, 14 novembre 2025).

Canada: commissioning of an additional 33 km of the Réseau express métropolitain in Montreal

Alstom took part in the inauguration of the northern branch of the Réseau express métropolitain (REM) by

La Caisse and CDPQ Infra, extending this automated urban rail system from Montreal's Central Station to the municipality of Deux-Montagnes on the North Shore of the metropolitan area (Fig. 4).

The branch will open to the public on 17 November, adding 14 new stations and 2 connections to the underground metro. The expansion adds 33 km to the network, bringing the total system to 50 km. The expanded system now connects both the North and South Shores to downtown. The South Shore branch, which opened in 2023, connects Brossard and Central Station.

The North Shore branch will offer a modern, reliable, safe, and high-frequency travel experience to residents of Montreal and the North Shore, crossing Mount Royal in record time to reach downtown.

Alstom has provided REM with a fully automated, driverless metro system, including rolling stock and signalling. The company also participates to the operation and maintenance of the planned 67 km system for 30 years via Pulsar, a joint venture created by Alstom and AtkinsRéalis.

This world-class system includes 212 Alstom Metropolis metro cars (106 two-car trainsets), Alstom's Urbalis GoA4 solution (the highest level of automation on the market) for driverless operation and CBTC-based train

control, the Urbalis Vision control center solution, platform screen doors, onboard Wi-Fi connectivity, and cybersecurity. Alstom has also delivered equipment for two depots and two train washing facilities. REM maintenance teams use Alstom's HealthHub digital platform, a predictive maintenance tool that monitors the health of the train fleet and infrastructure in real time, leveraging AI to analyze all data captured across the rail system.

Once completed, REM will be one of the largest, most advanced automated transport networks in the world, with 26 stations spanning 67 km, connecting downtown Montreal to the South Shore, North Shore, West Island, and Montreal-Trudeau International Airport.

M. KEROULLÉ, President and CEO of Alstom in the Americas, stated: “We are very proud of the work accomplished by our talented employees, in collaboration with our partners, to commission this new branch of the REM. This new section, which offers a state-of-the-art, fully electric, automated, and high-frequency metro system, will transform the lives of thousands of residents of Montreal and its North Shore who travel daily, enabling them to do so efficiently, comfortably, and safely. More specifically, this extension will allow them to cross Mount Royal in less than three minutes – a first! With the REM, Alstom is showcasing its full range of urban technologies, highlighting both its local and global expertise in sustainable and smart mobility.”

With their unique design and features, REM's Metropolis cars reflect and draw inspiration from Montreal's landscape and history, offering passengers a unique window on their city.

Alstom employs more than 2,000 people in Quebec, with its Americas headquarters located in Saint-Bruno-de-Montarville, Québec. Alstom, the only rail manufacturer in Canada, provides rolling stock, signaling solutions, full operations and maintenance services, infrastructure, and turnkey systems — notably for Montreal's REM project, the Société de transport de Montréal, and exo, as well as major cities and rail networks across Canada.

ALSTOM™, Metropolis™, Urbalis™, Urbalis Vision™ and HealthHub™ are protected trademarks of the Alstom Group (From: Alstom Press Release, November 14th, 2025).

INDUSTRIA MANUFACTURES

Svizzera: Siemens e FFS firmano un accordo quadro a lungo termine per la digitalizzazione degli apparati centrali svizzeri

Siemens Mobility e le Ferrovie Federali Svizzere (FFS) stanno promuovendo la digitalizzazione degli interlocking in Svizzera e hanno firmato un accordo quadro strategico che getta le basi per un sistema ferroviario più moderno ed efficiente (Fig. 5). Con la soluzione Signaling X, la logica degli interlockings viene trasferita in modo intelligente ai data center centrali, garantendo la digitalizzazione completa delle operazioni ferroviarie. L'obiettivo è aumentare la capacità operativa e creare un'infrastruttura di mobilità sostenibile e altamente efficiente. L'accordo quadro riguarda la costruzione di interlockings digitali, inclusi hardware e software, nonché servizi completi come sviluppo, formazione e supporto. L'accordo ha una durata iniziale di dieci anni e può essere prorogato tre volte per periodi di cinque anni ciascuno. Inoltre, i partner hanno concordato 25 anni di manutenzione per garantire un funzionamento fluido e affidabile. Durante il progetto, circa 500 interlockings saranno modernizzati e circa l'80% dei sistemi esistenti sarà sostituito nei prossimi 20 anni. La messa in servizio dei primi apparati di interlocking è prevista per il 2029. Nell'ambito dell'accordo, gli ordini per la fornitura di singoli apparati di interlocking saranno assegnati in modo continuativo.

M. PETER, CEO di Siemens Mobility GmbH: "Siamo lieti di dare forma al futuro del panorama ferroviario svizzero insieme alle FFS. Il cuore di questa trasformazione sono i sistemi di interlocking virtuali. Con Signa-

ling X, la logica di interlocking viene trasferita in modo intelligente ai data center centrali, digitalizzando l'esercizio ferroviario da zero. Questa tecnologia innovativa non solo aumenta significativamente la capacità e l'affidabilità della rete, ma contribuisce anche in modo decisivo agli obiettivi climatici delle FFS. Garantendo una disponibilità del sistema fino al 100%, contribuiamo al raggiungimento del nostro obiettivo comune: più treni in circolazione a intervalli più brevi per il trasporto passeggeri e merci in Svizzera."

Siemens Mobility è saldamente radicata in Svizzera da decenni con l'intera catena del valore ed è un partner consolidato delle Ferrovie Federali Svizzere (FFS). L'azienda ha dimostrato la propria competenza in numerosi progetti di messa in servizio nel campo della tecnologia di controllo e segnalamento, inclusi sistemi altamente complessi. I nostri esperti collaboratori locali coprono l'intero ciclo di vita di un progetto, inclusi sviluppo, pianificazione, produzione, assemblaggio, messa in servizio, supporto, gestione dell'obsolescenza

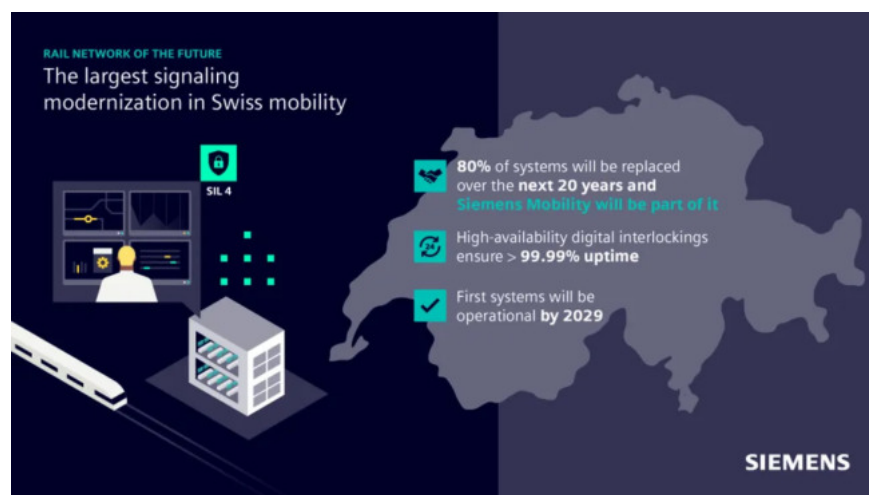
e logistica dei ricambi. Questa competenza completa è un fattore chiave per il successo della partnership a lungo termine con le FFS.

Siemens Mobility vanta inoltre un'ampia base installata presso le FFS e ha sviluppato un chiaro percorso di migrazione evolutiva per queste piattaforme verso l'architettura target. Questo approccio garantisce che l'infrastruttura esistente possa essere adattata in modo efficiente e sostenibile agli obiettivi futuri delle FFS. Siemens Mobility e le aziende che l'hanno preceduta hanno dimostrato negli ultimi 100 anni di saper adempiere con successo e affidabilità agli impegni a lungo termine.

La rete ferroviaria delle FFS si estende per 3.266 km, il che la rende la più grande rete a scartamento normale in Svizzera, utilizzata sia per il trasporto passeggeri che per quello merci.

- Nota per il lettore: Siemens Mobility

Siemens Mobility è una società di Siemens AG gestita separatamen-



(Fonte: Siemens Mobility)

Figura 5 – Contratto quadro per la costruzione di sistemi completi, inclusi software e hardware per gli interblocchi digitali; prima implementazione di Signaling X in Svizzera; contratto decennale con tre opzioni per estensioni quinquennali, più 25 anni di manutenzione e supporto, servizi Siemens completi che vanno dallo sviluppo alla formazione e alla manutenzione.

Figure 5 – Framework agreement for the construction of complete systems, including software and hardware for the digital interlockings; first implementation of Signaling X in Switzerland; ten-year contract with three options for five-year extensions, plus 25 years of maintenance and support, comprehensive Siemens services ranging from development to training and maintenance.

te. Siemens Mobility innova costantemente il proprio portfolio. Le sue aree principali includono materiale rotabile, automazione ferroviaria ed elettrificazione, un portafoglio software completo, sistemi chiavi in mano e servizi correlati. Con prodotti e soluzioni digitali, Siemens Mobility consente agli operatori della mobilità di tutto il mondo di rendere le infrastrutture intelligenti, aumentare il valore in modo sostenibile lungo l'intero ciclo di vita, migliorare l'esperienza dei passeggeri e garantire la disponibilità. Nell'esercizio 2024, conclusosi il 30 settembre 2024, Siemens Mobility ha registrato un fatturato di 11,4 miliardi di euro e ha impiegato circa 41.900 persone in tutto il mondo (Da: Comunicato Stampa FFS, 5 novembre 2025).

Switzerland: Siemens and SBB sign long-term framework agreement for the digitalization of Swiss interlockings

Siemens Mobility and Swiss Federal Railways (SBB) are driving the digitalization of interlockings in Switzerland and have signed a strategic framework agreement that provides the basis for a more modern and efficient rail system (Fig. X). With the Signaling X solution, interlocking logic is intelligently shifted to central data centers, ensuring that rail operations are digitalized from the ground up. The goal is to increase operational capacity and create a sustainable and highly efficient mobility infrastructure. The framework agreement covers the construction of digital interlockings, including hardware and software, as well as comprehensive services such as development, training, and support. The agreement has an initial term of ten years and can be extended three times for periods of five years each. In addition, the partners have agreed to 25 years of maintenance to ensure smooth and reliable operations. During the project, approximately 500 interlockings will be modernized and around 80 percent of the existing systems will be replaced over the next 20 years. Commissioning of the first interlockings is planned

for 2029. In the course of the agreement, orders for the delivery of individual interlockings will be awarded on an ongoing basis.

M. PETER, CEO Siemens Mobility GmbH: "We are delighted to be shaping the future of the Swiss railway landscape together with SBB. At the heart of this transformation are virtual interlocking systems. With Signaling X, interlocking logic is intelligently shifted to central data centers, digitalizing rail operations from the ground up. This groundbreaking technology not only significantly increases the network's capacity and reliability, but also decisively contributes to SBB's climate goals. By providing guaranteed system availability of up to 100 percent, we are helping to achieve our shared goal: more trains running at shorter intervals for passenger and freight transport in Switzerland."

Siemens Mobility has been firmly anchored in Switzerland for decades with its entire value chain and is a proven partner of Swiss Federal Railways (SBB). The company has demonstrated its expertise in a large number of commissioning projects in the field of control and signaling technology, including highly complex systems. Experienced local employees cover a project's entire lifecycle, including development, project planning, production, assembly, commissioning, support, obsolescence management, and spare parts logistics. This comprehensive expertise is a key success factor behind the long-term partnership with SBB.

Siemens Mobility also has a large installed base at SBB and has developed a clear evolutionary migration path for these platforms toward the target architecture. This approach ensures that the existing infrastructure can be efficiently and sustainably transitioned to SBB's future objectives. Siemens Mobility and its predecessor companies have proven over the past 100 years that they can successfully and reliably fulfill long-term commitments.

The SBB rail network covers 3,266 km, making it the largest standard-gauge network in Switzerland

used for both passenger and freight transport.

- Note for reader: Siemens Mobility

Siemens Mobility is a separately managed company of Siemens AG. Siemens Mobility is constantly innovating its portfolio. Its core areas include rolling stock, rail automation and electrification, a comprehensive software portfolio, turnkey systems as well as related services. With digital products and solutions, Siemens Mobility is enabling mobility operators worldwide to make infrastructure intelligent, increase value sustainably over the entire lifecycle, enhance passenger experience and guarantee availability. In fiscal year 2024, which ended on September 30, 2024, Siemens Mobility posted revenue of €11.4 billion and employed around 41,900 people worldwide (From: SBB Press Release, November 5th, 2025).

VARIE OTHERS

Cina: Air China Cargo diventa il nuovo cliente dell'aereo cargo Airbus A350F

Air China Cargo Co., Ltd. (di seguito denominata "Air China Cargo") ha firmato un contratto di acquisto per sei Airbus A350F, diventando il primo cliente a ordinare il nuovissimo A350F nella Cina continentale (Fig.6).

"L'introduzione dell'A350F nella nostra flotta cargo mista esistente contribuisce all'efficienza operativa e alla manutenzione. L'A350F migliorerà la capacità di Air China Cargo di resistere ai rischi garantendo la stabilità operativa a lungo termine", ha dichiarato W. HONGYAN, Vicepresidente di Air China Cargo.

"Siamo lieti di dare il benvenuto ad Air China Cargo come nuovo cliente dell'A350F. L'A350F offrirà efficienza e prestazioni di nuova generazione, nonché nuovi livelli di capacità e una flessibilità di carico senza precedenti. Non vediamo l'ora di garantire una perfetta integrazione nelle attività di Air China Cargo", ha dichiarato

B. DE SAINT-EXUPÉRY, Vicepresidente Esecutivo Vendite della divisione Aeromobili Commerciali di Airbus.

Air China Cargo, con sede a Pechino, è l'unica compagnia aerea cargo cinese a battere bandiera nazionale. Da giugno 2025, la compagnia aerea opera con aeromobili cargo nella Cina settentrionale, orientale, meridionale e sud-occidentale. Ha inoltre aperto 25 rotte cargo verso importanti regioni e città in tutto il mondo, tra cui Asia-Pacifico, Europa, Americhe e Medio Oriente. La rete dedicata al trasporto merci e passeggeri è ulteriormente integrata da oltre 1.500 rotte globali di trasporto terrestre.

Progettato per essere l'aereo cargo più avanzato al mondo, l'A350F è progettato per soddisfare le esigenze in continua evoluzione del mercato globale del trasporto aereo cargo (espresso, merci generiche, merci speciali, ecc.). Trasporterà fino a 111 tonnellate e coprirà un'autonomia di 8.700 km. Alimentato da motori Rolls-Royce Trent XWB-97, offrirà una riduzione fino al 40% del consumo di carburante e delle emissioni di CO₂ rispetto agli aeromobili della generazione precedente.

Realizzato con oltre il 70% di materiali avanzati, l'A350F sarà 46 tonnellate più leggero dei concorrenti e sarà dotato del portellone cargo del ponte principale più grande del settore. È l'unico aereo cargo a soddisfare pienamente gli standard ICAO sulle emissioni di CO₂ del 2027 e, al momento dell'entrata in servizio, avrà una capacità di abbattimento delle emissioni di CO₂ (SAF) del 50%, con l'obiettivo di raggiungere il 100% entro il 2030. Attualmente, a Tolosa è in corso l'assemblaggio degli aeromobili di prova.

Alla fine di ottobre 2025, la famiglia A350 widebody di ultima generazione aveva ricevuto 1.445 ordini da 63 clienti in tutto il mondo, di cui 74 per il nuovissimo A350F da 12 clienti (da: Comunicato stampa Airbus, 14 novembre 2025) (Da: Comunicato Stampa Airbus, 14 novembre 2025).



(Fonte - Source: Airbus)

Figura 6 – Aereo cargo Air China A350F.

Figure 6 – Air China Cargo A350F.

China: Air China Cargo becomes new Airbus A350F freighter customer

Air China Cargo Co., Ltd. (hereafter referred to as "Air China Cargo") has signed a purchase agreement for six Airbus A350F becoming the first customer to order the all-new A350F in the Chinese mainland (Fig. 6).

"The introduction of the A350F to our existing mixed cargo fleet contributes to efficiency in operation and maintenance. The A350F will enhance Air China Cargo's capability to withstand risks in its long-term stable operation", said W. HONGYAN, Vice President of Air China Cargo.

"We are delighted to welcome Air China Cargo as the latest customer for the A350F. The A350F will bring new generation efficiency and performance as well as new levels of capacity and unprecedented loading flexibility. We look forward to ensuring a seamless integration into Air China Cargo's operation", said B. DE SAINT-EXUPÉRY, Airbus EVP Sales of the Commercial Aircraft business.

Air China Cargo, headquartered in Beijing, is China's only cargo airline that carries the national flag. Since June 2025, the airline has been operating all cargo aircraft in North China, East China, South China, and Southwest China. It has also opened

25 all-cargo routes to major regions and cities around the world, including Asia-Pacific, Europe, the Americas and the Middle East. The airline's dedicated freighter and passenger belly network is further supplemented by more than 1,500 global ground trucking routes.

Engineered as the world's most advanced freighter aircraft, the A350F is designed to meet the evolving needs of the global air cargo market (Express, general cargo, special cargo, etc.). It will carry up to 111 tonnes and cover a range of 8,700 km. Powered by Rolls-Royce Trent XWB-97 engines, it will offer up to 40% reduction in fuel consumption and CO₂ emissions compared to previous generation aircraft.

Made of over 70% advanced materials, the A350F will be 46 tonnes lighter than competitors and will feature the industry's largest main deck cargo door. It is the only freighter fully meeting ICAO's 2027 CO₂ standards and by the time it enters service it will be 50% SAF capable, with a target for 100% by 2030. Currently, the assembly of test aircraft in Toulouse is underway.

At the end of October 2025, the latest generation widebody A350 Family had won 1,445 orders from 63 customers worldwide, including 74 for the all-new A350F from 12 customers (From: Airbus Press Release, November 14th, 2025)

IF Biblio

Arbra BARDHI, Ivan CUFARI, Massimiliano BRUNER

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 SEGNALEMENTO 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
- Esteri	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**; *Esteri* **€ 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.

	IF Biblio	Corpo stradale, gallerie, ponti, opere civile	1
	<p>351 <i>Effetti dei materiali cementizi riducibili dalle vibrazioni sulle risposte acustiche e strutturali degli edifici adiacenti ai sistemi ferroviari urbani: un approccio numerico</i> (Wu – Siyu – Pyo – Sukhoon) <i>Effects of Vibration-Reducible Cementitious Materials on the Acoustic and Structural Responses of Buildings Adjacent to Urban Railway Systems: A Numerical Approach</i> <i>International Journal of Concrete Structures and Materials</i>, Open Access, Volume 19, Numero 1, dicembre 2025, articolo numero 13.</p> <p>Alcuni studi hanno sviluppato diversi tipi di materiali da costruzione riducibili dalle vibrazioni. Tuttavia, nessuno studio esistente ha applicato questi materiali in un edificio per dimostrare la loro efficacia a livello strutturale. Inoltre, gran parte della ricerca correlata si è concentrata solo sulla misurazione della pressione sonora o dei livelli di vibrazione all'interno di edifici adiacenti ai sistemi ferroviari. Sebbene alcuni studi abbiano fornito metodi per prevedere la vibrazione di una struttura dell'edificio, non possono determinare contemporaneamente il livello di pressione sonora indotta dal treno. Pertanto,</p>	<p>questo studio ha utilizzato il modello di elementi finiti per simulare una struttura di edificio esistente per dimostrare l'efficacia di questo metodo. Sulla base della combinazione dei moduli di interazione acustica e solida nel metodo di analisi degli elementi finiti, sono stati stimati i livelli di vibrazione e suono di edifici basati su diversi tipi di materiali cementizi riducibili dalle vibrazioni [...]. <i>Some studies have developed different kinds of vibration-reducible construction materials. However, no existing study has applied these materials in a building to prove their effectiveness at a structural level. Besides, much of the related research has focused only on measuring sound pressure or vibration levels within buildings adjacent to railway systems. Although some studies have provided methods to predict the vibration of a building structure, they cannot determine the train-induced sound pressure level simultaneously. Therefore, this study used the finite element model to simulate an existing building structure to prove the effectiveness of this method. Based on the combination of the acoustic and solid interaction modules in the finite element analysis method, the vibration and sound levels of buildings based on different kinds of vibration-reducible cementitious materials were estimated using different models [...].</i></p>	

	IF Biblio	Politica ed economia dei trasporti, tariffe	27
	<p>181 <i>Sicurezza dei trasporti presso Hubs: affrontare le sfide chiave tra le modalità di trasporto</i> (O'KELLY – MORTON) <i>Transportation security at hubs: addressing key challenges across modes of transport</i> <i>Journal of Transportation Security</i>, Open Access, Volume 18, Numero 1, dicembre 2025, articolo numero 4.</p> <p>Questo documento esamina le vulnerabilità critiche nella sicurezza dei trasporti attraverso porti, autostrade, ferrovie e aviazione. Sottolinea le minacce chiave, tra cui attacchi informatici, terrorismo e debolezza delle infrastrutture sistemiche, dimostrando come le interruzioni nei hub di trasporto possano causare effetti a cascata sulle catene di approvvigionamento globali. L'analisi si concentra su cinque misure di difesa strategica: difesa in rete, protezione dell'hub, allocazione mirata delle risorse, anticipazione delle minacce asimmetriche e strategie incentrate sulla prevenzione. I risultati sottolineano la ne-</p>	<p>cessità di sforzi di sicurezza internazionali coordinati, tecnologie di monitoraggio avanzato e mitigazione proattiva del rischio. Il documento si conclude con raccomandazioni per migliorare i quadri di sicurezza informatica, una maggiore resilienza operativa e migliori considerazioni di fattori umani nella sicurezza dei trasporti. <i>This paper examines critical vulnerabilities in transportation security across ports, highways, railways, and aviation. It highlights key threats, including cyber-attacks, terrorism, and systemic infrastructure weaknesses, demonstrating how disruptions at transport hubs can cause cascading effects on global supply chains. The analysis focuses on five strategic defense measures: networked defense, hub protection, targeted resource allocation, asymmetrical threat anticipation, and prevention-focused strategies. Findings emphasize the necessity of coordinated international security efforts, advanced monitoring technologies, and proactive risk mitigation. The paper concludes with recommendations for improved cybersecurity frameworks, enhanced operational resilience, and better human-factor considerations in transportation security.</i></p>	



Accessori per cassette da CdB in MATERIALE PLASTICO

Accessori per cassette da CdB ideati, progettati e realizzati dalla nostra azienda sfruttando nuovi materiali per raggiungere proprietà migliorative.

- Peso decisamente ridotto rispetto ai prodotti attuali in cemento;
- Maggior stabilità del picchetto in condizioni di pietrisco, grazie allo storico supporto utilizzato per la messa in posa delle cassette da CdB;
- Maggior durata delle colorazioni nel corso degli anni grazie al materiale plastico PC colorato sottoposto a trattamento anti-UV che compone il picchetto di cui è formato e la verniciatura dello stesso con i colori indicati;
- Prezzo estremamente ridotto rispetto al prodotto in esercizio, grazie al materiale, al peso ridotto (trasporto, mezzi ecc.), manutenzione, e facilità di gestione.
- Migliore sicurezza in esercizio eliminando la presenza di rigidi ostacoli in CLS.

A. Picchetto indicatore per circuiti di binario CdB

È un segnale complementare costituito da un picchetto con testa a scalpello colorato per metà rosso e per metà giallo.



B. Copertura in plastica per picchetto indicatore in cemento da CdB.

C. In taluni casi, in sostituzione del picchetto viene colorato in giallo e rosso, e con lo stesso significato, la cassetta da CdB. La nostra azienda propone un **Raccordo Angolare** in materiale plastico colorato che viene inserito nella cassetta.



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

- 1.3.16 A. FUMI – “La gestione degli impianti elettrici ferroviari” € 35,00
- 1.3.17 U. ZEPPA – “Impianti di Sicurezza - Gestione guasti e lavori di manutenzione” € 30,00
- 1.3.18 N. TILI – 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 – “Infortuni: 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. OCCHIANA “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

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	6.61.	M. MORZIELLO "Sistema Ferroviario Italiano Alta Velocità" € 34,00
6.6.	E. PRINCIPE (ed. Veneta) – "Treni italiani con carrozze a due piani" € 28,00	6.64.	G. MAGENTA (ed. Gaspari) – "Un Mondo su rotaia" € 29,00
6.7.	E. PRINCIPE (ed. La Serenissima) – "Treni italiani Eurostar City Italia" € 35,00	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
6.8.	E. PRINCIPE – "Treni italiani - ETR 500 Frecciarossa" € 25,00	6.66.	P. MESSINA – "Ferrovie e Filobus nella Pubblicità" ... € 26,00
6.9.	V. FINZI (ed. Coedit) – "I miei 50 anni in ferrovia". € 20,00	6.67.	P. MESSINA – "Per Mare intorno all'Elba e verso il Continente – Traghetti, imbarcazioni e navi da crociera" € 23,00
6.10.	E. PRINCIPE (ed. Veneta) – "Le carrozze dei nuovi treni di Trenitalia" € 24,00	6.68.	P. MESSINA – "I Trasporti all'Elba" € 28,00
6.11.	R. MARINI (ed. Plasser & Theurer - Plasser Italiana). "Treni nel Mondo" € 30,00		
6.12.	A. BUSSI (ed. Luigi Pellegrini Editore) "Due Vite,		

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, metallurgica, 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 POGGIO 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, metallurgica,
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 protezione

ne dei beni e delle persone, e per l'efficientamento dei processi e dei servizi.

CANAVERA & AUDI S.p.A. – Regione Malone, 6 – 10070 CORIO (TO) – Tel. 011/928628 – Fax 011/9282709 – E-mail: canavera@canavera.com – www.canavera.com – Stampaggio a caldo particolari in acciaio fino a 200 kg – Lavorazioni meccaniche – Costruzione componenti per carri, carrozze, tram e metropolitane.

CEMBRE S.p.A. – Via Serenissima, 9 – 25135 BRESCIA – Tel. 030/36921 – (r.a. + Sel. pass.) – Fax 030/3365766 – E-mail: info@cembre.com – Produzione e commercio di: capicorda e connettori elettrici – Utensili per la compressione dei capicorda e connettori, tranciacavi e tranciacuni oleodinamici – Trapani adatti alla foratura di rotaie e di apparecchi del binario nelle applicazioni ferroviarie – Trapani per traverse in legno – Pandrolatrici – Avvitatori portatili – Troncatrici di rotaie.

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 pistoncini, 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 SEGNALE 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.

MICROELETTRICA 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 Sezinatori 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, sezinatori bipolari, quadri filtri, quadri misure – Produzione commutatori 3600 V 3000 A, sezinatori bipolari 3000 A, trasduttori di corrente, quadri di sezionamento 25 kV (52 kW) e sezinatori 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 piano 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 – Assiati 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 assiati 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.

SIRTEL S.r.l. – Via Taranto, 87A/10 – 74015 MARTINA FRANCA (TA) – Tel. 080/4834959 – E-mail: info@sirtel.it – www.sirtel.it – Lanterne portatili ricaricabili ad uso ferrotranviario con luce principale LED e segnalazione posteriore con corone LED ad elevata luminosità (fino a 3 diversi colori sulla stessa lanterna).

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 SEGNALEMENTO 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.spii.it – info@spii.it – Temporizzatori elettromeccanici, multifunzione e digitali – Programmatori elettromeccanici, 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 Sistemi 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: vaicar@vaicar.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 GMBH – Sales Office Italia – Via Alessandria, 91 – 00198 ROMA – Tel. 06/84241106 – Fax 06/96037869 – E-mail: Railwaysystems-Italia@voestalpine.com – www.voestalpine.com/railway-systems – Scambi ferroviari A.V., apparecchi di binario convenzionali e tranviari, cuscinetti autolubrificanti, piastre per controrotaia, casse di manovra ferroviarie e tranviarie – Sistemi diagnostici e monitoraggio per scambi e materiale rotabile – Rotaie Vignole, a gola, consulenza saldature, analisi LCC e service (rilievi usura e difettosità, fresatura profili in loco).

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.

ARMAMENTO FERROVIARIO – Ing. Marino CINQUEPALMI – Tel. 347/6766033 – E-mail: info@armamentoferroviario.com – www.armamentoferroviario.com – Rilievo dello stato dei luoghi con restituzione cartografica in coordinate rettilinee assolute e relative – Progettazione preliminare, definitiva, esecutiva, costruttiva dell'armamento in coordinate rettilinee assolute e relative – Redazione, valutazione computi metrici estimativi armamento – Redazione, valutazione fabbisogno materiali armamento – Redazione piani di manutenzione armamento – Redazione piani della qualità per lavori d'armamento – Correzione delle curve su base relativa con il metodo Hallade – Analisi di adeguamento delle infrastrutture ferroviarie alle STI "Infrastruttura" – Analisi di velocizzazione delle linee ferroviarie – Studi di fattibilità per nuove linee ferroviarie e stazioni – Project Management nei progetti di infrastrutture ferroviarie.

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 Minimet 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, Minimet, ISP, che integrano le parti mobili di SAPC Minimet 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@dataabtech.net - http://www.dataabtech.com/ - Shrail è una divisione di D&T, azienda che crea sofisticati simulatori per mezzi di trasporto (treni, tram, metro, filobus) e di apparati centrali. 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 (li-

nee 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.

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 dicembre 2025



ESSEN ITALIA

Sistemi integrati per il sostegno provvisorio del binario

Ponti ESSEN

Modularità e Flessibilità



ESSEN ITALIA promuove, sviluppa e impiega la tecnologia **"Ponti ESSEN"** per il sostegno provvisorio del binario in esercizio.

Maggiore velocità in sicurezza



Qualità e Sicurezza

Forte di un "curriculum" d'eccellenza, la tecnologia "Ponti ESSEN" garantisce, nelle sue diverse configurazioni di utilizzo, elevati standard di qualità e sicurezza all'esercizio ferroviario.



Soluzioni chiavi in mano





Costruzioni
Linee
Ferroviarie



Promofer
Safety Services

UNIFERR



dal 1945
il futuro viaggia
su binari sicuri



Strukton
Rail