IF Ingegneria Ferroviaria

COLLEGIO INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI

Anno LXXXI n. 9 Settembre 2026

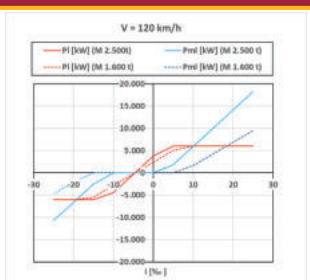
ISSN: 0020 - 0956

INGEGNERIA FERROVIARIA - Settembre 2026

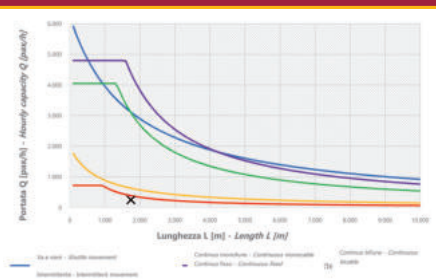
Poste Italiane S.p.A. - Spedizione in abbonamento postale - d.l. 353/2003 (conv. in l. 27/02/2004 n. 46) art. 1, comma 1 - DCB Roma



In questo numero
In this issue



Recupero di energia nei sistemi di trazione integrati con motori lineari
Energy recovery in traction systems integrated with linear motors



Supporto decisionale nella progettazione del trasporto a fune urbano
Decision support in engineering design of urban cable transport

I SOCI COLLETTIVI DEL COLLEGIO INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI

A.M.T. – GENOVA
A.N.I.A.F. – ASSOCIAZIONE NAZIONALE IMPRESE ARMAMENTO FERROVIARIO – ROMA
A.N.M. S.p.A. - NAPOLI
A.T.M. S.p.A. – MILANO
AET S.r.l. - NAPOLI
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
ALLEGRINI S.r.l. – ROMA
ALPINA S.p.A. - MILANO
ALSTOM FERROVIARIA S.p.A. – SAVIGLIANO (CN)
ALTEN ITALIA S.p.A. - MILANO
ANCEFERR – ROMA
ANGELSTAR S.r.l. - MOLA DI BARI (BA)
ANSFISA – FIRENZE
ANTFERR – ASS.NE NAZIONALE TECNOL. DEL SETTORE FERROVIARIO – ROMA
ARMAFER S.r.l. – LECCE
ARST S.p.A. TRASPORTI REGIONALI DELLA SARDEGNA – CAGLIARI
ASS.TRA – ASSOCIAZIONE TRASPORTI – ROMA
ASSIFER – ASSOCIAZIONE INDUSTRIE FERROVIARIE – MILANO
ASSIFIDI S.p.A. - ROMA
ASTRAL S.p.A. - ROMA
ATAC S.p.A. – ROMA
AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO ORIENTALE – TRIESTE
B. & C. PROJECT S.r.l. – SAN DONATO MILANESE (MI)
BITECNO S.r.l. - BOLOGNA
BONIFICA S.p.A. - ROMA
BONOMI EUGENIO S.p.A. – MONTICHIARI (BS)
BRESCIA INFRASTRUTTURE S.r.l. – BRESCIA
BRUNO S.r.l. - BRESCIA
BTP INFRASTRUTTURE - ROMA
BUREAU VERITAS ITALIA S.p.A. – MILANO
C.E.F.I. S.r.l. – NAPOLI
C.E.M.E.S. S.p.A. – PISA
C.L.F. COSTRUZIONI LINEE FERROVIARIE S.p.A. – BOLOGNA
C ENGINEERING S.r.l. - ARIANO IRPINO (AV)
CAD CONNECT S.a.s. DI SIMONE SPINACI - FANO (PU)
CAPTRAIN ITALIA S.r.l. – ASSAGO (MI)
CARROZZERIA NUOVA S. LEONARDO S.r.l. – SALERNO
CEMBRE S.p.A. – BRESCIA
CEPRINI COSTRUZIONI S.r.l. – ORVIETO (TR)
CIRCET ITALIA S.p.A. – SAN GIOVANNI TEATINO (CH)
COET S.r.l. – SAN DONATO MILANESE (MI)
COGESIRM S.r.l. - NAPOLI
COMESVIL S.p.A. – VILLARICCA (NA)
COMMEL S.r.l. – ROMA
CONSORZIO SATURNO – ROMA
CZ LOKO ITALIA S.r.l. – PORTO MANTOVANO (MN)
D&T S.r.l. – MILANO
D'ADDETTA S.p.A. – BERCETO (PR)
D'ADIUTORIO COSTRUZIONI S.p.A. – MONTORIO AL VOMANO (TE)
DINAZZANO PO' S.p.A. – REGGIO NELL'EMILIA
DITECFER – PISTOIA
DUCATI ENERGIA S.p.A. – BOLOGNA
DYNASTES S.r.l. – ROMA
ELEN MACHINES S.r.l. - ALBANO LAZIALE (RM)
E.LU.S. S.r.l. – VENEZIA MESTRE (VE)
EMMEFER S.r.l. – MONTEMILETTO (AV)
ENTE AUTONOMO VOLTURNO S.r.l. – NAPOLI
EREDI GIUSEPPE MERCURI S.p.A. – NAPOLI
ESERCIZIO RACCORDI FERROVIARI DI PORTO MARGHERA S.p.A. - VENEZIA
ESIM S.r.l. - BARI
ESIN S.p.A. - NAPOLI
ESPERIA S.r.l. - PAOLA (CS)
ETS SRL 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 SERVIZI AUTOMOBILISTICI - BARI
FERROVIE DELLO STATO S.p.A. – ROMA
FERROVIENORD S.p.A. - MILANO
FIBRE NET S.p.A. – PAVIA DI UDINE (UD)
FIDA S.r.l. – BRUGHERIO (MB)
FONDAZIONE FS ITALIANE – ROMA
FOR.FER S.r.l. – ROMA
FRAUSCHER SENSOR TECHNOLOGY GMBH – ZAGREB - CROATIA
G.B.M. COMPAGNIA FINANZIARIA COMMERCIALE S.P.A. - MILANO
G.C.F. GEN.LE COSTRUZIONI FERROVIARIE S.p.A. – ROMA
G.C.F.E. S.p.A. - SAN DONATO MILANESE (MI)
GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO BBT SE – BOLZANO
GECO S.r.l. – GALLIATE (NO)
GEISMAR ITALIA S.p.A. - POVIGLIO (RE)
GEMATICA S.r.l. - NAPOLI
GEOSEC S.r.l. - PARMA
GEOSINTESI S.p.A. – GOZZANO (NO)
GESTIONE GOVERNATIVA FERROVIA CIRCUMETNEA – ROMA
GETZNER WERKSTOFFE GmbH. - BÜRS - AUSTRIA
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.CE.P. S.p.A. - INDUSTRIA CEMENTI PREFABBRICATI - BUCCINO (SA)
IMAF S.r.l. - NAPOLI
IKOS CONSULTING ITALIA S.r.l - MILANO
IMPRESA LUIGI NOTARI S.p.A. - MILANO
IMPRESA SILVIO PIEROBON S.r.l. – BELLUNO
IMPRESA SIMEONE E FIGLI S.r.l. - NAPOLI
IN PROGRESS S.r.l. – CESA (CE)
INFRARAIL FIRENZE S.r.l. - FIRENZE
INFRASTRUTTURE VENETE S.r.l. – PIOVE DI SACCO (PD)
INRAIL S.p.A. - GENOVA
ISOLGOMMA S.r.l. – ALBETTONE (VI)
ITALCERTIFER S.p.A. – FIRENZE
ITALFERR S.p.A. – ROMA
ITALO – N.T.V. S.p.A. – MILANO
IVECOS S.p.A. – COLLE UMBERTO (TV)
KNORR-BREMSE RAIL SYSTEMS ITALIA S.r.l. – CAMPI BISENZIO (FI)
KRAIBURG STRAIL GMBH & CO KG – TITTMONING (GERMANIA)
LA FERROVIARIA ITALIANA S.p.A. – AREZZO
LATERLITE S.p.A. – MILANO
LEF S.r.l. – FIRENZE
LUCCHINI RS S.p.A. – LOVERE (BG)
M. PAVANI SEGNALAMENTO 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)
MEDIACOM S.r.l. – MARSALA (TP)
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
MONT–ELE S.r.l. – GIUSSANO (MI)
MORFU' S.r.l. – ROSSANO (CS)
MOSDORFER RAIL S.r.l. – RHO (MI)
NET INTEGRA CONSULTING S.r.l. – SCANDIANO (RE)
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)
RINA CONSULTING S.p.A. – GENOVA
ROMA METROPOLITANE S.r.l. - ROMA
R.F.I. S.p.A. – RETE FERROVIARIA ITALIANA – ROMA
S.I.C.E. – CHIUSI (SI)
S.I.I.P. S.r.l. - NAPOLI
S.T.A. S.p.A. – STRUTTURE TRASPORTO ALTO ADIGE – BOLZANO
S.TE.L S.r.l. - COLLESALVETTI (LI)
SADEL S.p.A. – CASTEL MAGGIORE (BO)
SAGA S.r.l. – RAVENNA (RA)
SAIPEM S.p.A. – MILANO
SALCEF GROUP S.p.A. – ROMA
SATFERR S.r.l. – FIDENZA (PR)
SCALA VIRGILIO & FIGLI S.p.A. – MONTEVARCHI (AR)
SCHAEFFLER ITALIA S.r.l. - NOVARA
SENAF S.r.l. - MILANO
SICURFERR S.r.l. – CASORIA (NA)
SIE-FER S.r.l. - MILITELLO IN VAL DI CATANIA (CT)
SIEMENS S.p.A. SETTORE TRASPORTI – MILANO
SILSUD S.r.l. – FERENTINO (FR)
SIMPRO S.p.A. – TORINO
SINERGO S.p.A. - BOLOGNA
SINTAGMA S.r.l. - SAN MARTINO IN CAMPO (PG)
SIRME S.r.l. – TORINO
SO.CO.FER S.p.A. - ROMA
SPEKTRA S.r.l. A TRIMBLE COMPANY – VIMERCATE (MB)
SPERI S.p.A. - ROMA
SPII S.p.A. – SARONNO (MI)
STUDIO TECHNE' S.r.l. - FIRENZE
SVECO S.p.A. – BORGO PIAVE (LT)
SVI S.p.A. - FIRENZE
SYSTRA S.p.A. - ROMA
T BRIDGE S.p.A. - GENOVA
T&T S.r.l. – NAPOLI
T.M.C. S.r.l. – TRANSPORTATION MANAGEMENT CONSULTANT – POMPEI (NA)
TE.SI.FER. S.r.l. – FIRENZE
TEAM ENGINEERING S.p.A. – ROMA
TEB S.p.A. - TRAMVIE ELETTRICHE BERGAMASCHE S.p.A. – RANICA (BG)
TECNOSISTEM S.p.A. - NAPOLI
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
TRENORD S.r.l. - MILANO
TRENITALIA S.p.A. – ROMA
TRENITALIA TPER – BOLOGNA
TRENTINO TRASPORTI S.p.A. – TRENTO
TTF S.r.l. – TECNOLOGIE TUNNEL FERROVIARI SRL – VADO LIGURE (SV)
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)
VALSECCHI ARMAMENTO FERROVIARIO S.r.l. – MILANO
VALTELLINA S.p.A. – GORLE (BG)
VI.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

COLLEGIO INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI

DOMANDA D'ASSOCIAZIONE PER SOCI COLLETTIVI AL COLLEGIO INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI

Via Giovanni Giolitti, 46 – Tel. 06-4882129 – fax 06-4742987
00185 ROMA - E-MAIL: *areasoci@cifi.it* - Sito Internet: *www.cifi.it*

- Il/La sottoscritto/a . . . . . .

Rappresentante della Società . . . . . .

Presa visione dello Statuto del **Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (C.I.F.I.)**, Associazione culturale senza scopi di lucro, e consapevole che la mancata disdetta alla **fine di ogni anno** comporta il tacito rinnovo, chiede di entrare a far parte del CIFI dell'Associazione in qualità di **Socio Collettivo**.

- Fa presente che sarà rappresentato/a da . . . . . .
e che le riviste **"Ingegneria Ferroviaria"**, **"La Tecnica Professionale"** ed eventuali comunicazioni scritte dovranno essere inviate al seguente indirizzo:

Via . . . . . C.A.P. . . . . .

Città (PR.) . . . . . .

☐ **Desidera ricevere le riviste "Ingegneria Ferroviaria" e "La Tecnica Professionale" on line anziché su cartaceo**

- Le comunicazioni del CIFI e una delle due copie della rivista IF devono essere inviate al seguente indirizzo di posta elettronica:

. . . . . .

- Si impegna a dare comunicazione immediata di eventuali variazioni di indirizzo e chiede di essere iscritto alla Sezione di . . . . . .
- La quota associativa di **€600.00** annuali deve essere versata con una delle seguenti modalità di pagamento:
  - ☐ Conto corrente postale n.**31569007** intestato a Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani – Via Giolitti Giovanni, 46 – 00185 Roma
  - ☐ 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
  - ☐ Carta di credito/prepagata sul sito ***www.cifi.it/shop/***

SCHEDA ANAGRAFICA

Ragione Sociale Ditta/Ente presso _____

Sede Centrale presso _____

E-mail - C.A.P _____

Telefono Ab. / Uff. / Mob _____

Codice Fiscale - Partita Iva _____

Ramo di Attività _____

DATI RAPPRESENTANTE SOCIETÀ O ENTE

Cognome e Nome _____

Luogo - Data di Nascita _____

Titolo di Studio _____

Conseguito presso - nell'anno _____

- **Il/La sottoscritto/a, ai sensi del D.Lgs 196/2003 e del Regolamento UE 2016/679 (GDPR), esprime il proprio consenso al trattamento dei dati personali rilasciati in data odierna per gli usi esclusivi delle attività interne del Collegio.**

- Data . . . . . .
- Firma . . . . . .

INDICE DEGLI ANNUNZI PUBBLICITARI

CIFI Servizi S.r.l. – Roma	I copertina
PLASTIROMA S.r.l. – Guidonia Montecelio (RM)	pagina 648
CLF – Costruzioni Linee Ferroviarie S.p.A. – Bologna	pagina 685
PLASSER Italiana S.r.l. – Velletri (RM)	pagina 686
ESSEN ITALIA S.p.A. – Roma	III copertina
"La rivoluzione con il ferro" - Claudio Cipollini, Giovanni Costa	IV copertina

CONDIZIONI DI ASSOCIAZIONE AL CIFI

QUOTE SOCIALI ANNO 2027

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

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

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

- ☐ Conto corrente postale n.31569007 intestato a Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani – Via Giolitti Giovanni, 46 – 00185 Roma specificando nella causale **quota associativa anno 2027** 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 2027** 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 FS ENGINEERING 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

IF Ingegneria Ferroviaria

RIVISTA DI TECNICA
ED ECONOMIA DEI TRASPORTI

TRANSPORTATION SCIENCE AND ECONOMY JOURNAL

ORGANO DEL COLLEGIO
INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI

Pubblicazione mensile - *Monthly issue*

Contatti - *Contacts*
Tel. 06.4742987
E-mail: redazioneif@cifi.it – notiziari.if@cifi.it – direttore.if@cifi.it

Servizio Pubblicità - *Advertising Service*
Roma: 06.47307819 – areasoci@cifi.it
Milano: 02.63712002 – 339.1220777 – segreteria@cifimilano.it

Direttore - *Editor in Chief*
Stefano RICCI

Vice Direttore - *Deputy Editor in Chief*
Valerio GIOVINE

Comitato di Redazione - *Editorial 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 PETRUCCELLI
Luca RIZZETTO
Stefano ROSSI
Dario ZANINELLI

Consulenti - *Consultants*
Giovannino CAPRIO
Paolo Enrico DEBARBIERI
Giorgio DIANA
Antonio LAGANÀ
Emilio MAESTRINI
Mauro MORETTI
Silvio RIZZOTTI
Giuseppe SCIUTTO

Redazione - *Editorial Staff*
Massimiliano BRUNER
Ivan CUFARI
Francesca 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 LXXXI | **Settembre 2026** | 9

Condizioni di Associazione al CIFI 622

RECUPERO DI ENERGIA NEI SISTEMI DI TRAZIONE AD ADERENZA INTEGRATI CON MOTORI LINEARI
ENERGY RECOVERY IN ADHESION TRACTION SYSTEMS INTEGRATED WITH LINEAR MOTORS
Arbra Bardhi
Valter Di Mario
Riccardo Licciardello
Gabriele Malavasi
Luca Rizzetto 625

METODOLOGIA LOGICA PER IL SUPPORTO DECISIONALE NELLA PROGETTAZIONE DEL TRASPORTO A FUNE URBANO
A LOGICAL METHODOLOGY FOR DECISION SUPPORT IN THE ENGINEERING DESIGN OF URBAN CABLE TRANSPORT
Andrea Mosca
Stefano Bazzolo 649

Vita del CIFI - Il CIFI Reggio Calabria in visita presso l'impianto Fotovoltaico a Saline Joniche – 7 luglio 2026 687

Notizie dall'interno 689

Notizie dall'estero
News from foreign countries 699

IF Biblio 711

Condizioni di Abbonamento a IF – Ingegneria Ferroviaria
Terms of subscription to IF – Ingegneria Ferroviaria 712

Elenco di tutte le Pubblicazioni CIFI 716

Fornitori di prodotti e servizi 718

La pubblicazione totale o parziale di articoli o disegni è permessa citando la fonte.
The total or partial reproduction of articles or figures is allowed providing the source citation.

LINEE GUIDA PER GLI AUTORI

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

La collaborazione è aperta a tutti.

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

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

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

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

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

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

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

GUIDELINES FOR THE AUTHORS

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

The collaboration is open to everyone.

The articles can be presented both in English and/or Italian language. The publication is anyway bilingual.

The admission of a paper does not imply acknowledgment or approval by the journal of theories and opinions presented by the Authors.

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

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

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

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

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

Recupero di energia nei sistemi di trazione ad aderenza integrati con motori lineari

Energy recovery in adhesion traction systems integrated with linear motors

Arbra Bardhi (*)
Valter Di Mario (**)
Riccardo Licciardello (*)
Gabriele Malavasi (***)
Luca Rizzetto (*)

(https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.09.2026.ART.1)

Sommario - Il presente studio ha lo scopo di analizzare i benefici in termini di recupero di energia, che si potrebbero ottenere trasformando le sottostazioni elettriche convenzionali (SSE) per renderle reversibili sia per i sistemi di trazione convenzionali sia per sistemi integrati con motori lineari. Vengono, inoltre, identificate le principali modifiche da apportare alle SSE convenzionali per renderle reversibili per entrambi i sistemi e suggerito un possibile schema di funzionamento di questa innovativa tipologia di SSE.

Come contributo ad una valutazione preliminare dell'efficacia delle innovazioni proposte è stata sviluppata una simulazione su una linea a forte pendenza percorsa in discesa da treni merci pesanti.

L'uso di sottostazioni elettriche reversibili consentirebbe il recupero di energia indipendentemente dalla presenza di altri treni.

L'utilizzo di motori lineari a supporto degli usuali motori ad aderenza consente di integrare la trazione nei tratti in salita e la frenatura elettrodinamica nei tratti in discesa.

I risultati teorici ottenuti consistono nella quantificazione, per un caso specifico, del potenziale risparmio energetico associato alle innovazioni analizzate, e costituiscono una base per la quantificazione dei benefici economici a supporto di future analisi tecnico-economiche più ampie.

1. Introduzione

La necessità di tendere verso sistemi ecosostenibili nel campo dei trasporti interessa anche il sistema ferroviario in cui l'energia elettrica utilizzata per la trazione, rispetto

Summary - *The present study analyses the energy recovery benefits that could be obtained by converting conventional electrical substations to make them reversible, both for conventional traction systems and for systems integrated with linear motors. The main substation modifications needed for the conversion are identified and a possible working scheme is suggested for the innovative reversible substation.*

To contribute useful elements for a preliminary assessment of the effectiveness, a simulation was developed on a steeply graded line travelled downhill by heavy freight trains.

The use of reversible electrical substations would enable energy recovery independently of the presence of other trains.

The use of linear motors in support of the usual adhesion motors would allow traction and braking force supplementation, respectively for steep uphill and downhill sections.

The theoretical results obtained are the quantification, for a specific case, of the innovations' energy saving potential, as a basis for the quantification of their economic benefits and in support of future broader technical-economical analyses.

1. Introduction

The need to move towards eco-sustainable systems in the transport sector also concerns the railway system, in which the electrical energy used for traction, compared with other forms of energy, is well suited to delivering the required power with high energy efficiency.

The analysis of the power actually used during real operation, and its quantification, provides useful elements for defining the design and management criteria to be used in theoretical models and operational choices aimed at maximising technical and economic efficiency.

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

(*) *Sapienza University of Rome.*
(**) *PhD.*
(***) *Sapienza University of Rome, retired.*

ad altri tipi di energia, si presta a rendere disponibile la potenza richiesta con un alto rendimento energetico.

L'analisi delle potenze effettivamente utilizzate durante l'esercizio reale e la loro quantificazione forniscono elementi utili per definire i criteri progettuali e gestionali da utilizzare nei modelli teorici e nelle scelte operative, finalizzate a massimizzare l'efficienza tecnica ed economica.

Il consumo di energia per trazione, l'uso della frenatura elettrodinamica sono stati argomenti di interesse e costantemente studiati dai ricercatori a partire dalle applicazioni dei motori elettrici nella trazione ferroviaria.

L'alimentazione elettrica per la trazione e le tecniche di conversione e trattamento delle grandezze elettriche hanno consentito di utilizzare in modo efficace tipologie diverse di motori rotanti, a corrente continua, a corrente alternata e sfruttarne i relativi vantaggi.

Il progetto di ricerca europeo "*Maglev-Derived Systems for Rail*" (MaDe4Rail) [20][21], concluso di recente, ha esplorato la possibilità di sfruttare le tecnologie derivate dai sistemi MagLev (Levitazione Magnetica) per applicazioni ai sistemi convenzionali. Il progetto si è posto il problema di verificare se le funzioni di guida magnetica, di levitazione magnetica e di propulsione magnetica potessero migliorare l'efficienza tecnica dei sistemi convenzionali.

Un ulteriore sviluppo, oggetto del presente studio, è quello di valutare la possibilità di potenziare le prestazioni di trazione mediante l'introduzione dei motori lineari in aggiunta alla trazione con motori rotanti.

Lo studio è limitato alla valutazione del contributo che può derivare dal punto di vista delle energie in gioco in particolari situazioni di esercizio, rinviando a specifici approfondimenti le problematiche relative alla effettiva applicabilità e compatibilità tecnica, alle valutazioni di efficienza tecnica, economica e gestionale ed agli aspetti prettamente trasportistici.

Attraverso i motori lineari si potrebbero superare i limiti posti dall'aderenza del contatto ruota-rotaia che condizionano in particolare la velocità di marcia e la massa dei treni merci pesanti: in presenza di elevate pendenze da superare in salita in genere si adottano composizioni dei treni con più locomotive.

La trazione ad aderenza prodotta da una singola locomotiva con motori rotanti potrebbe essere integrata con l'implementazione di motori lineari creando sistemi di trazione ibridi. Le sezioni della linea da attrezzare con il motore lineare potrebbero essere limitate a quelle in cui non è sufficiente la potenza fornita dalla locomotiva.

Nel percorso in discesa la frenatura elettrodinamica integrata dai motori lineari potrebbe contribuire al recupero di energia ed anche alla riduzione dell'uso di sistemi meccanici di frenatura.

Tuttavia l'utilizzazione della potenza elettrica recupe-

Energy consumption for traction and the use of electrodynamic braking have been subjects of interest, constantly studied by researchers since the first applications of electric motors in railway traction.

Electrical power supply for traction, together with techniques for converting and processing electrical quantities, has made it possible to effectively use different types of rotating motors – direct-current and alternating-current – and to exploit their respective advantages.

The recently concluded European research project "Maglev-Derived Systems for Rail" (MaDe4Rail) [20][21] explored the possibility of exploiting technologies derived from MagLev (Magnetic Levitation) systems for application to conventional systems. The project addressed the question of whether magnetic guidance, magnetic levitation and magnetic propulsion functions could improve the technical efficiency of conventional systems.

A further development, and the subject of the present study, is to assess the possibility of enhancing traction performance by introducing linear motors in addition to traction with rotating motors.

The study is limited to assessing the contribution that can be derived, from the standpoint of the energy involved, in particular operating conditions, leaving to specific in-depth studies the issues relating to actual applicability and technical compatibility, to assessments of technical, economic and managerial efficiency, and to strictly transport-related aspects.

Linear motors could make it possible to overcome the limits imposed by wheel–rail adhesion, which particularly affect running speed and the mass of heavy freight trains: where steep uphill gradients must be overcome, train formations with multiple locomotives are generally adopted.

Adhesion traction produced by a single locomotive with rotating motors could be integrated with the implementation of linear motors, creating hybrid traction systems. The sections of the line to be equipped with the linear motor could be limited to those where the power supplied by the locomotive is not sufficient.

On downhill sections, electrodynamic braking integrated with linear motors could contribute to energy recovery and also to reducing the use of mechanical braking systems.

However, the use of the recovered electrical power depends on the simultaneity between production and use.

The presence of trains that require power from the electrical substation (SSE) and of trains that supply power to the same SSE depends on the simultaneity of the traction and braking phases.

Such simultaneity is likely in high-frequency metropolitan services and on lines with short distances between stops [25].

On steeply graded lines travelled by heavy freight trains, downhill running may require holding braking to keep the speed constant over extended sections, and service braking to reduce speed and stop.

rata dipende dalla contemporaneità tra produzione e utilizzazione.

La presenza di treni che richiedono potenza alla sottostazione elettrica (SSE) e di treni che forniscono potenza alla stessa SSE dipende dalla contemporaneità delle fasi di trazione e frenatura.

Tale contemporaneità è probabile nei servizi metropolitani ad alta frequenza e su linee con ridotta distanza tra le fermate [25].

Sulle linee ad elevata pendenza percorse da treni merci pesanti, la marcia in discesa potrebbe richiedere una frenatura di trattenuta, per mantenere costante la velocità per tratti estesi, e la frenatura di rallentamento per la riduzione di velocità e l'arresto.

Se non si verificano le condizioni per il trasferimento di potenza da treno a treno l'energia corrispondente verrebbe dissipata tramite resistenze elettriche con possibili effetti termici sia sul veicolo sia sull'infrastruttura.

Un vantaggio si potrebbe ottenere se le SSE fossero in grado di ricevere energia e renderla disponibile per altre utenze o accumularla per utilizzarla in seguito. Il presente studio ha lo scopo di fornire elementi quantitativi relativamente al potenziale risparmio energetico ottenibile, in un caso specifico, conseguente alla trasformazione di SSE convenzionali in SSE reversibili sia per i sistemi di trazione convenzionali sia per sistemi integrati con motori lineari.

A tale scopo, è stata sviluppata una simulazione su una linea a forte pendenza percorsa in discesa da treni merci pesanti evidenziando le potenze e le energie in gioco.

2. Contesto scientifico di riferimento

2.1. Frenatura rigenerativa nei sistemi ferroviari: principi generali

La frenatura rigenerativa rappresenta uno dei meccanismi più promettenti per il miglioramento dell'efficienza energetica nei sistemi di trasporto su rotaia. Il principio fisico alla base di tale tecnologia consiste nella utilizzazione del motore elettrico di trazione come generatore di energie: durante la fase di frenatura, la macchina elettrica opera come generatore, convertendo l'energia cinetica (o potenziale, nel caso di percorsi in discesa) del convoglio in energia elettrica, che viene reimmessa nella rete di alimentazione o immagazzinata in appositi sistemi di accumulo.

Nei treni elettrici moderni equipaggiati con azionamenti a frequenza variabile e motori asincroni trifase, la frenatura elettrodinamica avviene attraverso il controllo del campo magnetico rotante, che porta il motore a funzionare da generatore. La potenza elettrica così prodotta può essere restituita alla linea di contatto e utilizzata da altri convogli in fase di trazione, o convogliata verso la rete di distribuzione attraverso sottostazioni reversibili [1][2].

If the conditions for power transfer from train to train are not met, the corresponding energy would be dispersed, dissipated through electrical resistors, with possible thermal effects on both the vehicle and the infrastructure.

An advantage could be obtained if the SSEs were able to receive energy and make it available to other users, or store it for later use.

The aim of the present study is to provide quantitative elements regarding energy saving potential, in a specific case, obtainable with the conversion of conventional SSE into reversible SSE, both for conventional traction systems and for systems integrated with linear motors.

For this purpose, a simulation was developed on a steeply graded line travelled downhill by heavy freight trains, highlighting the power and energy involved.

2. Scientific background

2.1. Regenerative braking in railway systems: general principles

Regenerative braking is one of the most promising mechanisms for improving energy efficiency in rail transport systems. The physical principle underlying this technology consists in using the traction electric motor as an energy generator: during braking, the electric machine operates as a generator, converting the kinetic energy (or potential energy, in the case of downhill sections) of the train into electrical energy, which is fed back into the supply network or stored in dedicated storage systems.

In modern electric trains equipped with variable-frequency drives and three-phase asynchronous motors, electrodynamic braking takes place through control of the rotating magnetic field, which causes the motor to operate as a generator. The electrical power thus produced can be returned to the contact line and used by other trains during traction, or conveyed to the distribution network through reversible substations [1][2].

The amount of recoverable energy depends on a variety of factors: the mass of the train, the line's altimetric profile, the speed limits imposed by the infrastructure, the distance from the electrical substations, and the voltage level permitted on the contact line.

2.2. Braking energy recovery systems

The technical-scientific literature identifies three main strategies for the recovery and exploitation of braking energy in railway systems [3][4]:

(1) Direct train-to-train transfer: energy produced by a braking train is immediately absorbed by another train in traction on the same line section, through the contact line. This solution, the most efficient in terms of conversion losses, is nonetheless subject to the simultaneous presence of trains in the two opposite running phases, a condition that cannot always be guaranteed, especially on lines with low traffic frequency [5].

L'entità dell'energia recuperabile dipende da una molteplicità di fattori: la massa del convoglio, il profilo altimetrico della linea, i limiti di velocità imposti dall'infrastruttura, la distanza dalle sottostazioni elettriche e il livello di tensione ammesso sulla linea di contatto.

2.2. Sistemi di recupero dell'energia di frenatura

La letteratura tecnico-scientifica identifica tre principali strategie per il recupero e la valorizzazione dell'energia di frenatura nei sistemi ferroviari [3][4]:

(1) Trasferimento diretto tra treni (*train-to-train*): l'energia prodotta da un convoglio in frenatura viene immediatamente assorbita da un altro convoglio in trazione sulla stessa tratta, attraverso la linea di contatto. Questa soluzione, la più efficiente in termini di perdite di conversione, è però subordinata alla contemporanea presenza di treni nelle due fasi opposte di marcia, condizione non sempre garantibile, specialmente su linee con bassa frequenza di circolazione [5].

(2) Sistemi di accumulo stazionari (*Wayside Energy Storage Systems* – WESS): batterie elettrochimiche, supercondensatori o volani meccanici, installati in prossimità delle sottostazioni, consentono di immagazzinare l'energia di frenatura e restituirla alla rete nelle fasi di picco di domanda.

(3) Sottostazioni reversibili (*Reversible Substations* – RS): convertitori bidirezionali installati nelle sottostazioni permettono di restituire l'energia rigenerata alla rete di media tensione, quando non è possibile utilizzarla localmente.

2.3. Sottostazioni reversibili per sistemi di trazione a corrente continua

Le reti ferroviarie alimentate in corrente continua – come la rete italiana a 3 kV cc gestita da Rete Ferroviaria Italiana (RFI), che rappresenta circa il 95% dei 12.000 km di rete elettrificata – presentano limiti per il recupero dell'energia di frenatura, in quanto i tradizionali ponti raddrizzatori a diodi non consentono il flusso inverso di corrente. L'energia prodotta dalla frenatura elettrodinamica, in assenza di altri treni in trazione sulla stessa tratta, viene quindi dissipata nei reostati di bordo [5][6].

La ricerca in questo ambito ha conosciuto una significativa accelerazione negli ultimi anni. Cornic [7] ha dimostrato l'efficacia delle sottostazioni reversibili con inverter attivi per il recupero dell'energia in sistemi a 750 V e 1500 V cc, nell'ambito del programma europeo RailEnergy.

In ambito italiano, RFI ha avviato nel 2021 la sperimentazione del primo prototipo europeo di sottostazione reversibile per reti a 3 kV cc presso la stazione di Forlì, sulla linea Bologna–Rimini. L'impianto, realizzato con convertitori VSC a commutazione forzata e dotato di sistema di accumulo a supercondensatori, costituisce il primo sistema

(2) Stationary storage systems (Wayside Energy Storage Systems – WESS): electrochemical batteries, supercapacitors or mechanical flywheels, installed near the substations, make it possible to store braking energy and return it to the network during peak demand phases.

(3) Reversible substations (Reversible Substations – RS): bidirectional converters installed in the substations make it possible to return the regenerated energy to the medium-voltage network when it cannot be used locally.

2.3. Reversible substations for direct-current traction systems

DC-powered railway networks – such as the Italian 3 kV DC network operated by Rete Ferroviaria Italiana (RFI), which accounts for about 95% of the 12,000 km of electrified network – have limitations for braking energy recovery, since traditional diode rectifier bridges do not allow reverse current flow. In the absence of other trains in traction on the same section, the energy produced by electrodynamic braking is therefore dissipated in the on-board rheostats [5][6].

Research in this field has seen significant acceleration in recent years. Cornic [7] demonstrated the effectiveness of reversible substations with active inverters for energy recovery in 750 V and 1500 V DC systems, within the European RailEnergy programme.

In Italy, in 2021 RFI began testing the first European prototype of a reversible substation for 3 kV DC networks at Forlì station, on the Bologna–Rimini line. The plant, built with forced-commutation VSC converters and equipped with a supercapacitor storage system, is the first system of its kind in Italy and the first in Europe at this power level with controlled voltage. The trial, concluded in 2024, confirmed an estimated energy saving of around 100 MWh/year per substation, corresponding to a 10–15% reduction in the plant's consumption. The project identified mountain-crossing lines – characterised by long, steep downhill sections travelled by heavy trains – as offering the most favourable conditions for significant energy recovery [8][9][10].

2.4. Energy recovery on lines with steep gradients and heavy freight trains

Energy recovery from heavy freight trains on downhill sections of steeply graded lines represents a case study of particular practical interest. Unlike metropolitan or suburban systems – in which braking is frequent but of short duration – on mountain-crossing routes, holding braking continues for several consecutive kilometres, producing constant, high power levels over extended periods. This characteristic makes the case of downhill freight trains particularly favourable in terms of the total energy recoverable per single transit [11].

Several contributions in the literature have addressed energy recovery from regenerative braking in diesel-electric freight trains, analysing both on-board storage options and the challenges associated with the absence of a contact line

di questo tipo in Italia e il primo in Europa a questo livello di potenza con tensione controllata. La sperimentazione conclusasi nel 2024 ha confermato un risparmio energetico stimato di circa 100 MWh/anno per singola sottostazione, corrispondente a una riduzione del 10–15% del consumo dell'impianto. Il progetto ha individuato nelle linee di valico montano – caratterizzate da lunghe discese a forte pendenza percorse da treni pesanti – le condizioni più favorevoli per un significativo recupero energetico [8][9][10].

2.4. Recupero dell'energia su linee con forti pendenze e treni merci pesanti

Il recupero dell'energia nei treni merci pesanti in percorsi di discesa su linee con forti pendenze rappresenta un caso di studio di particolare interesse applicativo. A differenza dei sistemi metropolitani o suburbani – nei quali la frenatura è frequente ma di breve durata – sui percorsi di valico la frenatura di trattenuta si protrae per vari chilometri consecutivi, producendo potenze costanti ed elevate per tempi prolungati. Questa caratteristica rende il caso dei treni merci in discesa particolarmente favorevole in termini di energia complessiva recuperabile per singolo transito [11].

Diversi contributi della letteratura hanno affrontato il recupero energetico dalla frenatura rigenerativa nei treni diesel-elettrici per il trasporto merci, analizzando sia le opzioni di accumulo a bordo sia le criticità legate all'assenza di una linea di contatto [12]. Nei sistemi elettrificati, invece, la presenza della linea aerea consente la restituzione diretta dell'energia alla rete tramite sottostazioni reversibili, a condizione che il vincolo di tensione massima ammessa sia rispettato.

Huang [13] ha analizzato il fenomeno dell'innalzamento della tensione sulla linea di ritorno nei sistemi di trazione a medio-basse velocità con motori lineari Maglev (levitazione magnetica), identificando le condizioni operative nelle quali l'energia di frenatura non può essere restituita alla rete e deve essere dissipata o accumulata localmente. De Oliveira *et al.* [14] hanno specificamente studiato la frenatura rigenerativa di un motore lineare a induzione (LIM) impiegato per la propulsione di veicoli Maglev, dimostrando la fattibilità tecnica del recupero e quantificando l'energia reimmessa in rete in funzione del profilo di velocità.

Studi recenti nell'ambito del trasporto ferroviario regionale italiano [15] e metropolitano [16] hanno quantificato l'energia recuperabile in funzione della frequenza di circolazione, della distribuzione delle fermate e della tipologia di materiale rotabile. Per le ferrovie metropolitane, il recupero in frenatura può raggiungere il 20% dell'energia prelevata dalla rete, con valori superiori nelle linee con forte traffico e frequenti variazioni di velocità. Nelle ferrovie regionali a singolo binario, la difficoltà di sincronizzare i transiti dei treni nei due sensi riduce le opportunità di trasferimento diretto, rendendo necessario il ricorso a sottostazioni reversibili o sistemi di accumulo.

[12]. In electrified systems, on the other hand, the presence of the overhead line allows energy to be returned directly to the network through reversible substations, provided that the maximum permissible voltage constraint is respected.

Huang [13] analysed the phenomenon of voltage rise on the return line in medium-low-speed traction systems with Maglev (magnetic levitation) linear motors, identifying the operating conditions under which braking energy cannot be returned to the network and must be dissipated or stored locally. De Oliveira et al. *[14] specifically studied the regenerative braking of a linear induction motor (LIM) used for the propulsion of Maglev vehicles, demonstrating the technical feasibility of recovery and quantifying the energy fed back into the network as a function of the speed profile.*

Recent studies in the field of Italian regional [15] and metropolitan [16] rail transport have quantified the recoverable energy as a function of service frequency, stop distribution and rolling-stock type. For metropolitan railways, braking recovery can reach 20% of the energy drawn from the network, with higher values on lines with heavy traffic and frequent speed variations. On single-track regional railways, the difficulty of synchronising train movements in both directions reduces the opportunities for direct transfer, making it necessary to resort to reversible substations or storage systems.

2.5. Integrated traction systems: adhesion traction and linear motors

The integration of conventional adhesion traction with linear synchronous motor (LSM) systems, despite the limitations of linear motors such as high infrastructure and maintenance costs, represents a technological frontier of growing interest for rail transport, particularly in applications where adhesion traction alone is insufficient to guarantee the required performance under conditions of steep gradients or full-load start-up [17].

In LSM systems, the stator is physically positioned on the infrastructure (at track level, between the rails), while the moving part – typically consisting of permanent magnets – is installed on the vehicles. Energy is transferred to the moving part through the travelling magnetic field generated by the stator, which is supplied by variable-frequency converters. The active stator section at any given moment is limited to the area where the vehicle is present, which requires a position- and speed-detection system, as well as a control system to regulate the amplitude and frequency of the magnetic field [18].

In general, linear motor systems have a lower energy efficiency, owing not only to Joule-effect losses but also to magnetic losses associated with leakage flux, eddy currents, etc.

Regenerative braking in the LSM system takes place through control of the stator's travelling magnetic field, causing the motor to operate as a linear synchronous generator. The electrical energy thus produced can be returned to the supply network through the wayside converters. This braking mode is functionally analogous to that of asynchronous ro-

2.5. Sistemi di trazione integrati: trazione ad aderenza e motori lineari

L'integrazione della trazione convenzionale ad aderenza con sistemi a motore lineare sincrono (LSM – *Linear Synchronous Motor*), nonostante i limiti dei motori lineari quali costi elevati dell'infrastruttura e di manutenzione, rappresenta una frontiera tecnologica di crescente interesse per il trasporto su rotaia, in particolare nelle applicazioni in cui la sola trazione ad aderenza risulta insufficiente a garantire le prestazioni richieste in condizioni di forte pendenza o di avvio a pieno carico [17].

Nei sistemi LSM, lo statore è posizionato fisicamente sull'infrastruttura (a terra, tra le rotaie), mentre la parte mobile – tipicamente costituita da magneti permanenti – è installata sui veicoli. L'energia viene trasferita alla parte mobile attraverso il campo magnetico traslante generato dallo statore alimentato da convertitori di frequenza variabile. La sezione di statore attiva in un dato istante è limitata alla zona dove è presente il veicolo, il che richiede un sistema di rilevamento della posizione e della velocità, oltre a un sistema di controllo per la regolazione dell'ampiezza e della frequenza del campo magnetico [18].

In generale i sistemi a motori lineari presentano ai fini energetici un minor rendimento, oltre che per le perdite per effetto Joule per le perdite magnetiche relative al flusso disperso, correnti parassite, ecc.

La frenatura rigenerativa nel sistema LSM avviene mediante il controllo del campo magnetico traslante dello statore, portando il motore a funzionare da generatore lineare sincrono. L'energia elettrica così prodotta può essere restituita alla rete di alimentazione attraverso i convertitori a terra. Questa modalità di frenatura è funzionalmente analoga a quella dei motori rotativi asincroni nei sistemi convenzionali, ma presenta la peculiarità che la forza frenante è esercitata direttamente sull'infrastruttura, indipendentemente dall'aderenza ruota-rotaia [14] [19].

Complessivamente il sistema a motore lineare recupera generalmente meno energia in frenatura rispetto al sistema rotativo principalmente a causa, come già detto, delle maggiori dispersioni magnetiche e delle perdite elettromagnetiche.

Il progetto europeo MaDe4Rail ha condotto un'analisi funzionale, tecnica, operativa comparativa tra sistemi ferroviari convenzionali, sistemi Maglev tradizionali e sistemi Maglev derivati, includendo la valutazione della fattibilità tecnica dell'integrazione di tecnologie derivate dal Maglev – tra cui i motori lineari – su specifici casi d'uso ferroviari [20][21].

L'analisi ha evidenziato come l'integrazione di motori lineari nei sistemi ferroviari convenzionali ponga questioni di compatibilità con i segnali del sistema di comando e controllo e di compatibilità elettromagnetica con altri campi magnetici presenti sull'infrastruttura.

tating motors in conventional systems, but has the particular feature that the braking force is exerted directly on the infrastructure, independently of wheel–rail adhesion [14][19].

Overall, the linear motor system generally recovers less braking energy than the rotating system, mainly, as already mentioned, because of greater magnetic leakage and electromagnetic losses.

The European MaDe4Rail project carried out a comparative functional, technical, operational analysis between conventional railway systems, traditional Maglev systems and Maglev-derived systems, including an assessment of the technical feasibility of integrating Maglev-derived technologies – including linear motors – into specific railway use cases [20][21]. The analysis highlighted how the integration of linear motors into conventional railway systems raises issues of compatibility with command-and-control system signals and of electromagnetic compatibility with other magnetic fields present on the infrastructure.

In integrated traction systems – in which a conventional locomotive and a linear motor operate in parallel on the same train – a specific critical issue concerns maintaining synchronism between the two systems. Since part of the propulsive force is generated at track level (LSM) and part on board (locomotive), variations in the torque delivered by either system can induce torque oscillations and longitudinal forces in the train. Synchronism control requires the LSM system to communicate in real time with the locomotive's traction system, imposing precise constraints on torque and speed values [18]. For freight services, speed variation is typically limited (operation at near-constant speed), which simplifies the synchronism problem compared with passenger services, where frequent accelerations and decelerations can occur. An experimental and modelling analysis of these aspects for adhesion traction systems integrated with a linear motor is reported in Bardhi et al. *[22].*

2.6. Storage systems and electromagnetic compatibility

The optimisation of storage-system sizing for reversible traction substations is the subject of a rapidly growing body of literature. Bae et al. *[11] proposed a methodology for calculating the capacity of regenerative inverters in 1500 V DC systems.* Lamedica et al. *[23] analysed the use of storage systems for voltage regulation on the 3 kV DC lines of the Italian network, highlighting the importance of voltage control for maximising recovered energy.* Caracciolo et al. *[24] proposed a specific conversion system for braking energy recovery on 3 kV DC lines, with results applied to the Italian infrastructure.*

3. Reversible substations

3.1. Reversible substations for conventional traction

The force Ff to be applied for service, stopping or holding braking, produces, at speed v, a mechanical power

$$P_m = F_f v$$

Nei sistemi a trazione integrata – in cui locomotiva convenzionale e motore lineare operano in parallelo sullo stesso convoglio – una criticità specifica riguarda il mantenimento del sincronismo tra i due sistemi. Poiché parte della forza propulsiva è generata a terra (LSM) e parte a bordo (locomotiva), variazioni nella coppia erogata da uno dei due sistemi possono indurre oscillazioni di coppia e sforzi longitudinali nel convoglio.

Il controllo del sincronismo richiede che il sistema LSM comunichi in tempo reale con il sistema di trazione della locomotiva, imponendo vincoli precisi sui valori di coppia e velocità [18]. Per i servizi merci, la variazione di velocità è tipicamente contenuta (esercizio a velocità quasi costante), il che semplifica il problema del sincronismo rispetto ai servizi passeggeri in cui si possono avere frequenti accelerazioni e decelerazioni. Un'analisi sperimentale e modellistica di questi aspetti per sistemi di trazione ad aderenza integrati con motore lineare è riportata in Bardhi *et al.* [22].

2.6. Sistemi di accumulo e compatibilità elettromagnetica

L'ottimizzazione del dimensionamento dei sistemi di accumulo per le sottostazioni di trazione reversibili è oggetto di una letteratura in rapida crescita. Bae *et al*. [11] hanno proposto una metodologia per il calcolo della capacità degli inverter rigenerativi nei sistemi a 1500 V cc. Lamedica *et al.* [23] hanno analizzato l'impiego di sistemi di accumulo per la regolazione della tensione nelle linee a 3 kV cc della rete italiana, evidenziando l'importanza del controllo della tensione per massimizzare l'energia recuperata. Caracciolo *et al.* [24] hanno proposto un sistema di conversione specifico per il recupero dell'energia di frenatura nelle linee a 3 kV cc, con risultati applicati all'infrastruttura italiana.

3. Sottostazioni reversibili

3.1. Sottostazioni reversibili per la trazione convenzionale

La forza *Ff* da applicare per la frenatura di rallentamento, di arresto o di trattenuta, produce a velocità v una potenza meccanica

$$P_m = F_f v$$

La frenatura elettrodinamica, nel caso di sistema convenzionale, in generale, avviene tramite il controllo del campo magnetico rotante del motore asincrono per ottenere un'azione frenante; il motore asincrono funziona da generatore producendo energia elettrica.

Il motore funzionante come generatore può erogare, considerando un rendimento globale elettrico – meccanico η, una potenza elettrica pari a

$$P_e = P_m \eta$$

Da cui la corrente di recupero *I* che potrebbe essere

In the conventional system, electrodynamic braking generally takes place through control of the rotating magnetic field of the asynchronous motor to produce a braking action; the asynchronous motor operates as a generator, producing electrical energy.

The motor operating as a generator can deliver, considering an overall electrical–mechanical efficiency η*, an electrical power equal to*

$$P_e = P_m \eta$$

From which the recovery current I that could be fed into the line, taking E as the pantograph voltage, is equal to

$$I = \frac{P_e}{E}$$

The train can feed the contact line with the energy generated during braking if the pantograph voltage E exceeds the voltage E_0 *at the Electrical Substation (SSE) by an amount that the required electrical current to flow towards the substation, without exceeding the maximum admissible contact line voltage* E_{max} *(see e.g. EN 50163) thus causing the use of on-board rheostats. The line voltage drop* ΔV *between pantograph and SSE is the product of the current I and the electrical resistance of the line R, with the latter depending on the line's specific kilometric resistance and the distance between train and SSE. This limitation translates to the following relations governing the possibility of energy recovery*

$$E = E_0 + R \quad I$$
$$E \leq E_{max}$$

If there are no other trains on the line requiring power, the available electrical power can be used by transferring it, via the reversible SSE supplying the line, to the electrical supply network or to a storage system, with the possibility of reuse by other loads connected to it.

A reversible SSE is normally equipped both with alternating current (AC) – direct current (DC) rectifier units and with DC – AC inverter units.

Fig. 1 shows a schematic diagram of a reversible SSE, in line with the architectures of railway and metro power-supply systems. It comprises two sections for supplying the contact line and one for recovering energy from the contact line.

In particular, the following can be identified:

- *the primary medium-voltage (MV) supply section, consisting of an MV busbar system (1) and a series of compartments (circuit breaker + disconnector) (2) that allow connection both to the primary supply lines and to the supply and distribution of energy to the various transformation–conversion sections; two sections for supplying the contact line and one for recovering energy from the contact line are connected to the MV busbars;*
- *the transformation–conversion section (AC–DC), which converts energy from alternating to direct current, consisting of transformer units (3) – rectifiers (4); the transformers have three windings, one primary and two secondaries, and supply the Graetz-bridge rectifier units*

immessa in linea, considerando E la tensione al pantografo, è pari a

$$I = \frac{P_e}{E}$$

Il treno può immettere nella linea di contatto l'energia prodotta dalla frenatura se la tensione al pantografo E supera la tensione E_0 di SSE di un valore tale da poter consentire il fluire della corrente prodotta verso la SSE stessa, senza tuttavia superare il valore massimo E_{max} ammesso per la linea di contatto (vedi ad esempio norma EN 50163), il che causerebbe l'intervento dei reostati di bordo. La caduta di tensione ΔV tra pantografo e SSE è pari al prodotto della corrente I per la resistenza elettrica della linea R, a sua volta funzione della resistenza specifica chilometrica di linea e della distanza del treno dalla SSE. Tali limitazioni si traducono nelle seguenti relazioni, che regolano la possibilità di recupero di energia:

$$E = E_0 + R \ \ I$$
$$E \leq E_{max}$$

La potenza elettrica disponibile può essere utilizzata, se non ci sono altri treni in linea che richiedono potenza, attraverso il trasferimento, tramite la SSE reversibile che alimenta la linea, alla rete di alimentazione elettrica o al sistema di accumulo con possibilità di riutilizzo da altre utenze ad essa collegate.

Una sottostazione SSE reversibile è normalmente equipaggiata sia con gruppi raddrizzatori corrente alternata (c.a.) – corrente continua (c.c.). sia con gruppi inverter c.c. - c.a.

Nella Fig. 1 è rappresentato uno schema di principio di una sottostazione SSE reversibile, in analogia alle architetture dei sistemi di alimentazione di ferrovie e metropolitane. Esso comprende due sezioni per l'alimentazione della linea di contatto ed una per il recupero di energia dalla linea di contatto.

In particolare, si possono individuare:

- la sezione di media tensione MT di alimentazione primaria, costituita da un sistema di sbarre MT (1) e da una serie di scomparti (interruttore + sezionatore) (2) che permettono il collegamento sia alle linee primarie di alimentazione che alla alimentazione e derivazione dell'energia alle varie sezioni di trasformazione – conversione; alle sbarre MT sono collegate due sezioni per l'alimentazione della linea di contatto ed una per il recupero di energia dalla linea di contatto;

for AC–DC conversion; suitably connected in series or in parallel, these allow the DC supply voltage to be obtained;

- *the transformation–conversion section (DC–AC), which converts energy from direct to alternating current, consisting of the inverter unit (5) – transformers (3), and which sends the recovered, available energy to the primary network (1);*
- *the DC section, consisting of a system of positive and negative DC busbars (7), derived from the positive and negative poles of the rectifier units (4) through the group circuit breakers (6), from which, through the high-speed circuit breakers (7), the track's contact line (10) is supplied, with the current returning to the SSE from the rail through the negative disconnector (9):*
- *the same DC section allows the flow of recoverable energy from the contact line to the primary network.*

3.2. Reversible substations with linear motors

The linear synchronous motor (LSM) transport system generally comprises the following main components:

- *vehicles equipped for linear-motor traction, which constitute the moving part, normally composed of permanent magnets installed on the vehicles themselves;*
- *fitting-out of the civil infrastructure with installation of the LSM linear motor stator, fixed at track level;*
- *a power supply system, connected to the external me-*

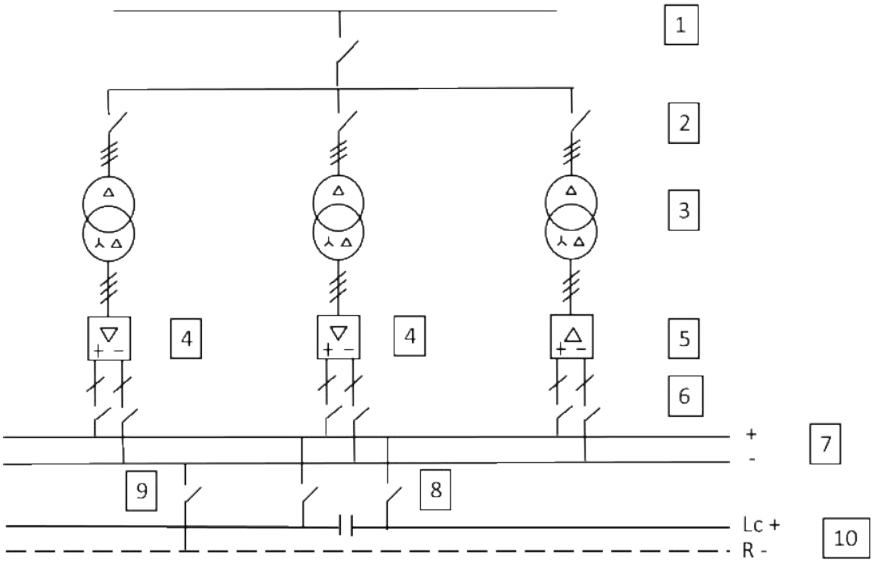


Figura 1 – Schema di SSE reversibile: 1) Rete MT primaria; 2) Interruttore MT di gruppo; 3) Trasformatori di gruppo; 4) Gruppi raddrizzatori; 5) Gruppo inverter; 6) Interruttori c.c. di gruppo; 7) Sistema sbarre in c.c.; 8) Interruttori extrarapidi; 9) Sezionatore negativo; 10) Linea di contatto e binario.
Figure 1 – Diagram of a reversible SSE: 1) Primary MV network; 2) Group MV circuit breaker; 3) Group transformers; 4) Rectifier units; 5) Inverter unit; 6) Group DC circuit breakers; 7) DC busbar system; 8) High-speed circuit breakers; 9) Negative disconnector; 10) Contact line and track.

- la sezione di trasformazione – conversione (c.a.-c.c.), che permette la trasformazione dell'energia da alternata in continua, costituita da gruppi trasformatori (3) – raddrizzatori (4); i trasformatori sono a tre avvolgimenti, un primario e due secondari, ed alimentano i gruppi raddrizzatori a ponte di Graetz, per la trasformazione da alternata in continua; opportunamente collegati in serie o in parallelo, permettono di avere la tensione di alimentazione in c.c.;
- la sezione di trasformazione – conversione c.c. – c.a., che permette la trasformazione dell'energia da continua in alternata, costituita dal gruppo inverter (5) - trasformatori (3) e l'invio della energia recuperata e disponibile verso la rete primaria (1);
- la sezione in c.c., costituita da un sistema di sbarre in c.c. (7), positive e negative, derivate dai poli positivi e negativi dei gruppi raddrizzatori (4), tramite gli interruttori di gruppo (6) e da cui, tramite gli interruttori extrarapidi (7), si alimenta la linea di contatto (10) del binario con il ritorno della corrente in SSE dalla rotaia attraverso il sezionatore negativo (9):
- la stessa sezione in c.c. permette il flusso di energia recuperabile dalla linea di contatto alla rete primaria.

3.2. Sottostazioni reversibili con motori lineari

Il sistema di trasporto a motore sincrono lineare (LSM) comprende in generale i seguenti componenti principali:

- veicoli attrezzati per la trazione con motore lineare, che costituiscono la parte mobile, normalmente composta da magneti permanenti istallati sui veicoli stessi;
- attrezzaggio della infrastruttura civile con l'istallazione dello statore del motore lineare LSM fisso a terra;
- sistema di alimentazione, collegato alla rete esterna di media tensione per la fornitura lungo la linea dell'energia elettrica al sistema di trazione, con la possibilità di recupero dell'energia durante la fase di frenatura e la eventuale immissione nella rete esterna;
- sistema di comando e controllo lungo la linea per l'alimentazione elettrica e la regolazione della marcia.

Fra le problematiche del dimensionamento del motore lineare si devono evidenziare quelle relative alle perdite nel ferro (o perdite magnetiche) per evitare il surriscaldamento e ottimizzare l'efficienza.

Le perdite nel ferro di un motore LSM a statore fisso a terra sono costituite da:

- perdite per isteresi Pi;
- perdite per correnti parassite Pe.

Le perdite per isteresi sono dovute all'energia dissipata per orientare i domini magnetici a ogni ciclo di magnetizzazione e dipendono linearmente dalla frequenza del sistema di alimentazione f.

dium-voltage network, for supplying electrical energy to the traction system along the line, with the possibility of recovering energy during braking and feeding it into the external network;

- *a command-and-control system along the line for the electrical supply and the regulation of train movement.*

Among the issues involved in sizing the linear motor, those relating to iron losses (or magnetic losses) must be highlighted, in order to avoid overheating and optimise efficiency.

The iron losses of an LSM motor with a fixed, track-mounted stator consist of:

- *hysteresis losses Pi;*
- *eddy-current losses Pe.*

Hysteresis losses are due to the energy dissipated in orienting the magnetic domains at each magnetisation cycle, and depend linearly on the supply system frequency f.

Eddy-current losses are generated by the currents induced in the conductive material (core) by the varying magnetic field, and depend on the square of the frequency.

To reduce the effects of these losses, which increase with speed since v = f(f), the following measures are envisaged:

- *for eddy currents, construction of the magnetic core using laminated magnetic material with surface insulation between laminations;*
- *for hysteresis losses, using low-loss magnetic materials for the magnetic core, with a small, narrow hysteresis loop.*

Further issues to be highlighted in the fixed part of the motor, the stator, are the parasitic attraction and repulsion forces that lead to loss of air-gap precision, vibrations and noise, and misalignments, which can be addressed through symmetrical winding geometry and rigid, damped mechanical supports.

In particular, for the linear motor power supply system, Fig. 2, derived from the reversible SSE diagram shown in Fig. 1, the following can be identified:

- *the primary MV supply section, consisting of a busbar system (1) and a series of compartments (circuit breaker + disconnector) (2) that allow connection both to the primary supply lines and to the supply and distribution of energy to the various transformation–conversion sections;*
- *the transformation–conversion section (AC–DC), which converts energy from alternating to direct current, consisting of transformer units (3) – rectifiers (4); the transformers have three windings, one primary and two secondaries, and supply the Graetz-bridge rectifier units for AC–DC conversion, which, suitably connected in series or in parallel, allow the DC supply voltage to be obtained;*
- *the transformation–conversion section (DC–AC), which converts energy from direct to alternating current, consisting of the inverter unit (5) – transformers (3), and which sends the recovered, available energy to the primary network (1);*

Le perdite per correnti parassite sono generate dalle correnti indotte nel materiale conduttore (nucleo) dal campo magnetico variabile e dipendono dal quadrato della frequenza.

Per ridurre gli effetti di tali perdite, che aumentano all'aumentare della velocità, essendo v = f(f), sono previsti i seguenti interventi:

- per le correnti parassite, costruzione del corpo magnetico utilizzando materiale magnetico in lamierini fra loro isolati superficialmente;
- per le perdite per isteresi utilizzando per il corpo magnetico materiali magnetici a basse perdite con ciclo di isteresi piccolo e stretto.

Ulteriori problematiche da evidenziare nella parte fissa del motore, statore, sono le forze parassite di attrazione e repulsione che portano a perdite di precisione nel traferro, vibrazioni e rumori, disallineamenti risolvibili attraverso la geometria simmetrica degli avvolgimenti, supporti meccanici rigidi ed ammortizzati.

In particolare, per il sistema di alimentazione del motore lineare, Fig. 2, derivato dallo schema della SSE reversibile riportata in figura 1, si possono individuare:

- la sezione di MT di alimentazione primaria, costituita da un sistema di sbarre (1) e da una serie di scomparti (interruttore + sezionatore) (2) che permettono il collegamento sia alle linee primarie di alimentazione sia alla alimentazione e derivazione dell'energia alle varie sezioni di trasformazione – conversione;
- la sezione di trasformazione – conversione c.a. - c.c., che permette la trasformazione dell'energia da alternata in continua, costituita da gruppi trasformatori (3) – raddrizzatori (4); i trasformatori sono a tre avvolgimenti, un primario e due secondari, ed alimentano i gruppi raddrizzatori a ponte di Graetz, per la trasformazione da alternata in continua, che opportunamente collegati in serie o in parallelo, permettono di avere la tensione di alimentazione in c.c.;
- la sezione di trasformazione – conversione c.c. – c.a., che permette la trasformazione dell'energia da continua in alternata, costituita dal gruppo inverter (5) - trasformatori (3) e l'invio della energia recuperata e disponibile verso la rete primaria (1);
- la sezione in c.c., costituita da un sistema di sbarre in c.c. (7) positive e negative, derivate tramite gli interrut-

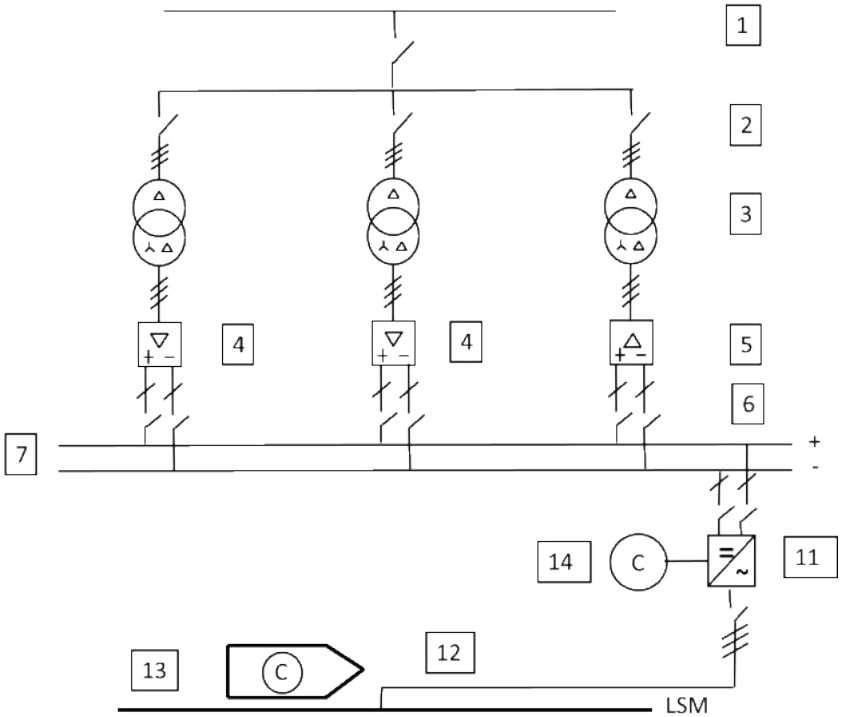


Figura 2 – Schema di SSE reversibile con motore lineare: 1) Rete MT primaria; 2) Interruttore MT di gruppo; 3) Trasformatori di gruppo; 4) Gruppi raddrizzatori; 5) Gruppo inverter; 6) Interruttori c.c. di gruppo; 7) sistema sbarre in c.c.; 11) stazione conversione LSM; 12) cavo di alimentazione statore LSM; 13) settore statore LSM; 14) sistema di comando e controllo LSM.

Figure 2 – Diagram of a reversible SSE with linear motor: 1) Primary MV network; 2) Group MV circuit breaker; 3) Group transformers; 4) Rectifier units; 5) Inverter unit; 6) Group DC circuit breakers; 7) DC busbar system; 11) LSM conversion station; 12) LSM stator supply cable; 13) LSM stator sector; 14) LSM command-and-control system.

- *the DC section, consisting of a system of positive and negative DC busbars (7), derived through the group circuit breakers (6) from the positive and negative poles of the rectifier units (4), from which the LSM DC–AC conversion station (11) is supplied;*
- *the LSM DC–AC conversion station (11) supplies, via supply cables (12) at variable voltage and frequency, the stator sectors on the track (13), which are energised only when a train is present [22];*
- *the command-and-control system (14) along the line. The motor's rated power must be adapted, instant by instant, to the characteristics and requirements of the specific line section, such as the horizontal and vertical alignment, speed limits, line speed-variation zones, start-up and braking zones, etc. Consequently, an extremely reliable and precise train position- and speed-detection system is required; this information must be transmitted to the conversion sections in order to generate the propagating magnetic field with amplitude and frequency appropriate to each individual energised sector.*

In the case of the linear motor too, electrodynamic brak-

tori di gruppo (6) dai poli positivi e negativi dei gruppi raddrizzatori (4), da cui si alimenta la stazione di conversione LSM, c.c. – c.a. (11);

- la stazione di conversione LSM, c.c. – c.a., (11), alimenta, tramite cavi di alimentazione (12), in tensione e frequenza variabili, i settori di statore sul binario (13) che vengono alimentati solo in presenza del treno [22];
- sistema di comando e controllo (14) lungo la linea. La potenza nominale del motore deve essere adeguata istante per istante, alle caratteristiche e requisiti della specifica sezione della linea, quali andamento plano-altimetrico, limiti di velocità, zone di variazione di velocità della linea, di avviamento, di frenatura ecc. Conseguentemente è necessario un sistema di rilevamento della posizione e della velocità del treno, estremamente affidabile e preciso; queste informazioni devono essere trasmesse alle sezioni di conversione per generare il campo magnetico di propagazione con ampiezza e frequenza appropriate al singolo settore alimentato.

La frenatura elettrodinamica, anche nel caso del motore lineare, in generale, avviene tramite il controllo del campo magnetico traslante dello statore a terra che produce una forza opposta al moto e quindi la parte LSM mobile sul treno tende a sincronizzarsi con il campo magnetico a terra, frenando il treno; il motore LSM funziona da generatore producendo energia elettrica.

3.3. Sottostazioni reversibili con sistema di trazione integrati: aderenza e motori lineari

Nel caso di integrazione di un sistema di trazione convenzionale con un sistema di trazione a motore lineare si può pensare, sulla base di quanto sopra rappresentato, ad un sistema di alimentazione che permetta l'alimentazione in parallelo dei due sistemi: sistema convenzionale e sistema a motore lineare.

Lo statore del motore lineare LSM è posizionato all'interno del binario ed i veicoli convenzionali sono opportunamente attrezzati con magneti permanenti che costituiscono la parte mobile LSM.

In particolare, per il sistema di alimentazione, Fig. 3, la sezione di alimentazione MT (1), nonché le sezioni di conversione c.a. – c.c. (raddrizzatori), (3) e (4) e c.c. – c.a. (inverter) (3) e (5), rimangono inalterate, rispetto agli schemi delle Fig. 1 e Fig. 2, con le stesse caratteristiche elettriche e funzionali.

La modifica riguarda la parte a valle del sistema di sbarre in c.c. (7), dove vengono alimentate in parallelo sia la linea di contatto ed il binario (10), sia la stazione di conversione LSM (11).

La linea di contatto ed il binario (10) è alimentata dalle sbarre c.c. (7), attraverso gli interruttori extrarapidi (8) ed il sezionatore negativo (9).

ing generally takes place through control of the travelling magnetic field of the wayside stator, which produces a force opposing motion; the moving LSM part on the train then tends to synchronise with the wayside magnetic field, braking the train. The LSM motor operates as a generator, producing electrical energy.

3.3. Reversible substations with integrated traction systems: adhesion and linear motors

In the case of integrating a conventional traction system with a linear motor traction system, on the basis of what has been described above, a power supply system that allows the two systems – the conventional system and the linear motor system – to be supplied in parallel can be envisaged.

The stator of the LSM linear motor is positioned within the track, and the conventional vehicles are suitably fitted with permanent magnets that constitute the LSM moving part.

In particular, for the power supply system, Fig. 3, the MV supply section (1), as well as the AC–DC conversion sections (rectifiers) (3) and (4) and the DC–AC conversion sections (inverters) (3) and (5), remain unchanged with respect to the diagrams in Fig. 1 and Fig. 2, with the same electrical and functional characteristics.

The modification concerns the part downstream of the DC busbar system (7), where both the contact line and track (10) and the LSM conversion station (11) are supplied in parallel.

The contact line and track (10) are supplied from the DC busbars (7) through the high-speed circuit breakers (8) and the negative disconnector (9).

The LSM DC–AC conversion station (11) supplies, via supply cables (12) at variable voltage and frequency, the stator sectors on the track (13) only when a train is present, together with the train command-and-control system (14), in order to provide the required power as a function of speed and line characteristics.

The aspect to be considered in the parallel system is the issue of synchronism between the two systems, conventional and linear motor, since part of the traction is provided at track level (LSM) and part on board the train (train traction + moving LSM part), which could give rise to torque and force oscillations.

To avoid such oscillations and maintain synchronism between the two systems, the LSM system, in addition to controlling the moving LSM part through the LSM–train traction command-and-control system (15), requires the train's traction system to provide torque and speed values suited to the LSM motor.

4. Case study

The motion simulation was developed for a steeply graded line travelled downhill by heavy freight trains.

La stazione di conversione LSM, c.c. – c.a., (11), alimenta, tramite cavi di alimentazione (12), in tensione e frequenza variabili, i settori di statore sul binario (13) solo quando è presente il treno, con il sistema di comando e controllo del treno (14), per fornire la potenza richiesta, funzione della velocità e delle caratteristiche della linea.

L'aspetto da considerare nel sistema in parallelo è la problematica relativa al sincronismo fra i due sistemi convenzionale e motore lineare, in quanto parte della trazione è a terra (LSM) e parte a bordo treno (trazione treno + LSM mobile) e potrebbero nascere oscillazioni di coppia e forze.

Per evitare tali oscillazioni e mantenere il sincronismo fra i due sistemi, il sistema LSM oltre al controllo della parte LSM mobile attraverso il sistema di comando e controllo LSM – trazione treno (15), richiede al sistema di trazione del treno valori di coppia e velocità adeguati per il motore LSM.

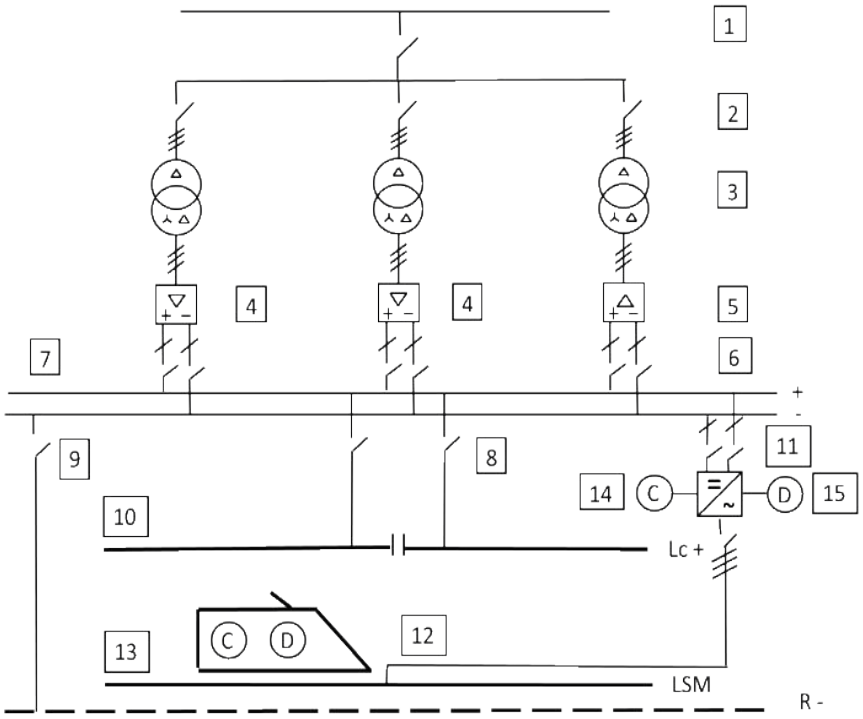


Figura 3 – Schema SSE reversibile con alimentazione linea di contatto e motore lineare: 1) Rete MT primaria; 2) Interruttore MT di gruppo; 3) Trasformatori di gruppo; 4) Gruppi raddrizzatori; 5) Gruppo inverter; 6) Interruttori c.c. di gruppo; 7) Sistema sbarre in c.c.; 8) Interruttori extrarapidi; 9) sezionatore negativo; 10) Linea di contatto e binario; 11) stazione conversione LSM; 12) cavo alimentazione statore LSM; 13) settore statore LSM; 14) sistema di comando e controllo LSM; 15) sistema di comando e controllo LSM – trazione treno.

Figure 3 – Diagram of a reversible SSE supplying the contact line and the linear motor: 1) Primary MV network; 2) Group MV circuit breaker; 3) Group transformers; 4) Rectifier units; 5) Inverter unit; 6) Group DC circuit breakers; 7) DC busbar system; 8) High-speed circuit breakers; 9) Negative disconnector; 10) Contact line and track; 11) LSM conversion station; 12) LSM stator supply cable; 13) LSM stator sector; 14) LSM command-and-control system; 15) LSM–train traction command-and-control system

4. Caso di studio

La simulazione del moto è stata sviluppata su una linea con forte pendenza percorsa in discesa da treni merci pesanti.

Tale scelta, in linea con gli obiettivi dello studio, risponde alla necessità di verificare gli eventuali vantaggi, relativi al recupero di energia durante la frenatura elettrodinamica, derivanti dalla introduzione delle SSE reversibili con sistemi di trazione ad aderenza integrati con motori lineari.

I risultati ottenuti con un precedente studio [22] hanno mostrato 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 nei percorsi in salita: sia in trazione sia in frenatura la forza totale applicata al treno è la somma di quella fornita dall' aderenza e di quella fornita dal motore lineare in modo da garantire le accelerazioni e le decelerazioni richieste.

Nel presente studio vengono calcolati i parametri cinematici ed energetici nel percorso in discesa. Si tratta di valutazioni teoriche finalizzate a fornire un quadro di riferimento per l'eventuale sviluppo e approfondimento dell'ipotesi di integrazione di trazione e frenatura ibrida.

This choice, consistent with the objectives of the study, responds to the need to verify the possible advantages, in terms of energy recovery during electrodynamic braking, resulting from the introduction of reversible SSEs with adhesion traction systems integrated with linear motors.

The results obtained in a previous study [22] showed that integrating linear motors along selected sections makes it possible to overcome the limits imposed by wheel–rail adhesion, maintaining higher speeds and reducing the need for multiple-locomotive traction on uphill sections: both in traction and in braking, the total force applied to the train is the sum of that provided by adhesion and that provided by the linear motor, so as to guarantee the required accelerations and decelerations.

In the present study, the kinematic and energy parameters on the downhill section are calculated. These are theoretical assessments intended to provide a frame of reference

4.1. Caratteristiche della linea

A titolo di esempio, come tracciato ci si è riferiti a caratteristiche, pendenza e velocità massima per le diverse categorie di treni (Rango A, B, C) simili a quelli della linea Brennero - Bolzano, ricavate dal Fascicolo di Linea, che si riportano nella Fig. 4. Si tratta di un tracciato di riferimento, con pendenze elevate che richiedono elevate capacità di frenatura soprattutto di trattenuta per treni pesanti.

Le velocità massime per il rango A variano nel campo 50 - 140 km/h, le pendenze nel campo -11‰, - 23‰.

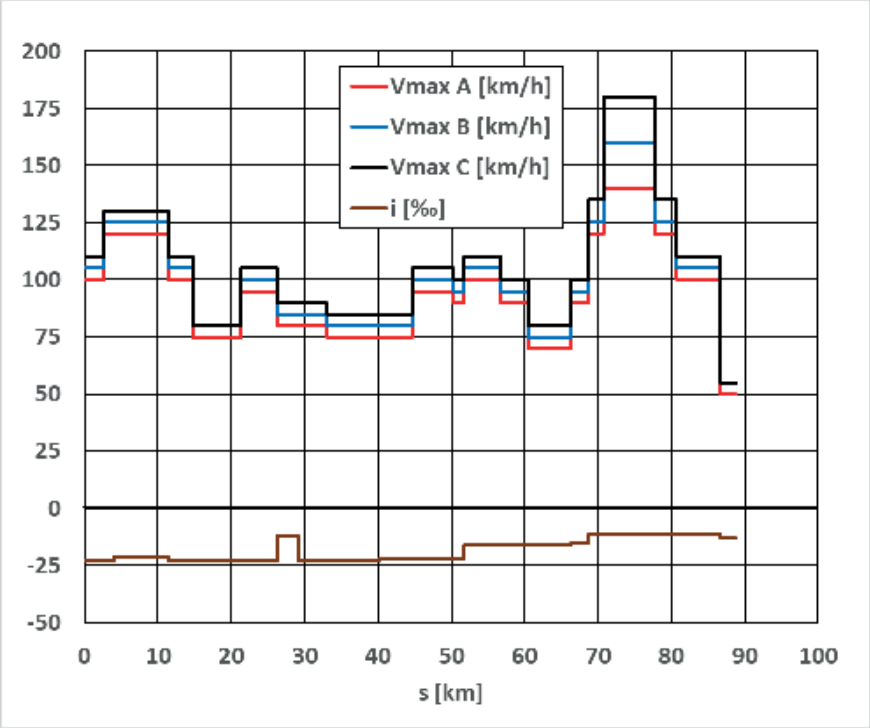


Figura 4 - Pendenza i [‰]; velocità massime di tracciato per le categorie di treni, A, B, C.

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

4.2. Scenari di trazione e massa dei treni

L'equazione del moto di un treno in una tratta di linea è data da

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

con

- *F(v)*: forza di trazione, funzione della velocità;
- *R(v):* forza resistente al moto complessiva, funzione della velocità;
- *Meq:* massa equivalente del treno;
- *dv/dt:* variazione della velocità rispetto al tempo, accelerazione o decelerazione.

La forza resistente complessiva al moto è rappresentata da

$$R(v) = M * (r(v) + i)$$

con

- *M*: massa del treno
- *r(v)*: resistenza al moto per unità di massa, funzione della velocità
- *i‰*: pendenza del tracciato

I dati assunti per lo studio sono i seguenti:

- campo di velocità V=0-140 km/h;
- decelerazione massima = - 0,3 m/s²;
- forza alle ruote della locomotiva, da 0 a 60 km/h, Fl = 320 kN; potenza meccanica alle ruote, oltre 60 km/h, Pl = 6.000 kW;
- potenza meccanica calcolata come prodotto della forza alle ruote per la velocità;
- resistenza specifica al moto, considerando per semplicità tra le resistenze addizionali solo quella dovuta

for the possible further development of the hybrid traction and braking integration hypothesis.

4.1. Line characteristics

As an example, the track profile used refers to characteristics, gradient and maximum speed for the different train categories (Class A, B, C) similar to those of the Brenner–Bolzano line, taken from the line technical booklet (Fascicolo di Linea)*, shown in Fig. 4. This is a reference profile, with steep gradients requiring high braking capacity, especially holding braking, for heavy trains.*

The maximum speeds for Class A range from 50 to 140 km/h, and the gradients range from -11‰ to -23‰.

4.2. Traction scenarios and train mass

The equation of motion of a train on a line section is given by

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

where

- *F(v): traction force, a function of speed;*
- *R(v): total motion resistance force, a function of speed;*
- *Meq: equivalent mass of the train;*
- *dv/dt: rate of change of speed with time, i.e. acceleration or deceleration.*

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. Il grafico mostra, per il treno con M=2.500 t, in funzione della velocità: forza di trazione e frenatura Fl, Ffl; resistenza al moto per la massima pendenza positiva Ri (i=23 ‰) e negativa Ri (i=-23 ‰).

La forza di trazione e di frenatura non è sufficiente per mantenere costante la velocità. La forza di integrazione necessaria può essere fornita dal motore lineare Fml, Ffml (Fig. 5).

La forza di trazione nel moto in salita necessaria per superare le resistenze al moto viene integrata dalla forza del motore lineare. Analogamente nel moto in discesa la forza di frenatura per mantenere costante la velocità viene integrata dal motore lineare.

Le potenze meccaniche corrispondenti al variare della velocità sono riportate nella Fig. 6. La potenza della locomotiva oltre 60 km/h rimane costante e pari a quella massima. I calcoli sono fatti per i=-23 ‰, M=2.500 t.

La potenza richiesta in trazione e frenatura varia al variare della massa e della pendenza. L'andamento della potenza in funzione della pendenza e della massa del

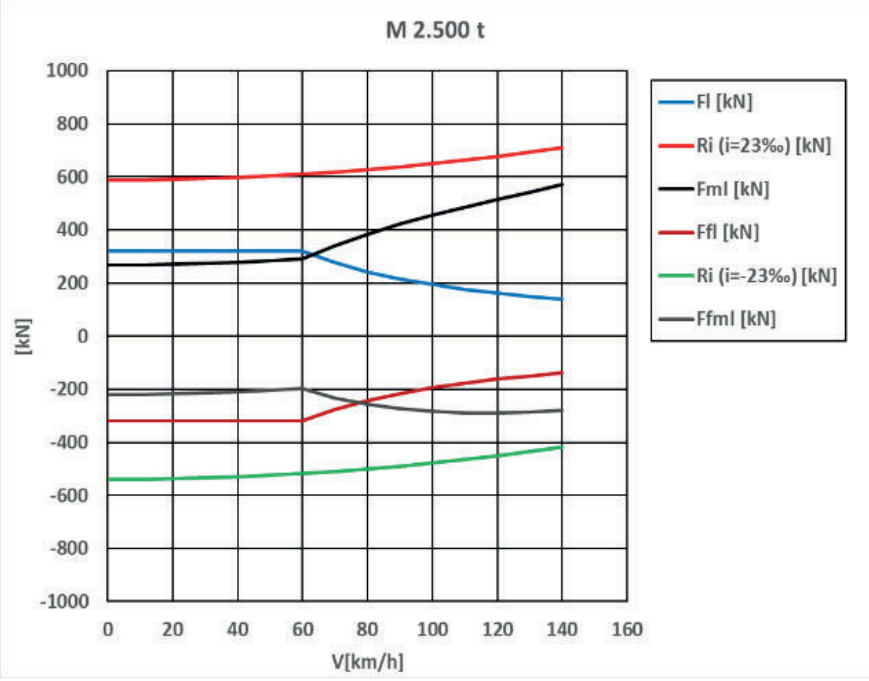


Figura 5 – Forza di trazione e frenatura della locomotiva (Fl, Ffl) e del motore lineare (Fml, Ffml) per mantenere costante la velocità. Resistenza al moto R per i=23‰ e per i=-23 ‰, M=2.500 t.

Figure 5 – Traction and braking force of the locomotive (Fl, Ffl) and of the linear motor (Fml, Ffml) to keep speed constant. Motion resistance R for i = 23‰ and for i = -23‰, M = 2,500 t

The total motion resistance force is given by

$$R(v) = M * (r(v) + i)$$

where

- *M: train mass*
- *r(v): motion resistance per unit mass, a function of speed*
- *i‰: track gradient*

The data assumed for the study are as follows:

- *speed range V = 0-140 km/h;*
- *maximum deceleration = -0.3 m/s²;*
- *wheel force of the locomotive, from 0 to 60 km/h, Fl = 320 kN; mechanical power at the wheels, above 60 km/h, Pl = 6,000 kW;*
- *mechanical power calculated as the product of wheel force and speed;*
- *specific motion resistance, considering for simplicity, among the additional resistances, only that due to the gradient, r [N/t], as a function of speed V [km/h] and gradient i [‰]:*

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

The mechanical characteristic of the electric locomotive, selected from among modern models, is shown in Fig. 5. The graph shows, for the train with M = 2,500 t, as a function of speed: traction and braking force Fl, Ffl; motion resistance for the maximum positive gradient Ri (i = 23‰) and negative gradient Ri (i = -23‰).

The traction and braking force is not sufficient to keep the speed constant. The necessary supplementary force can be supplied by the linear motor, Fml, Ffml (Fig. 5).

The traction force needed to overcome motion resistance when running uphill is supplemented by the linear motor's force. Similarly, when running downhill, the braking force needed to keep speed constant is supplemented by the linear motor.

The mechanical power values corresponding to varying speed are shown in Fig. 6. The locomotive's power, above 60 km/h, remains constant and equal to the maximum value. The calculations are carried out for i = -23‰, M = 2,500 t.

The power required for traction and braking varies with mass and gradient. The trend of power as a function of gradient and train mass was calculated for a constant speed v = 120 km/h (Fig. 7).

For a mass of M = 1,600 t, the power

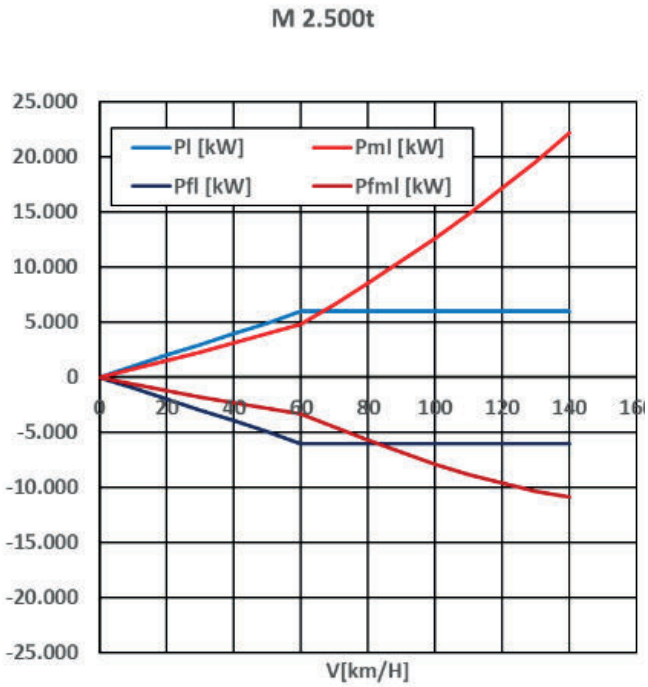


Figura 6 – Potenza di trazione e frenatura della locomotiva (Pl, Pfl) e del motore lineare (Pml, Pfml) per mantenere costante la velocità con pendenza per i=23‰ e per i=-23 ‰.

Figure 6 – Traction and braking power of the locomotive (Pl, Pfl) and of the linear motor (Pml, Pfml) to keep speed constant, with gradient for i = 23‰ and for i = -23‰.

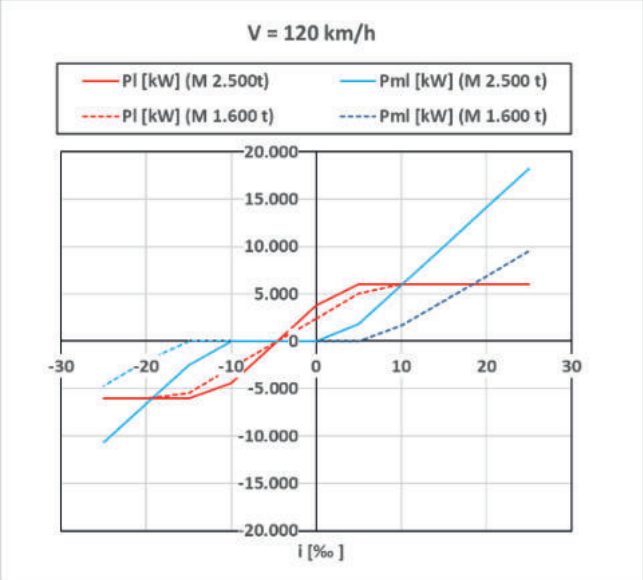


Figura 7 Potenza della locomotiva Pl (Pfl se negativa) e del motore lineare Pml (Pfml se negativa) in funzione della pendenza i ‰ a velocità costante v = 120 km/h per M = 1.600 t e M = 2.500 t.

Figure 7 - Locomotive power Pl (Pfl if negative) and linear motor power Pml (Pfml if negative) as a function of gradient i‰ at constant speed v = 120 km/h, for M = 1,600 t and M = 2,500 t.

treno è stato calcolato per velocità costante v = 120 km/h (Fig. 7).

Per massa M = 1.600 t, la potenza necessaria per mantenere costante la velocità deve essere integrata dal motore lineare in salita per pendenze superiori a circa il 5‰ e, in discesa, per pendenze superiori a circa il -15‰. La differenza tra salita e discesa dipende dalle resistenze al moto che in discesa contribuiscono alla forza frenante.

Per massa M = 2.500 t, la potenza necessaria per mantenere costante la velocità in salita deve essere fornita dal motore lineare in trazione già per valori bassi della pendenza e, in frenatura in discesa, per pendenze superiori ad un valore intorno a -10‰.

Le velocità massime e le pendenze della linea definiscono le forze da applicare di trazione o di frenatura. In presenza di forti discese la forza di trazione per i treni pesanti può essere integrata o sostituita dalla forza di gravità dovuta alla pendenza.

Le situazioni che si possono presentare sono le seguenti.

a) Velocità costante: la forza dovuta alla pendenza deve essere confrontata con quella necessaria per mantenere costante la velocità ed eventualmente compensata mediante la forza frenante di trattenuta o incrementata mediante la forza di trazione.

needed to keep speed constant uphill must be supplemented by the linear motor for gradients above approximately 5‰ and, downhill, for gradients steeper than approximately -15‰. The difference between the uphill and downhill cases depends on the motion resistance, which downhill contributes to the braking force.

For a mass of M = 2,500 t, the power needed to keep speed constant uphill must be provided by the linear motor in traction even for low gradient values and, in braking, downhill, for gradients steeper than about -10‰.

The line's maximum speeds and gradients define the traction or braking forces to be applied. In the presence of steep descents, the traction force for heavy trains can be supplemented, or replaced, by the force of gravity due to the gradient.

The situations that can occur are as follows.

a) Constant speed: the force due to the gradient must be compared with that needed to keep the speed constant, and, where necessary, offset by the holding braking force or increased by the traction force.

b) Increasing speed: the force due to the gradient must be compared with that needed to achieve the desired acceleration, and, where necessary, offset by the traction or braking force.

c) Decreasing speed: the force due to the gradient must be offset by the braking force.

For the line under consideration, the following scenarios

b) Aumento della velocità: la forza dovuta alla pendenza deve essere confrontata con quella necessaria per ottenere l'accelerazione voluta ed eventualmente compensata tramite la forza di trazione o frenatura.

c) Riduzione della velocità: la forza dovuta alla pendenza deve essere compensata tramite la forza di frenatura.

Per la linea considerata sono stati analizzati i seguenti scenari ipotizzando partenza e arrivo al termine della tratta senza soste intermedie:

- Scenario 1. Forza e potenza necessaria per mantenere costante le velocità per treni di massa M=1.600 t ed M = 2.500 t, con una locomotiva in composizione ed integrazione della forza con motore lineare.
- Scenario 2. Diagramma di marcia del treno di massa M=1.600 t con una locomotiva in composizione ed integrazione della forza di trazione con motore lineare: calcolo dei parametri cinematici ed energetici.
- Scenario 3. 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 dei parametri cinematici ed energetici.

Scenario 1

La combinazione della pendenza e della velocità massima lungo la linea determina la potenza meccanica, calcolata alle ruote, necessaria per mantenere la velocità costante. Nella prima parte della linea, la potenza della locomotiva, date le pendenze più elevate, non è sufficiente per mantenere costante la velocità dei treni di massa M = 1.600 t (Fig. 8). Nella seconda parte le pendenze sono minori e non è necessaria l'integrazione della potenza.

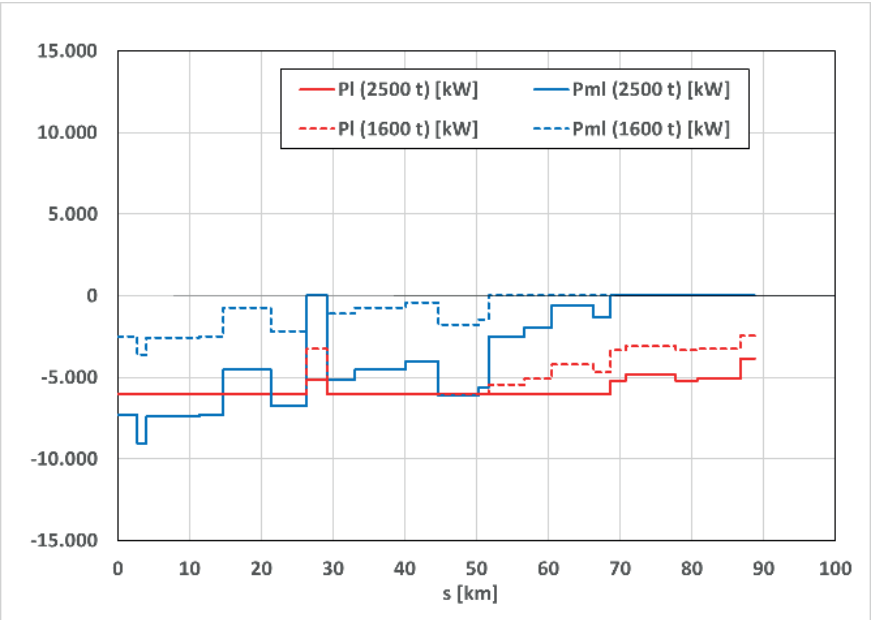


Figura 8 - Potenza della locomotiva Pl e del motore lineare Pml per mantenere costante la velocità sulla tratta in discesa.

Figure 8 - Locomotive power Pl and linear motor power Pml to keep speed constant on the downhill section.

were analysed, assuming departure and arrival at the ends of the section with no intermediate stops:

- *Scenario 1. Force and power required to keep speed constant for trains of mass M = 1,600 t and M = 2,500 t, with one locomotive in the consist and force supplementation from the linear motor.*
- *Scenario 2. Running diagram of the train with mass M = 1,600 t, with one locomotive in the consist and traction force supplementation from the linear motor: calculation of kinematic and energy parameters.*
- *Scenario 3. Running diagram of a train with mass M = 2,500 t, with one locomotive in the consist and traction force supplementation from the linear motor: calculation of kinematic and energy parameters.*

Scenario 1

The combination of gradient and maximum speed along the line determines the mechanical power, calculated at the wheels, needed to keep the speed constant. In the first part of the line, given the steeper gradients, the locomotive's power is not sufficient to keep the speed of trains with mass M = 1,600 t constant (Fig. 8). In the second part, the gradients are gentler and power supplementation is not needed.

The situation is different for trains with mass M = 2,500 t. In this case, except for a short section, power supplementation from the linear motor is almost always necessary (Fig. 8).

Scenario 2

In this scenario, the motion of the train with mass M = 1,600 t was simulated. Besides the start-up acceleration and stopping braking phases, the motion phases were determined with the aim of achieving the shortest possible journey time, making the fullest possible use of the maximum speeds permitted by the line (Fig. 9).

Apart from the acceleration and deceleration zones, the speed profile coincides with that of the line's maximum speeds. The journey time of about 1 hour corresponds to an average speed of about 87 km/h.

The locomotive's mechanical power varies with speed and gradient; it is almost always negative, i.e. braking, drops to zero over short sections, and becomes positive over short sections in the final part of the route in order to reach higher speeds (Fig. 10).

The linear motor's power is negative in the first part of the route, with high-power peaks over short sections corresponding to changes in the maximum permitted speed, and is almost always zero in the second part of the

Diversamente avviene per i treni con massa M = 2.500 t. In questo caso a parte un breve tratto è quasi sempre necessaria l'integrazione della potenza con il motore lineare (Fig. 8).

Scenario 2

In questo scenario è stato simulato il movimento del treno, di massa M = 1.600 t. Le fasi del moto, oltre quelle di accelerazione all'avviamento e di frenatura all'arresto, sono state determinate con l'obiettivo di ottenere il minor tempo possibile, sfruttando al massimo le velocità massime ammesse dalla linea (Fig. 9).

L'andamento della velocità, a parte le zone di accelerazione e decelerazione, coincide con quello delle velocità massime della linea. Il tempo di percorrenza di circa 1 h corrisponde ad una velocità media di circa 87 km/h.

La potenza meccanica della locomotiva varia al variare della velocità e della pendenza, è quasi sempre negativa, cioè frenante, si annulla per brevi tratti, diventa positiva per raggiungere velocità più elevate, in brevi tratti, nella parte finale del tracciato (Fig. 10).

La potenza del motore lineare è negativa nella prima parte del tracciato, con punte di alta potenza in brevi tratti in corrispondenza alle variazioni di velocità massima ammessa e, quasi sempre nulla, nella seconda parte del tracciato. A parte i brevi tratti di potenza elevata la potenza del motore lineare varia nella fascia 0-2.500 kW circa.

Per il calcolo dell'energia ci si è riferiti al diagramma delle potenze in funzione del tempo (Fig. 11); l'andamento è simile a quello delle potenze in funzione dello spazio essendo il tempo una funzione lineare dello spazio.

L'energia complessiva si può ottenere integrando la funzione della potenza rispetto al tempo.

Scenario 3

La potenza in funzione della massa è stata calcolata simulando il moto in discesa di un treno con massa M = 2.500 t procedendo in modo analogo a quello dello scenario 2.

Anche in questo caso il diagramma della velocità in funzione dello spazio è stato calcolato in modo da seguire il profilo di velocità massima della linea (Fig. 12). Il tempo di percorrenza sostanzialmente non cambia poiché le

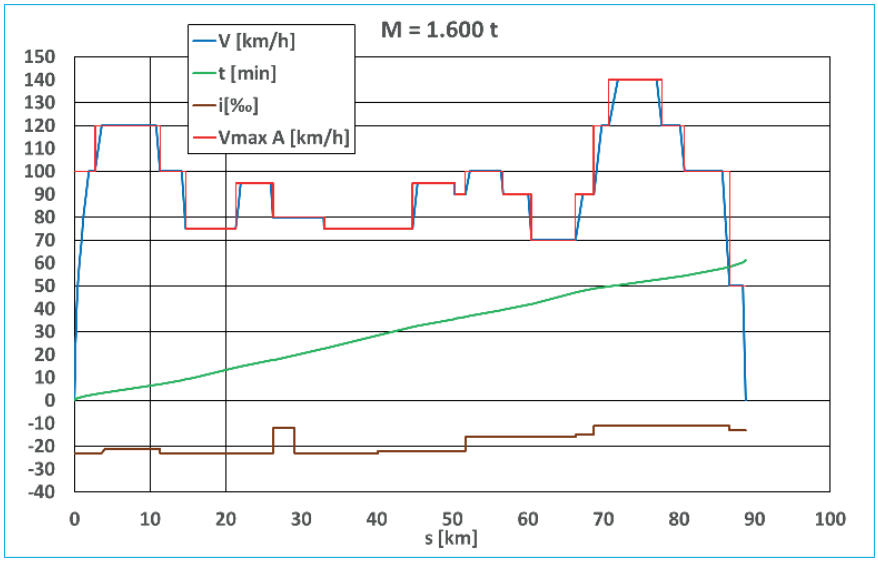


Figura 9 - Velocità massima, velocità di marcia, tempo e pendenza sulla tratta in discesa, M=1600t.

Figure 9 - Maximum speed, running speed, time and gradient on the downhill section, M = 1,600 t.

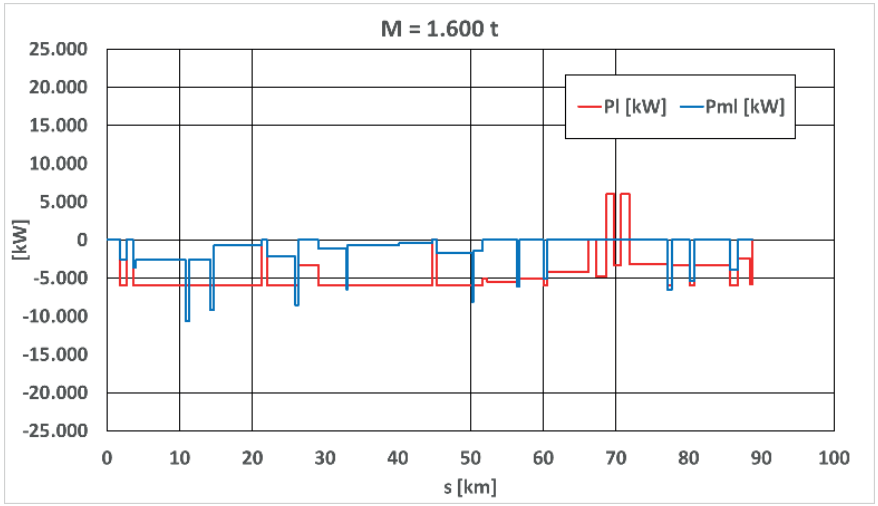


Figura 10 - Potenza della locomotiva e del motore lineare in funzione dello spazio.

Figure 10 - Locomotive and linear motor power as a function of distance.

route. Apart from the short sections of high power, the linear motor's power varies within a range of roughly 0-2,500 kW.

For the energy calculation, reference was made to the power-versus-time diagram (Fig. 11); the trend is similar to that of power versus distance, since time is a linear function of distance.

The total energy can be obtained by integrating the power function with respect to time.

Scenario 3

Power as a function of mass was calculated by simulating the downhill motion of a train with mass M = 2,500

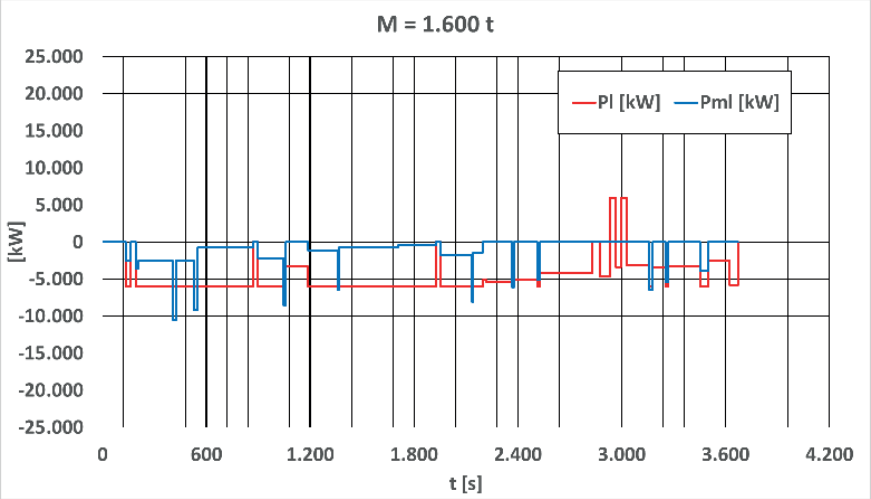


Figura 11 - Potenza della locomotiva e del motore lineare in funzione del tempo.

Figure 11 - Locomotive and linear motor power as a function of time.

accelerazioni e le decelerazioni sono simili nei due casi; le differenze si hanno per le potenze impiegate.

La potenza della locomotiva rimane circa costante negativa quindi frenante e pari al valore massimo, per quasi tutta la tratta (Fig. 13). Nella parte finale è richiesta una potenza positiva della locomotiva in corrispondenza agli aumenti della velocità massima ammessa.

La potenza del motore lineare, negativa quindi frenante è necessaria fino a circa 2/3 della lunghezza della tratta. Nell'ultima parte la potenza del motore lineare è necessaria, se si vuole realizzare il diagramma di marcia di figura 12, solo in alcuni brevi tratti per le fasi di rallentamento in corrispondenza alle riduzioni di velocità massima ammessa.

A parte i brevi tratti di potenza elevata la potenza del motore lineare varia nella fascia 0-7.500 kW circa.

L'andamento della potenza in funzione del tempo è riportato nella Fig. 14.

4.3. Energia recuperabile in sottostazione

L'energia recuperabile in sottostazione dipende dalla potenza erogata durante la frenatura elettrodinamica dalla locomotiva e dal motore lineare. La potenza recuperabile dalla sottostazione reversibile dipende dalle condizioni di marcia e dalla posizione del treno rispetto alla posizione della sottostazione. La sottostazione può recuperare l'energia prodotta dal treno che si trova nella sua area di influenza.

t, proceeding in a manner analogous to Scenario 2.

In this case too, the speed-versus-distance diagram was calculated so as to follow the line's maximum speed profile (Fig. 12). The journey time is essentially unchanged, since the accelerations and decelerations are similar in the two cases; the differences lie in the power levels used.

The locomotive's power remains approximately constant and negative – i.e. braking – and equal to the maximum value, for almost the entire section (Fig. 13). In the final part, positive locomotive power is required in correspondence with increases in the maximum permitted speed.

The linear motor's power, negative and therefore braking, is required for up to about two-thirds of the length of the section. In the final part, the linear motor's power is required, if the running diagram of Fig. 12 is to be achieved, only in a few short sections, for the deceleration phases corresponding to reductions in the maximum permitted speed.

Apart from the short sections of high power, the linear motor's power varies within a range of roughly 0-7,500 kW.

The trend of power as a function of time is shown in Fig. 14.

4.3. Energy recoverable at the substation

The energy recoverable at the substation depends on the power delivered during electrodynamic braking by the loco-

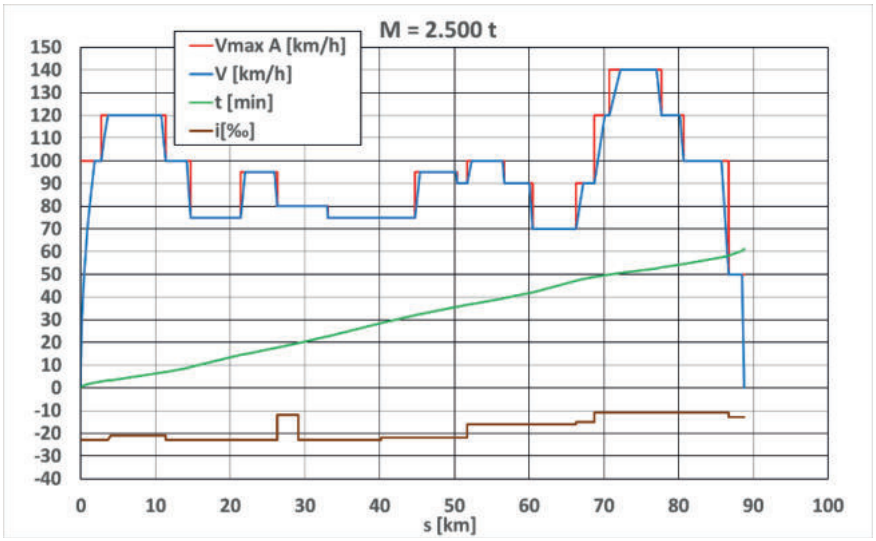


Figura 12 - Velocità massima, velocità di marcia, tempo e pendenza sulla tratta in discesa.

Figure 12 - Maximum speed, running speed, time and gradient on the downhill section.

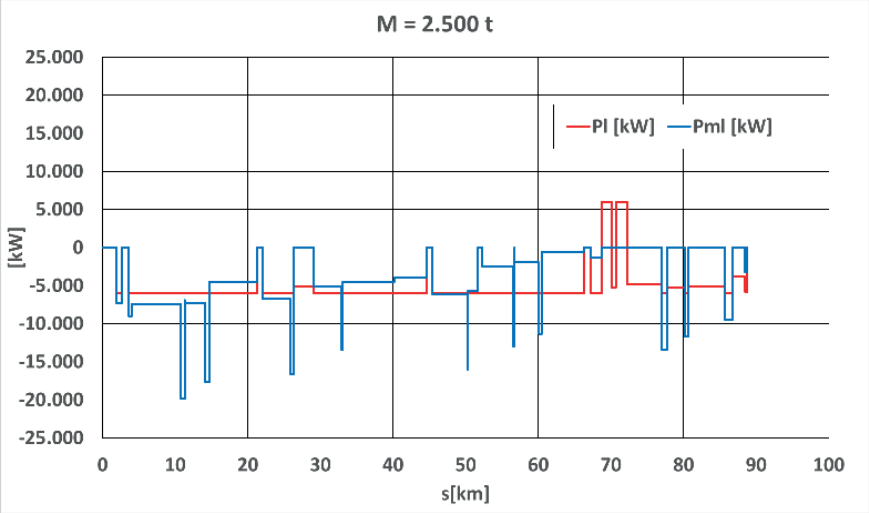


Figura 13 - Potenza della locomotiva e del motore lineare in funzione dello spazio.

Figure 13 - Locomotive and linear motor power as a function of distance.

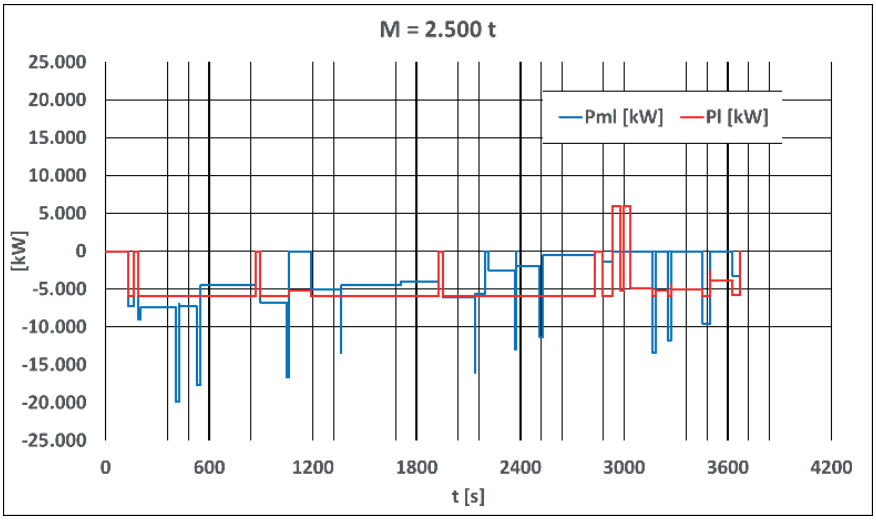


Figura 14 - Potenza della locomotiva e del motore lineare in funzione del tempo.

Figure 14 - Locomotive and linear motor power as a function of time.

L'energia recuperabile è stata calcolata per una sottostazione posta nella parte iniziale della tratta, in cui sono presenti le massime pendenze negative, con riferimento ad un treno di massa M = 2.500 t.

Le condizioni di marcia e le potenze erogate sono riportate nelle Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14.

Per il calcolo dell'energia recuperabile da una sottostazione vengono prese in considerazione, come esempio, tre sottostazioni contigue SSE1, SSE2, SSE3 poste nella parte iniziale del tracciato in cui vi sono le massime pendenze.

Le sottostazioni sono poste alle progressive chilometriche circa 4, 11 e 21 (Tab. 1).

motive and the linear motor. The power recoverable by the reversible substation depends on the running conditions and on the train's position relative to the substation. The substation can recover the energy produced by a train located within its area of influence.

The recoverable energy was calculated for a substation located in the initial part of the section, where the steepest negative gradients occur, with reference to a train of mass M = 2,500 t.

The running conditions and the power delivered are shown in Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14.

To calculate the energy recoverable by a substation, three adjacent substations SSE1, SSE2, SSE3, located in the initial part of the route where the steepest gradients occur, are considered as an example.

The substations are located at approximate kilometre markers 4, 11 and 21 (Tab. 1).

On these sections, speed varies within the range 75-120 km/h and gradient within the range -21‰ to -23‰; the route alternates between constant-speed, acceleration and deceleration phases.

To estimate the order of magnitude of the energy involved, reference was made to the space-weighted average value of the power Pl and Pml delivered on the sections between two substations.

The mechanical energy produced by the locomotive, El, and by the linear motor, Eml, was calculated by multiplying the respective power values by time.

The negative sign of power and energy indicates the direction of the power and energy produced by the train and sent to the substation during electrodynamic braking.

To calculate the share of energy recoverable by substation SSE2, located between SSE1 and SSE3, the area of influence was assumed to be equal to the sum of the half-distances between adjacent substations.

Tab. 2 shows the total power and energy recovered by SSE2, taking into account the overall mechanical and electrical efficiency of the two traction systems, locomotive η *1 and linear motor* η_{mb} *assumed, as a first approximation, to be 0.9.*

In the same way, the energy supplied by SSE2 on the same section in the opposite direction, i.e. uphill, was calculated; in this case the train draws power from the substation

Tabella 1 – *Table 1*
Energia prodotta nella sezione di linea da SSE1 a SSE2 e da SSE2 a SSE3 (tratte in discesa). Massa del treno M = 2.500 t
Energy produced on the line section from SSE1 to SSE2 and from SSE2 to SSE3 (downhill sections). Train mass M = 2,500 t

	SSE1-SSE2	SSE2-SSE3
s_1 [km]	3,997	11,340
s_2 [km]	11,340	21,352
L [km]	7,343	10,012
Pl [kW]	-6.000	-6.000
Pml [kW]	-8.371	-6.038
t [s]	222	443
El [kWh]	-370	-738
Eml [kWh]	-516	-743

In queste tratte la velocità varia nel campo 75-120 km/h, la pendenza nel campo -21 ‰ e -23 ‰; nel percorso si alternano fasi a velocità costante, di accelerazione e di rallentamento.

Per stimare ordini di grandezze delle energie in gioco si è fatto riferimento al valore medio ponderato rispetto allo spazio delle potenze Pl e Pml erogate nelle tratte tra due sottostazioni.

L'energia meccanica prodotta dalla locomotiva El e dal motore lineare Eml è stata calcolata moltiplicando le rispettive potenze per il tempo.

Il segno negativo della potenza e dell'energia indica il verso della potenza e dell'energia prodotta dal treno e inviata alla sottostazione durante la frenatura elettrodinamica.

Per calcolare la quota di energia recuperabile dalla sottostazione SSE2, intermedia tra SSE1 e SSE3, è stata ipotizzata l'area di influenza pari alla somma delle semi-distanze tra le sottostazioni contigue.

Nella Tab. 2 è riportata la potenza e l'energia recuperata complessiva dalla SSE2 tenendo conto dei rendimenti complessivi meccanico ed elettrico dei due sistemi di trazione, locomotiva η l e motore lineare η_{ml}, ipotizzati in prima approssimazione pari a 0,9.

In modo analogo è stata calcolata l'energia erogata dalla SSE2 sulla stessa tratta nel verso opposto cioè in salita, durante la quale il treno richiede dalla sottostazione potenza per la trazione sia per la locomotiva sia per il motore lineare (Tab. 3, Tab. 4). La velocità varia tra 75 e 120 km/h, la pendenza positiva varia tra 21 ‰ e 23 ‰.

Il segno positivo della potenza e dell'energia indica il verso della potenza e dell'energia richiesta dal treno alla sottostazione durante la trazione per la locomotiva e per il motore lineare.

L'energia recuperabile per effetto della frenatura elettrodinamica nella tratta in discesa è inferiore a quella necessaria per percorrere la stessa tratta nel verso opposto, in salita. Nella tratta in discesa diversamente dalla tratta *for traction, for both the locomotive and the linear motor (Tab. 3, Tab. 4). Speed varies between 75 and 120 km/h, and the positive gradient varies between 21‰ and 23‰.*

The positive sign of power and energy indicates the direction of the power and energy requested by the train from the substation during traction, for both the locomotive and the linear motor.

The energy recoverable through electrodynamic braking on the downhill section is lower than that required to travel the same section in the opposite direction, uphill. On the downhill section, unlike the uphill section, motion resistance reduces the braking force required to keep the speed constant or to vary it.

Excluding the effects of the catenary voltage limit and of losses along the line, the energy available for possible recovery downhill, for the section considered, is about 73% of the energy required uphill.

The recovered power and energy values (Tab. 2) represent ideal values, since they do not take into account power and energy losses due to the Joule effect.

Losses in conventional traction are a function of the electrical resistance of the line, R_{lc} and therefore of the conductor cross-section, the length of the contact line and track, and the current I_{lc}. For traction with the linear motor, losses are a function of the electrical resistance of the LSM stator supply line, R_{ml} and of the current I_{ml}.

The power actually recoverable for the locomotive, P_{le} and for the linear motor, P_{mle} are as follows

$$P_{le} = P_l - R_{lc} I_{lc}^2$$
$$P_{mle} = P_{ml} - R_{ml} I_{ml}^2$$

Considering the quantities of the conventional system and recalling the expressions

$$E = E_o + RI$$
$$I = \frac{E - E_0}{R}$$

it can be seen that the extent and range of recovery depend on the quantities given above.

Tabella 2 – *Table 2*
Energia recuperabile dalla SSE2 (tratta in discesa). Massa del treno M = 2.500 t
Energy recoverable by SSE2 (downhill section). Train mass M = 2,500 t

	SS2
Pl [kW]	-6.000
Pml [kW]	-7.204
El [kWh]	-554
ηl	0,900
Eml [kWh]	-630
ηml	0,900
Etot [kWh]	-1.065

in salita le resistenze al moto riducono la forza frenante necessaria a mantenere costante o a variare la velocità.

Escludendo gli effetti del limite di tensione della catenaria e delle perdite lungo la linea, l'energia disponibile per l'eventuale recupero in discesa, per la tratta considerata è circa il 73% dell'energia richiesta in salita.

I valori di potenza ed energia recuperata (Tab. 2), rappresentano valori ideali in quanto non considerano le perdite di potenza ed energia dovute all'effetto Joule.

Le perdite nella trazione convenzionale sono funzione della resistenza elettrica della linea R_{lc} e quindi della sezione dei conduttori, della lunghezza della linea di contatto e del binario, della corrente I_{lc}. Per la trazione con motore lineare le perdite sono funzione della resistenza elettrica della linea di alimentazione dello statore LSM del motore lineare R_{ml} e della corrente I_{ml}.

Le potenze effettivamente recuperabili per la locomotiva P_{le} e per il motore lineare P_{mle} risultano

$$P_{le} = P_l - R_{lc} I_{lc}^2$$
$$P_{mle} = P_{ml} - R_{ml} I_{ml}^2$$

Considerando le grandezze del sistema convenzionale ricordando le espressioni

$$E = E_o + RI$$
$$I = \frac{E - E_0}{R}$$

si può vedere come l'entità ed il raggio d'azione del recupero dipendano dalle grandezze sopra riportate.

Quanto sopra vale anche per il motore lineare dove, in questo caso, la forza elettromotrice generata dal motore in frenatura, a meno della caduta di tensione lungo i cavi di alimentazione dello statore deve superare la tensione lato rete affinché la corrente rigenerata possa fluire verso la SSE. Anche in questo caso la potenza recuperabile sarà tanto minore quanto più il treno sarà lontano dalla SSE.

La potenza che non può essere recuperata dovrà essere smaltita su resistenze accoppiate al sistema di alimentazione della locomotiva nella linea convenzionale e sulle resistenze in parallelo all'inverter c.c – c.a. del sistema di alimentazione del motore lineare.

A titolo di esempio le perdite per effetto Joule con il sistema tradizionale riferite alle condizioni simulate potrebbero aggirarsi intorno a 20-30% dell'energia recuperabile.

Per il sistema con motore lineare si dovranno valutare le perdite anche in funzione dell'architettura del sistema ed in particolare dal numero e dalla posizione dei settori LSM lungo il binario.

Nell'analisi dei sistemi di alimentazione, vedi Fig. 1, Fig. 2 si è fatto riferimento a schemi elettrici consolidati nei due sistemi convenzionale ed a motore lineare.

Lo schema elettrico relativo al sistema integrato, convenzionale e motore lineare, vedi Fig. 3, riprende, inve-

Tabella 3 – *Table 3*

Energia richiesta nelle sezioni di linea da SSE3 a SSE2 e da SSE2 a SSE1 (tratte in salita). Massa del treno M = 2.500 t

Table 3 - Energy required on the line sections from SSE3 to SSE2 and from SSE2 to SSE1 (uphill sections). Train mass M = 2,500 t

	SSE2-SSE1	**SSE3-SSE2**
s_1 [km]	11,340	21,352
s_2 [km]	3,997	11,340
L [km]	7,343	10,012
Pl [kW]	6.000	6.000
Pml [kW]	15.767	9.651
t [s]	225	435
El [kWh]	375	725
Eml [kWh]	985	1.166

Tabella 4 – *Table 4*

Energia richiesta alla SSE2 (tratta in salita). Massa del treno M = 2.500 t

Table 4 - Energy required from SSE2 (uphill section). Train mass M = 2,500 t

	SS2
Pl [kW]	6.000
Pml [kW]	12.709
El [kWh]	550
ηl	0,900
Eml [kWh]	1.076
ηml	0,900
Etot [kWh]	1.463

The above also applies to the linear motor, where, in this case, the electromotive force generated by the motor during braking, net of the voltage drop along the stator supply cables, must exceed the network-side voltage in order for the regenerated current to flow towards the SSE. In this case too, the recoverable power will be smaller the further the train is from the SSE.

The power that cannot be recovered must be dissipated in resistors coupled to the locomotive's power supply system on the conventional line, and in resistors connected in parallel with the DC–AC inverter of the linear motor's power supply system.

As an example, Joule-effect losses with the conventional system, referred to the simulated conditions, could be in the region of 20-30% of the recoverable energy.

For the linear motor system, losses will also need to be assessed as a function of the system architecture and, in particular, of the number and position of the LSM sectors along the track.

In the analysis of the power supply systems, see Fig. 1,

ce, quanto attualmente in sviluppo in fase di ricerca [20] [21].

Sulla tratta, oggetto dello studio, si ipotizzano SSE di cui alle progressive indicate nelle tabelle con le seguenti caratteristiche ipotizzando un valore di MT pari a 20kV:

- gruppi di trasformazione c.a. - c.c., 20 kV – 3 kV, 2 x 5,4 MW;
- sovraccarico gruppo 100% per 2h;
- sovraccarico gruppo 200% per 5';
- linea di alimentazione c.c. 3 kV.

In uno studio di fattibilità per l'alimentazione del sistema ipotizzato, costituito da una linea convenzionale supportata da un motore lineare tipo LSM, si potrebbe pensare all'utilizzo di SSE come sopra descritto, dimensionate sulla base delle potenze rispettivamente richieste e prodotte nelle due fasi di trazione e frenatura.

Rispetto alle SSE convenzionali le modifiche potrebbero consistere ad esempio in:

- modifiche ai quadri MT per l'inserimento del gruppo inverter;
- inserimento di uno o due gruppi inverter c.c. – c.a., 1 x 5 MW, o 2 x 5 MW;
- gruppi di 3-4 inverter c.c. – c.a., 3 kV – 2 kV da 2,5 MW per l'alimentazione dei settori dello statore LSM.

In modo analogo si potrebbe calcolare l'energia recuperabile per tutte le SSE dell'intera tratta. I valori ottenuti dipendono dalle semplificazioni adottate; i calcoli potrebbero essere estesi e approfonditi per confermare i vantaggi che potrebbero ottenersi adottando le innovazioni studiate.

5. Considerazioni conclusive

I risultati teorici ottenuti dimostrano che, per il caso studiato, le innovazioni analizzate possono contribuire al risparmio energetico in maniera significativa.

L'uso di Sottostazioni elettriche reversibili potrebbe consentire il recupero di energia indipendentemente dalla presenza di altri treni sulla linea come, ad esempio, su tratte in discesa percorse da treni merci pesanti.

Le SSE reversibili potrebbero derivare da quelle esistenti.

L'utilizzo di motori lineari insieme ai motori ad aderenza permette di integrare la trazione nei tratti in salita e la frenatura elettrodinamica nei tratti in discesa. I binari da attrezzare sono solo quelli delle zone in cui è necessaria la integrazione della potenza di trazione e frenatura. I veicoli vengono attrezzati solo con magneti permanenti.

Approfondimenti futuri riguardano sia gli aspetti tecnologici relativi alla compatibilità elettromagnetica del motore lineare con altri campi magnetici presenti sul binario, gli effetti sul segnalamento e sui veicoli, sia la rego-

Fig. 2, reference was made to established electrical schemes for both the conventional and the linear motor systems.

The electrical scheme for the integrated system, conventional and linear motor, see Fig. 3, instead reflects what is currently under development at the research stage [20][21].

On the section under study, SSEs are assumed at the kilometre markers indicated in the tables, with the following characteristics, assuming an MV value of 20 kV

- *AC-DC transformation units, 20 kV – 3 kV, 2 x 5.4 MW*
- *unit overload 100% for 2h*
- *unit overload 200% for 5'*
- *DC supply line 3 kV*

In a feasibility study for supplying the hypothesised system – a conventional line supported by an LSM-type linear motor – the use of SSEs as described above could be envisaged, sized on the basis of the power respectively required and produced during the traction and braking phases.

Compared with conventional SSEs, the modifications could consist, for example, of:

- *modifications to the MV switchgear to accommodate the inverter unit;*
- *installation of one or two DC–AC inverter units, 1 x 5 MW, or 2 x 5 MW*
- *groups of 3-4 DC–AC inverters, 3 kV – 2 kV, of 2.5 MW, for supplying the LSM stator sectors.*

In the same way, the recoverable energy could be calculated for all the SSEs along the entire section. The values obtained depend on the simplifications adopted; the calculations could be extended and refined to confirm the advantages that could be achieved by adopting the innovations studied.

5. Concluding remarks

The theoretical results demonstrate for the studied case that the innovations analysed can contribute significantly to saving energy.

The use of reversible electrical substations could enable energy recovery independently of the presence of other trains on the line, for example on downhill sections travelled by heavy freight trains.

Reversible SSEs could be derived from existing ones.

The use of linear motors together with adhesion motors would supplement traction on uphill sections and electrodynamic braking on downhill sections. Only the track sections in the zones where traction and braking power supplementation is needed have to be equipped. The vehicles are equipped only with permanent magnets.

Future in-depth studies concern both the technological aspects relating to the electromagnetic compatibility of the linear motor with other magnetic fields present on the track, the effects on signalling and on vehicles, and the regulation

lazione della marcia e la presenza di altri treni oltre che le valutazioni tecnico economiche per l'analisi dei benefici ottenibili rispetto ai costi da sostenere per l'attrezzaggio della infrastruttura e dei veicoli nell'ambito di un quadro di riferimento trasportistico.

of train movement and the presence of other trains, as well as the technical-economic assessments needed to analyse the benefits obtainable relative to the costs of equipping the infrastructure and the vehicles, within an overall transport reference framework.

BIBLIOGRAFIA - *REFERENCES*

[1] A. González-Gil, R. Palacin, P. Batty (2013), *"Sustainable urban rail systems: Strategies and technologies for optimal management of regenerative braking energy"*, Energy Conversion and Management, 75, 374–388.

[2] M. Popescu, A. Bitoleanu (2019), *"A Review of the Energy Efficiency Improvement in DC Railway Systems"*, Energies, 12(6), 1092.

[3] Y. Lu *et al.* (2019), *"Status analysis of regenerative braking energy utilization"*, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 20(9), 3247–3257.

[4] P. Arboleya, B. Mohamed, I. El-Sayed (2020), *"Off-board and on-board energy storage versus reversible substations in DC railway traction systems"*, IET Electrical Systems in Transportation, 10(2).

[5] D. Ramsey, T. Letrouve, A. Bouscayrol, P. Delarue (2021), *"Comparison of Energy Recovery Solutions on a Suburban DC Railway System"*, IEEE Transactions on Transportation Electrification, 7(3).

[6] RFI, (2021), *"Energia di trazione"*, (https://www.rfi.it/it/Sicurezza-e-tecnologie/tecnologie/energia/energia-di-trazione.html - Accesso/*Access* 4-8-2026).

[7] D. Cornic (2010), *"Efficient recovery of braking energy through a reversible dc substation"*, International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS 2010). IEEE.

[8] FS NEWS (2021), *"È di FS il primo prototipo europeo di recupero di energia elettrica dalla frenata dei treni. Il nuovo progetto di RFI nella stazione di Forlì, sulla linea Bologna-Rimini"*, (https://www.fsnews.it/it/focus-on/sostenibilita/2021/4/22/fs-energia-frenata-treni-progetto-rfi-stazione-forli.html - Accesso/*Access* 4-8-2026).

[9] GCFE *"Sottostazione a commutazione forzata di Forlì"*, (https://gcfe.it/i-nostri-successi/sottostazione-a-commutazione-forzata-di-forli - Accesso/*Access* 4-8-2026).

[10] FORLÌ TODAY (2024), *"Recuperare l'energia prodotta dai treni in frenata: primo impianto in Europa su rete 3kVcc"*, (https://www.forlitoday.it/cronaca/primo-impianto-recupero-energia-frenata-treni-ferrovia-3kvcc.html. Accesso/*Access* 9-7-2026).

[11] C.H. Bae, M.S. Han, Y.K. Kim, S.Y. Kwon, H.J. Park (2006), *"A study of capacity calculation of regenerative inverter for 1500V DC traction system"*, Computers in Railways X.

[12] F. Cutrignelli *et al*, (2023), *"Study of the Effects of Regenerative Braking System on a Hybrid Diagnostic Train"*, Energies, 16(2).

[13] K. Huang (2024), *"Positive Rail Voltage Rise Behavior and Inhibition Analysis of Regenerative Braking of Medium-Low-Speed Maglev Train"*, Energies, 17, 1782. https://doi.org/10.3390/en17071782.

[14] R.A.H. De Oliveira, L.S. Mattos, A.C. Ferreira, R.M. Stephan *"Regenerative braking of a linear induction motor used for the traction of Maglev vehicle"*

[15] V. Di Mario, R. Licciardello, G. Malavasi, L. Rizzetto, A. Rufino, P. Vitali (2025), *"Energy saving in Single-Track Regional Railways. Recupero di energia nelle ferrovie regionali a singolo binario"*, Ingegneria Ferroviaria, 3-2025. DOI: 10.57597/IF.03.2025.ART.1.

[16] V. Di Mario, G. Malavasi (2024), *"Energy consumption in metropolitan railways, Consumo energetico nelle ferrovie metropolitane"*, Ingegneria Ferroviaria, 4-2024. DOI: 10.57597/IF.04.2024.ART.1.

[17] D. Perreault, R. Thornton (1993), *"Power Electronics for Linear Synchronous Motor Propulsion System"*, Massachusetts Institute of Technology.

[18] Y. Lee, J. Kim, H. Kim (2011), *"Modeling for Power Supply Substation in Maglev Train System"*, 21st International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, Daejeon, Korea.

[19] A. Binder *"New Technologies of Electric Energy Converters and Actuators"*, TU Darmstadt. https://www.etit.tu-darmstadt.de (Accesso/*Access* 1-11-2025).

[20] EUROPE'S RAIL – MADE4RAIL 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.

[21] EUROPE'S RAIL – MADE4RAIL PROJECT – DELIVERABLE D 7.2 (2024), *"Technical feasibility study of the maglev derived system in the use cases selected"*, 31-07-2024.

[22] A. Bardhi, V. Di Mario, G. Malavasi, L. Rizzetto (2025), *"Adhesion traction systems integrated with linear motor. Sistemi di trazione ad aderenza integrati con motori lineari"*, Ingegneria Ferroviaria, 11-2025. DOI: 10.57597/IF.11.2025.ART.1.

[23] R. Lamedica, A. Geri, M. Maccioni, A. Ruvio, F. Carere, S. Costantino, C. Spalvieri, I. Rossetta, M. Stellin (2022), *"Energy storage system for voltage regulation in a 3kV DC Italian railway line"*, 2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering. DOI: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope54979.2022.9854794.

[24] M.B. Caracciolo, M. Brenna, D. Zaninelli (2015), *"Conversion system for braking energy recovery in 3kV DC railway line"*, 2015 AEIT International Annual Conference (AEIT). DOI: 10.1109/AEIT.2015.7415256.

[25] G. Malavasi, P. Palleschi, S. Ricci (2011), *"Driving and operation strategies for traction-energy saving in mass rapid transit systems"*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, September 2011, 225: 475-482, doi: 10.1177/2041301710395077. ISSN: 0954-4097.

MORSETTIERE SEZIONABILI
per Segnalamento e Sicurezza Ferroviaria

Negli impianti ferroviari, la connessione tra i conduttori multipolari e le apparecchiature di linea richiede la massima affidabilità.

Le nostre morsettiere rispondo a questa esigenza con un design evoluto e compatto: grazie ai morsetti a codolo saldabili brevettati, possono essere installate direttamente su schede elettroniche (PCB).

Massima modularità: Disponibili in configurazioni da 2, 4, 8 e 12 poli.

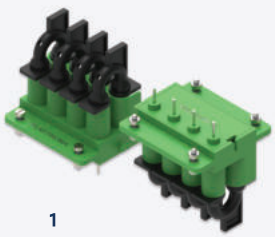
Flessibilità totale: Accoppiabili secondo le specifiche necessità del progetto.

Ingombro ridotto: Ottimizzazione dello spazio senza compromessi sulla sicurezza.

Scopri la gamma completa sul catalogo:
www.plastiroma.it

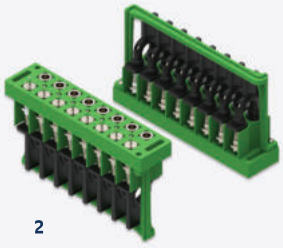
PLASTIROMA® S.r.l.

1. Morsettiera modulare 4 poli



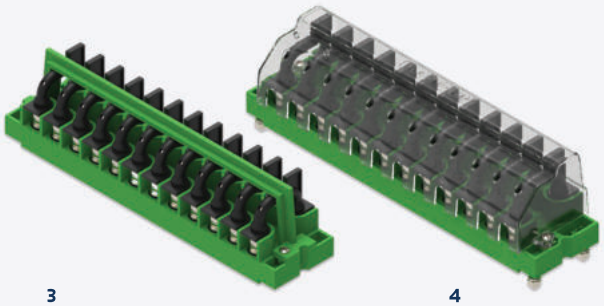
1

2. Morsettiera mini-mini 8 poli



2

3. Morsettiera 825/255
4. Morsettiera 825/255 con protezione trasparente



3 4

Metodologia logica per il supporto decisionale nella progettazione del trasporto a fune urbano

A logical methodology for decision support in the engineering design of urban cable transport

Andrea Mosca [*]
Stefano Bazzolo [**]

(https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.09.2026.ART.2)

Sommario - Il presente articolo parte dall'evidenziare come l'attuale espansione del mercato degli impianti a fune verso la mobilità urbana (e più in generale di trasporto pubblico locale) richieda strumenti più oggettivi per scegliere la tecnologia più adatta ai nuovi contesti territoriali, che introducono nuove complessità fisiche e legate alla sostenibilità ambientale, economica e sociale. Dopo un inquadramento dello stato dell'arte e dei principali riferimenti tecnici e normativi, viene presentata la struttura

Summary - *This paper begins by highlighting how the current expansion of the cableway market into urban mobility (and, more generally, local public transport) requires more objective tools for selecting the technology best suited to new territorial contexts, which introduce new physical complexities as well as challenges relating to environmental, economic and social sustainability. Following an overview of the state of the art and the main technical and regulatory references, the structure of the proposed decision-making*

Elenco delle variabili utilizzate, con relativi simboli e unità di misura
List of variables used, with their corresponding symbols and units of measurement

Simbolo ***Symbol***	**Descrizione** ***Description***	**Unità di misura** ***Unit of measurement***
	Parametri di domanda e prestazione *Demand and performance parameters*	
Q	Portata oraria del ramo *Hourly capacity of the branch*	[pax/h]
Q_{input}	Portata oraria richiesta dalla domanda *Hourly capacity required by demand*	[pax/h]
C	Capienza del singolo veicolo *Single vehicle capacity*	[pax]
C_{id}	Capienza ideale necessaria a garantire *Ideal single vehicle capacity required to ensure*	[pax]
n_{pax}	Numero di passeggeri simultaneamente presenti su un ramo *Number of passengers present simultaneously on a branch*	[pax]
n'_{pax}	Numero effettivo di passeggeri simultaneamente presenti su un ramo, dopo la verifica dell'equidistanza minima *Actual number of passengers present simultaneously on a branch, after verification of the minimum spacing*	[pax]
$N_{pax,vu}$	Numero totale di passeggeri trasportabili nell'intera vita attesa dell'impianto *Total number of passengers that can be carried over the expected lifetime of the system*	[pax]
	Parametri geometrici e cinematici *Geometric and kinematic parameters*	
l	Lunghezza del ramo *Length of the branch*	[m]
l_b	Lunghezza della banchina *Length of the platform*	[m]
v	Velocità di regime *Operating speed*	[m/s]

[*] Dimensione Ingenierie.
[**] Dimensione Ingenierie. Politecnico di Torino, dip. DIATI Trasporti.

[*] *Dimensione Ingenierie.*
[**] *Dimensione Ingenierie. Polytechnic University of Turin, DIATI Department – Transport.*

a	Valore assoluto di accelerazione e decelerazione *Absolute values of acceleration and deceleration*	[m/s²]
t_r	Tempo trascorso in linea a velocità di regime *Time spent on the line at operating speed*	[s]
t_v	Tempo trascorso in linea in fase di accelerazione e decelerazione *Time spent on the line during acceleration and deceleration*	[s]
t_s	Tempo di permanenza in stazione *Time spent at the station*	[s]
	Parametri di imbarco e sbarco *Boarding and alighting parameters*	
t_{vet}	Tempo operativo del vetturino *Attendant operating time*	[s]
t_v	Tempo di varco per persona *Passage time per person*	[s]
n_v	Numero di varchi simultanei possibili sul veicolo *Number of simultaneous boarding points possible on the vehicle*	[pax]
$n_{v,p}$	Numero di varchi simultanei per ingresso *Number of simultaneous entries per entrance*	[pax]
n_p	Numero di ingressi *Number of entrances*	[-]
	Parametri relativi a veicoli, intertempi ed equidistanze *Parameters relating to vehicles, headways and spacing*	
n_{veh}	Numero di veicoli simultaneamente presenti su un ramo *Number of vehicles present simultaneously on a lane*	[veh]
n_{veh}	Numero effettivo di veicoli simultaneamente presenti su un ramo, dopo la verifica dell'equidistanza minima *Actual number of vehicles present simultaneously on a branch, after checking for the minimum spacing*	[veh]
i	Intertempo tra veicoli *Headway between vehicles*	[s]
e	Equidistanza tra veicoli *Spacing between vehicles*	[m]
e'	Equidistanza effettiva *Effective spacing*	[m]
e_{min}	Equidistanza minima consentita *Minimum permitted spacing*	[m]
e_l	Equidistanza in linea *Linear spacing*	[m]
e'_l	Equidistanza effettiva in linea, dopo la verifica dell'equidistanza minima *Effective in-line spacing, following verification of the minimum spacing*	[m]
e_s	Equidistanza in stazione *Spacing at the station*	[m]
e'_s	Equidistanza effettiva in stazione, dopo la verifica dell'equidistanza minima *Effective spacing at the station, after verification of the minimum spacing*	[m]
$e_{s,min}$	Equidistanza minima di stazione *Minimum station spacing*	[m]
	Parametri economici e indicatori sintetici *Economic parameters and summary indicators*	
E_i	Costo totale d'investimento dell'impianto *Total investment cost of the plant*	[€]
E_e	Valore sintetico dei costi di esercizio *Summary figure for operating costs*	[€]
e_{pax}	Costo unitario per passeggero trasportato *Unit cost per passenger carried*	[€/pax·km]
o	Tasso di ottimizzazione *Optimisation rate*	[-]
r	Tasso di riempimento *Fill factor*	[-]

del modello decisionale proposto, basato su tre livelli di analisi. Il primo capitolo operativo riguarda lo strato di capacità, che confronta le principali tecnologie funiviarie in funzione di lunghezza della linea e portata richiesta, definendone i domini di ammissibilità. Il secondo approfondisce lo strato di configurazione, dedicato alla contestualizzazione nel territorio delle soluzioni tecnologiche tramite strumenti GIS-operativi e strumenti di calcolo di linea. Il terzo descrive lo strato di impatto, nel quale le alternative vengono valutate con un'analisi multicriterio secondo aspetti economici, ambientali e sociali. Infine, l'articolo presenta applicazioni a casi studio reali, analizza i risultati ottenuti e conclude evidenziando potenzialità e limiti del metodo.

1. Introduzione

Negli ultimi decenni, il settore funiviario ha conosciuto un cambiamento radicale, passando da mercato strettamente legato al turismo montano a componente sempre più considerata anche nei sistemi di mobilità urbana.

La diminuita domanda di impianti funiviari in ambito sciistico-montano è causata da una contrazione delle attività sciistiche, a sua volta facilitata da una serie di fattori convergenti.

In *primis*, l'impatto dei cambiamenti climatici e del riscaldamento globale, che stanno sensibilmente riducendo la finestra temporale di esercizio dei comprensori sciistici. Tale riduzione, sommata a costi di gestione sempre più elevati (si citano ad esempio i costi per la produzione di neve artificiale), mette a rischio la sostenibilità economica di molti comprensori.

Inoltre, l'attività sciistica tradizionale ha largamente perso competitività rispetto ad altri settori turistici e del *leisure*, in quanto risulta economicamente sempre meno accessibile, penalizzata dall'aumento costante dei costi di gestione e manutenzione dei comprensori, che si riflette sul prezzo degli skipass; mentre l'evoluzione tecnologica e tariffaria del trasporto ferroviario e aereo ha reso più competitivo il turismo urbano e culturale, una delle principali alternative alla pratica sciistica invernale.

Allo stesso tempo cresce, a livello istituzionale e tecnico, l'attenzione verso forme di mobilità urbana più sostenibili dal punto di vista sociale ed ambientale, più scalabili e più adattabili a contesti territoriali complessi. In questo scenario, gli impianti a fune si sono rivelati soluzioni efficaci ai problemi di congestione e carenza di infrastrutture dedicate, come dimostrano vari esempi internazionali (si citano, a titolo di esempio, i contributi portati all'attenuazione o alla risoluzione di problematiche sociali e trasportistiche in grandi città dell'area andina, quali La Paz-El Alto in Bolivia e Medellin in Colombia, da sistemi di trasporto integrato basati sulla mobilità aerea a fune).

Il passaggio dal contesto montano a quello urbano, tuttavia, non rappresenta soltanto un cambiamento geografico: comporta la necessità di ridefinire radicalmente

model is presented, based on three levels of analysis. The first operational chapter concerns the capacity layer, which compares the main cableway technologies in terms of line length and required hourly capacity, defining their eligibility criteria. The second chapter examines the configuration layer, dedicated to contextualising technological solutions within the territory using operational GIS tools and line calculation tools. The third chapter describes the impact layer, in which alternatives are assessed using a multi-criteria analysis based on economic, environmental and social aspects. Finally, the paper presents applications to real-world case studies, analyses the results obtained and concludes by highlighting the method's potential and limitations.

1. Introduction

Over the last few decades, the cableway sector has undergone a radical transformation, evolving from a market closely linked to mountain tourism to one that is increasingly regarded as an integral part of urban transport systems.

The decline in demand for cableway systems in the ski and mountain sector is caused by a contraction in skiing activities, which is in turn driven by a number of converging factors.

First and foremost, the impact of climate change and global warming, which are significantly reducing the operating season for ski resorts. This reduction, combined with ever-increasing operating costs (such as the costs of producing artificial snow), is jeopardising the economic sustainability of many resorts.

Furthermore, traditional skiing has largely lost its competitive edge compared with other tourism and leisure sectors, as it is becoming increasingly less affordable, hampered by the constant rise in the costs of managing and maintaining ski resorts, which is reflected in the price of ski passes; whilst technological and pricing developments in rail and air travel have made urban and cultural tourism, one of the main alternatives to winter skiing, more competitive.

At the same time, there is growing attention, at both institutional and technical levels, towards forms of urban mobility that are more socially and environmentally sustainable, more scalable and better suited to complex territorial contexts. In this context, cableway systems have proved to be effective solutions to problems of congestion and a lack of dedicated infrastructure, as demonstrated by various international examples (including, for instance, the contributions made to mitigating or resolving social and transport issues in major cities in the Andean region, such as La Paz-El Alto in Bolivia and Medellín in Colombia, by integrated transport systems based on aerial cableway mobility).

The transition from a mountainous to an urban context, however, is not merely a geographical shift: it entails the need to radically redefine design requirements and evaluation criteria. In metropolitan areas, more stringent structural, regulatory and landscape constraints come into play, alongside population density, the need for integration with

esigenze progettuali e criteri di valutazione. Nelle aree metropolitane entrano infatti in gioco vincoli strutturali, normativi e paesaggistici più stringenti, la densità abitativa, l'esigenza di integrazione con le reti di trasporto esistenti e requisiti crescenti di sostenibilità sociale, ambientale ed economica.

Di fronte a tali sfide, emerge un limite nella prassi progettuale attuale: la scelta della tecnologia impiantistica, all'interno del ventaglio dei sistemi a fune aerei, avviene spesso in modo empirico, basandosi sull'esperienza del progettista o su valutazioni parziali. Per superare questo approccio, nasce l'idea di sviluppare un modello logico-operativo in grado di guidare la selezione della soluzione tecnologica ottimale, con particolare attenzione ai contesti urbani e periurbani del trasporto pubblico. Oltre alla soluzione tecnologica ottimale in funzione del tragitto percorso e della portata oraria richiesta, il modello proposto permette anche di avviare un processo di automazione di specifiche componenti operative, tra cui il calcolo della linea funiviaria.

2. Stato dell'arte

L'attuale letteratura sul trasporto a fune urbano evidenzia un ambito in rapida evoluzione, nel quale emerge con chiarezza la necessità di strumenti metodologici capaci di rendere il processo di scelta tecnologica più sistemico, replicabile e trasparente. In molti casi, la selezione tra alternative impiantistiche risulta ancora guidata prevalentemente dall'esperienza progettuale e da valutazioni settoriali, mentre l'incremento dei vincoli urbani e delle istanze di sostenibilità richiede approcci integrati e multicriterio, supportati da indicatori confrontabili e da procedure formalizzate [1][2][3][4][5][6][7].

In ambito nazionale, un riferimento centrale è il rapporto UNI/TR 11735 [8], che inquadra i C-APM (*Cable-driven Automated People Mover*) come sistemi concepiti per applicazioni urbane e propone criteri progettuali integrati relativi alla configurazione di linea, alle stazioni, ai requisiti funzionali e ai parametri energetici ed economici. Tale procedura si innesta su un filone consolidato di studi che, già nelle prime formalizzazioni dei sistemi APM di derivazione funiviaria, ha definito metodologie di progettazione e architetture di rete per sistemi automatici con trazione a fune [9], oltre a proporre configurazioni a struttura reticolare e relative implicazioni di esercizio [10]. In parallelo, contributi di rassegna e inquadramento dei sistemi di trasporto innovativi includono i sistemi terrestri a fune e gli APM a fune tra le alternative a guida vincolata, rafforzandone il razionale applicativo nei contesti urbani [1].

Un asse di ricerca particolarmente rilevante riguarda la caratterizzazione prestazionale e la modellazione energetica dei sistemi ibridi e automatizzati. Studi dedicati alla progettazione e modellazione di APM con trazione a fune evidenziano il potenziale di tali soluzioni nel contenimento dei fabbisogni energetici e nella gestione ottimizzata dell'esercizio [11], mentre lavori successivi approfondi-

existing transport networks, and growing requirements for social, environmental and economic sustainability.

Faced with these challenges, a limitation in current design practice becomes apparent: the choice of plant technology, within the range of aerial cable systems, is often made empirically, based on the designer's experience or on partial assessments. To move beyond this approach, the idea has emerged to develop a logical-operational model capable of guiding the selection of the optimal technological solution, with a particular focus on urban and peri-urban public transport contexts. In addition to identifying the optimal technological solution based on the route and the required hourly capacity, the proposed model also enables the automation of specific operational components, including the calculation of the cableway route.

2. State of the art

The current literature on urban cable transport highlights a rapidly evolving field, in which there is a clear need for methodological tools capable of making the technological selection process more systematic, replicable and transparent. In many cases, the selection between system alternatives is still guided predominantly by design experience and sector-specific assessments, whilst the increase in urban constraints and sustainability requirements calls for integrated, multi-criteria approaches, supported by comparable indicators and formalised procedures [1][2][3][4][5][6][7].

At national level, a key reference is the UNI/TR 11735 report [8], which defines C-APMs (Cable-driven Automated People Movers) as systems designed for urban applications and proposes integrated design criteria relating to line configuration, stations, functional requirements, and energy and economic parameters. This approach builds on a well-established body of research which, as early as the initial formalisation of APM systems derived from cableway technology, defined design methodologies and network architectures for automated cable-driven systems [9], as well as proposing mesh-structured configurations and their operational implications [10]. In parallel, review papers and overviews of innovative transport systems include ground-based cable systems and cable-based APMs amongst the alternatives to fixed-guide systems, reinforcing their rationale for application in urban contexts [1].

A particularly significant area of research concerns the performance characterisation and energy modelling of hybrid and automated systems. Studies dedicated to the design and modelling of cable-driven APMs highlight the potential of such solutions to reduce energy requirements and optimise operational management [11], whilst subsequent work delves deeper into the modelling of line components (such as rollers) to provide a more robust estimate of energy consumption and losses [12]. The simulation analyses also extend to scenarios involving integration with photovoltaic installations and energy storage systems, assessing the effect on reducing energy drawn from the grid and on the prospects for energy self-sufficiency [13]. In parallel, modal comparison studies and im-

scono la modellazione di componenti di linea (ad esempio i rulli) per una stima più robusta dei consumi e delle perdite [12]. Le analisi di simulazione si estendono inoltre a scenari di integrazione con impianti fotovoltaici e sistemi di accumulo, valutando l'effetto sulla riduzione dell'energia prelevata dalla rete e sulle prospettive di autosufficienza energetica [13]. In parallelo, studi di comparazione modale e di analisi degli impatti aggiornano il quadro su consumi, prestazioni e tendenze moderne degli impianti a fune urbani, contribuendo alla definizione di metriche energetico-ambientali coerenti [2], mentre ulteriori approfondimenti di tipo tecnico-scientifico sono raccolti in contributi monografici e tesi dedicate a sistemi innovativi "*cable-driven*" per il trasporto urbano [3]. A livello di pianificazione, l'integrazione tra modelli energetici e modelli di trasporto costituisce un supporto metodologico per impostare indicatori e scenari coerenti nella valutazione comparata delle opzioni [7].

Sul versante tecnico-economico e normativo, la letteratura propone confronti strutturati tra tecnologie funiviarie e sistemi affini, con particolare enfasi su prestazioni, costi di realizzazione, esercizio e manutenzione, anche in relazione all'evoluzione delle prescrizioni tecniche [14]. Tali contributi sono coerenti con gli studi più recenti che hanno aggiornato il quadro tecnologico ed economico del trasporto pubblico locale, fornendo così le basi operative per la prefattibilità e per lo screening delle alternative [15], con contributi fondativi sulla teoria dei flussi nel trasporto a fune, rilevanti per la definizione di capacità e condizioni di esercizio [16]. Il quadro di riferimento è completato dagli atti regolatori che disciplinano progettazione ed esercizio degli impianti a fune in servizio pubblico, con ricadute dirette su requisiti, verifiche e ammissibilità delle soluzioni in contesti urbani e territorialmente vincolati [17][18][19].

A livello internazionale, l'esigenza di formalizzare procedure decisionali è riscontrabile in contributi che introducono algoritmi di supporto decisionale per reti intermodali includenti sistemi funiviari urbani, integrando vincoli di rete, prestazioni e criteri di valutazione in un processo strutturato [4]. In parallelo, la crescente attenzione agli impatti ambientali ha portato a studi basati su *Life Cycle Assessment* applicati a nuove infrastrutture funiviarie, con focus su indicatori ambientali, utili alla definizione di criteri di sostenibilità [5]. Inoltre, la letteratura sui casi applicativi evidenzia il potenziale delle funivie nel miglioramento dell'accessibilità e nella connessione di aree urbanamente critiche, con implicazioni sulla scelta di tracciato e di configurazione impiantistica [6].

Dal punto di vista operativo, la disponibilità di strumenti di calcolo e di valutazione multicriterio è un elemento abilitante per la trasposizione delle metodologie in procedure applicative: software di verifica e dimensionamento di linea, quali CDP (*Cableway Design Package*, in italiano noto come SIF), supportano la verifica di configurazioni monofune in diverse tipologie impiantistiche [20], mentre piattaforme per l'analisi multicriterio basate sulla famiglia

pact analyses provide an updated picture of consumption, performance and current trends in urban cableway systems, contributing to the definition of consistent energy and environmental metrics [2], whilst further technical and scientific insights are compiled in monographs and theses dedicated to innovative 'cable-driven' systems for urban transport [3]. At the planning level, the integration of energy models and transport models provides a methodological framework for establishing consistent indicators and scenarios in the comparative assessment of options [7].

From a technical, economic and regulatory perspective, the literature offers structured comparisons between cableway technologies and similar systems, with particular emphasis on performance, construction costs, and operation and maintenance costs, including in relation to developments in technical regulations [14]. These contributions are consistent with the most recent studies, which have updated the technological and economic framework of local public transport, thereby providing the operational basis for pre-feasibility studies and the screening of alternatives [15], with foundational contributions on the theory of passenger flows in cableway transport, which are relevant for defining capacity and operating conditions [16]. The framework is complemented by the regulatory acts governing the design and operation of cableway systems in public service, with direct implications for the requirements, assessments and eligibility of solutions in urban and spatially constrained contexts [17][18][19].

At an international level, the need to formalise decision-making procedures is evident in studies introducing decision-support algorithms for intermodal networks incorporating urban cableway systems, integrating network constraints, performance and evaluation criteria into a structured process [4]. At the same time, growing attention to environmental impacts has led to studies based on Life Cycle Assessment applied to new cableway infrastructure, with a focus on environmental indicators useful for defining sustainability criteria [5]. Furthermore, the literature on case studies highlights the potential of cableways to improve accessibility and connect urban areas of critical importance, with implications for route selection and system configuration [6].

From an operational perspective, the availability of multi-criteria calculation and evaluation tools is a key enabler for translating methodologies into practical procedures: line verification and sizing software, such as CDP (Cableway Design Package, known in Italian as SIF), supports the verification of single-cable configurations across different system types [20], whilst multi-criteria analysis platforms based on the ELECTRE family (e.g. J-Electre) enable the formalisation of ranking and selection processes [21]. Finally, technical reference texts complete the picture by offering a comprehensive overview of the evolution, constituent elements, design criteria and operation of ropeway systems [22].

Overall, the state-of-the-art points to the need for logical methodologies capable of integrating territorial constraints, performance, technical and economic factors, and energy and environmental indicators into a well-founded and documentable decision-making process.

ELECTRE (ad esempio J-Electre) consentono di formalizzare processi di ranking e selezione [21]. Infine, testi tecnici di riferimento completano il quadro offrendo una sintesi organica su evoluzione, elementi costitutivi, criteri di progettazione ed esercizio degli impianti a fune [22].

Nel complesso, lo stato dell'arte converge verso la necessità di metodologie logiche in grado di integrare vincoli territoriali, prestazioni, componenti tecnico-economiche e indicatori energetico-ambientali in un processo di scelta motivato e documentabile.

3. Struttura del modello

L'impostazione del modello presentato in questo articolo si basa sull'utilizzo di un numero estremamente ridotto di dati in ingresso, limitato a tre parametri fondamentali legati alle esigenze progettuali: il punto sede della stazione di origine, il punto che ospita la stazione di destinazione e la portata oraria richiesta dalla domanda.

A questi si affiancano alcuni dati integrativi, definiti a priori, come la vita tecnica attesa dell'impianto e il numero di ore di servizio ipotizzate, che contribuiscono a contestualizzare l'analisi.

Il modello elabora queste informazioni attraverso il loro filtraggio in tre livelli di analisi: strato di capacità; strato di configurazione; strato di impatto. Al termine del filtraggio, il modello produce un insieme di soluzioni tecnologiche conformi ai vincoli normativi vigenti, dimensionate in modo adeguato e coerenti con le specificità territoriali. Le alternative risultanti vengono poi ordinate in base al grado di compatibilità con i principi di sostenibilità, intesa come equilibrio tra dimensioni economiche (sia dal punto di vista dell'esercente sia dell'utenza), ambientali e sociali, privilegiando le opzioni che garantiscono il miglior bilanciamento tra esse.

All'interno del processo di filtraggio, una fase cruciale è rappresentata dalla contestualizzazione territoriale, finalizzata alla verifica della compatibilità tra le tecnologie funiviarie e le caratteristiche urbanistiche, morfologiche e vincolistiche del sito. Tale verifica comporta la necessità di configurare profili di linea, utili a simulare l'inserimento della soluzione tecnologica nei vari contesti del progetto. L'obiettivo è quello di sfruttare questa fase per ottenere non solo una gerarchia delle soluzioni più efficaci, ma anche una linea funiviaria calcolata per ogni soluzione ammissibile che risulti coerente con il quadro normativo e vincolistico vigente, nonché ottimizzata sotto il profilo economico e operativo.

4. Lo strato di capacità

Nel primo strato, dedicato alla capacità, il modello considera quattro categorie tecnologiche principali, corrispondenti ad altrettanti approcci impiantistici:

- impianti ad ammorsamento fisso a va-e-vieni;

3. Model structure

The approach of the model presented in this paper is based on the use of an extremely small amount of input data, limited to three fundamental parameters linked to design requirements: the location of the departure station, the location of the arrival station, and the hourly capacity required by demand.

These are supplemented by certain additional data, defined in advance, such as the expected technical lifespan of the plant and the assumed number of operating hours, which help to contextualise the analysis.

The model processes this information by filtering it through three levels of analysis: the capacity layer; the configuration layer; and the impact layer. Once the filtering is complete, the model produces a set of technological solutions that comply with current regulatory constraints, are appropriately scaled and consistent with local specificities. The resulting alternatives are then ranked according to their degree of compatibility with the principles of sustainability, understood as a balance between economic (from the perspective of both the operator and users), environmental and social dimensions, giving priority to the options that ensure the best balance between them.

A crucial stage in the screening process is the territorial contextualisation, which aims to assess the compatibility between cableway technologies and the site's urban planning, topographical and regulatory constraints. This assessment requires the creation of line profiles, which are used to simulate the integration of the technological solution into the various project contexts. The aim is to use this stage to establish not only a hierarchy of the most effective solutions, but also a calculated cableway route for each viable solution that complies with the current regulatory and planning framework, whilst being optimised from both an economic and operational perspective.

4. The capacity layer

In the first layer, dedicated to capacity, the model considers four main technological categories, corresponding to four distinct system approaches:

- *fixed-grip cableways with shuttle movement;*
- *fixed-grip cableways with intermittent movement (pulsed);*
- *fixed-grip cableways with continuous-movement (fixed gondolas);*
- *detachable-grip cableways with continuous-movement.*

For each of these types, a feasibility domain is defined based on the combination of hourly capacity Q and lift length L. In other words, for each technological solution, the hourly capacity - length combinations that allow for a technically and regulatory feasible configuration are identified.

Starting from the input data (the required hourly capacity Q and the length L of the route, the latter derived from the

- impianti ad ammorsamento fisso a movimento intermittente (*pulsée*);
- impianti ad ammorsamento fisso a movimento continuo (cestovie);
- impianti ad ammorsamento automatico.

Per ciascuna di queste tipologie viene definito un dominio di ammissibilità basato sulla combinazione tra portata oraria Q e lunghezza dell'impianto L. In altre parole, per ogni soluzione tecnologica, si individuano le combinazioni portata - lunghezza che consentono di ottenere una configurazione tecnicamente e normativamente realizzabile.

A partire dai dati di input (la portata richiesta Q e la lunghezza L del tracciato, quest'ultima derivata dalle coordinate di origine e destinazione) il modello verifica l'appartenenza della coppia portata-lunghezza desiderata ai domini di ammissibilità delle diverse tecnologie. Le soluzioni che risultano compatibili vengono quindi sottoposte a un preliminare processo di dimensionamento ottimizzato, volto a garantire la migliore risposta possibile alla domanda di trasporto, nel rispetto dei vincoli tecnici e prestazionali di ciascuna categoria impiantistica.

4.1. Sistemi a va-e-vieni

Per i sistemi a va-e-vieni si osserva una caratteristica peculiare: la capacità oraria risulta direttamente vincolata alla lunghezza della linea. Questo dipende dal fatto che, per natura tecnologica, su ciascun ramo può circolare un solo veicolo (o, al massimo, un grappolo di veicoli raggruppati). Poiché la velocità di esercizio è definita da limiti normativi, la conseguenza è che, a parità di capienza del veicolo, l'aumento della lunghezza dell'impianto comporta una diminuzione lineare della capacità oraria. Tale relazione è formalizzata dalla seguente espressione:

$$Q = \frac{C}{(t_r + t_a + t_s)} \cdot 3.600 \qquad (1)$$

Con $Q[\frac{pax}{h \cdot senso\ di\ marcia}]$ capacità oraria del ramo, $C[\frac{pax}{veh}]$ capienza del singolo mezzo e $t_r[s]$,$t_a[s]$ e $t_s[s]$ rispettivamente tempo trascorso in linea a velocità di regime, tempo trascorso in linea in fase di accelerazione e decelerazione (in questo contesto ipotizzate identiche tra di loro in termini assoluti) e tempo di permanenza in stazione.

I tempi di percorrenza e di accelerazione/decelerazione derivano direttamente dai principi della cinematica, mentre il tempo di sosta in stazione è legato alla configurazione dei varchi di accesso del veicolo e al corrispondente tempo di imbarco/sbarco.

In particolare:

$$t_r = \frac{l - \frac{v^2}{a}}{v} \qquad (2)$$

$$t_a = \frac{2v}{a} \qquad (3)$$

origin and destination coordinates), the model checks whether the desired hourly capacity-length pair falls within the feasibility domains of the various technologies. The solutions found to be compatible are then subjected to a preliminary optimised sizing process, aimed at ensuring the best possible response to transport demand, whilst complying with the technical and performance constraints of each category.

4.1. Shuttle movement cableways

Shuttle systems have a distinctive characteristic: hourly capacity is directly constrained by the length of the line. This is because, by the nature of the technology, only one vehicle (or, at most, a cluster of grouped vehicles) can travel on each branch at any one time. As the operating speed is defined by regulatory limits, the consequence is that, for a given vehicle capacity, an increase in the length of the system results in a linear decrease in hourly capacity. This relationship is expressed by the following formula:

$$Q = \frac{C}{(t_r + t_a + t_s)} \cdot 3.600 \qquad (1)$$

Where $Q[\frac{pax}{h \cdot direction}]$ is the hourly capacity of the branch, $C[\frac{pax}{veh}]$ is the single vehicle capacity, and $t_r[s]$,$t_a[s]$ and $t_s[s]$ are, respectively, the time spent on the line at cruising speed, the time spent on the line during acceleration and deceleration (assumed to be identical in absolute terms in this context), and the time spent at the station.

Journey times and acceleration/deceleration times are derived directly from the principles of kinematics, whilst the time spent at the station is linked to the configuration of the vehicle's access gates and the corresponding boarding/alighting time.

In particular:

$$t_r = \frac{l - \frac{v^2}{a}}{v} \qquad (2)$$

$$t_a = \frac{2v}{a} \qquad (3)$$

$$t_s = 2 \cdot \frac{C}{\frac{n_v}{t_v}} + t_{vet} \qquad (4)$$

where l is the length of the branch, v is the operating speed, a is the absolute value of acceleration and deceleration, t_{vet} is the attendant operating time, n_v is the number of possible simultaneous passages on the vehicle (defined as the product of the number of simultaneous passages per entrance $n_{v,p}$ and the number of entrances n_p), and t_v is the passage time per person (generally [16] corresponding to 1.5 seconds). For modelling simplicity, the total number of simultaneous passages has been standardised according to the capacity of the individual vehicle, as shown in Tab. 1.

This results in a compact expression of the relationship between hourly capacity and vehicle capacity, obtained by combining the time contributions of travel, acceleration/deceleration and boarding/alighting:

$$t_s = 2 \cdot \frac{C}{\frac{n_v}{t_v}} + t_{vet} \qquad (4)$$

dove l lunghezza del ramo, v velocità di regime, a valore assoluto di accelerazione e decelerazione, t_{vet} tempo operativo del vetturino, nv numero di varchi simultanei possibili sul veicolo (inteso come prodotto tra numero di varchi simultanei su ingresso $n_{v,p}$ e numero di ingressi n_p) e t_v tempo di varco per persona (generalmente [16] corrispondente a 1,5 secondi). Per semplicità modellistica, il numero totale di varchi simultanei è stato standardizzato in funzione della capienza del singolo veicolo, come riportato nella Tab.1.

Ne consegue l'espressione compatta della relazione tra portata oraria e capienza, che si ottiene raggruppando i contributi temporali di percorrenza, accelerazione/decelerazione e imbarco/sbarco:

$$Q = \frac{C}{\left(\frac{2v}{a} + \frac{l - \frac{v^2}{a}}{v} + 2 \cdot \frac{C}{\frac{n_p \cdot n_{v,p}}{t_v}} + t_{vet}\right)} \cdot 3.600 \qquad (5)$$

Per operare un confronto con i limiti normativi si fissa la capienza massima C=250 pax (valore limite applicato per rispetto del vincolo riportato nel Paragrafo 3.1.3.4 — DD 172 del 18-06-2021 [17]. Impostando la capienza di ciascun veicolo a 250 passeggeri, si ottiene la curva limite nel piano lunghezza-portata che definisce il confine superiore del dominio di ammissibilità per la tecnologia a va-e-vieni e che viene riportata nella Fig. 1: tutte le combinazioni portata-lunghezza al di sotto di tale curva (o su di essa) sono considerate ammissibili per questa categoria

$$Q = \frac{C}{\left(\frac{2v}{a} + \frac{l - \frac{v^2}{a}}{v} + 2 \cdot \frac{C}{\frac{n_p \cdot n_{v,p}}{t_v}} + t_{vet}\right)} \cdot 3.600 \qquad (5)$$

To compare with regulatory limits, the maximum vehicle capacity is set a C=250 s (the limit value applied to comply with the constraint set out in Paragraph 3.1.3.4 - DD 172 of 18 June 2021 [17]). By setting the capacity of each vehicle at 250 passengers, the limit curve in the length- hourly capacity plane is obtained, which defines the upper boundary of the admissibility domain for shuttle technology and is shown in Fig. 1: all hourly capacity-length combinations below this curve (or on it) are considered feasible for this technological category, whilst combinations above it are not feasible given the current regulatory constraints.

From the point of view of demand requirements, once a specific combination of hourly capacity and length has been established, it is clear that any value for vehicle capacity C greater than that obtained by inverting the vehicle capacity expression is, in theory, compatible with the projected demand. However, this design flexibility is not without economic consequences: an oversized system entails significantly higher investment and operating costs, without delivering proportionate benefits in terms of service. For this reason, the optimal sizing must balance transport demand and economic sustainability.

To this end, the model provides for an iterative indicative assessment of the unit cost per passenger carried e_{pax} $[\frac{€}{pax \cdot km}]$ *defined as*

Tabella 1 – *Table 1*

Configurazione del numero di varchi simultanei per singola cabina
Configuration of the number of simultaneous passages per individual cabin

Fascia di capienza della cabina ***Cabin capacity range***	**Numero di porte x varchi simultanei per porta** ***Number of doors × simultaneous passages per door***	**Numero di varchi simultanei complessivi** ***Total number of simultaneous passages***
Meno di 25 passeggeri per cabina *Fewer than 25 passengers per cabin*	1x2	2
Tra 25 e 50 passeggeri per cabina *Between 25 and 50 passengers per cabin*	1x3	3
Tra 50 e 100 passeggeri per cabina *Between 50 and 100 passengers per cabin*	1x4	4
Tra 100 e 160 passeggeri per cabina *Between 100 and 160 passengers per cabin*	1x6 o 2x3	6
Tra 160 e 225 passeggeri per cabina (bipiano) *Between 160 and 225 passengers per cabin (double-decker)*	2x3 al primo piano+1x2 al secondo piano *2x3 on the first deck + 1x2 on the second deck*	8
Oltre 225 passeggeri per cabina (bipiano) *Over 225 passengers per cabin (double-decker)*	2x3 al primo piano+1x3 al secondo piano *2x3 on the first deck + 1x3 on the second deck*	9

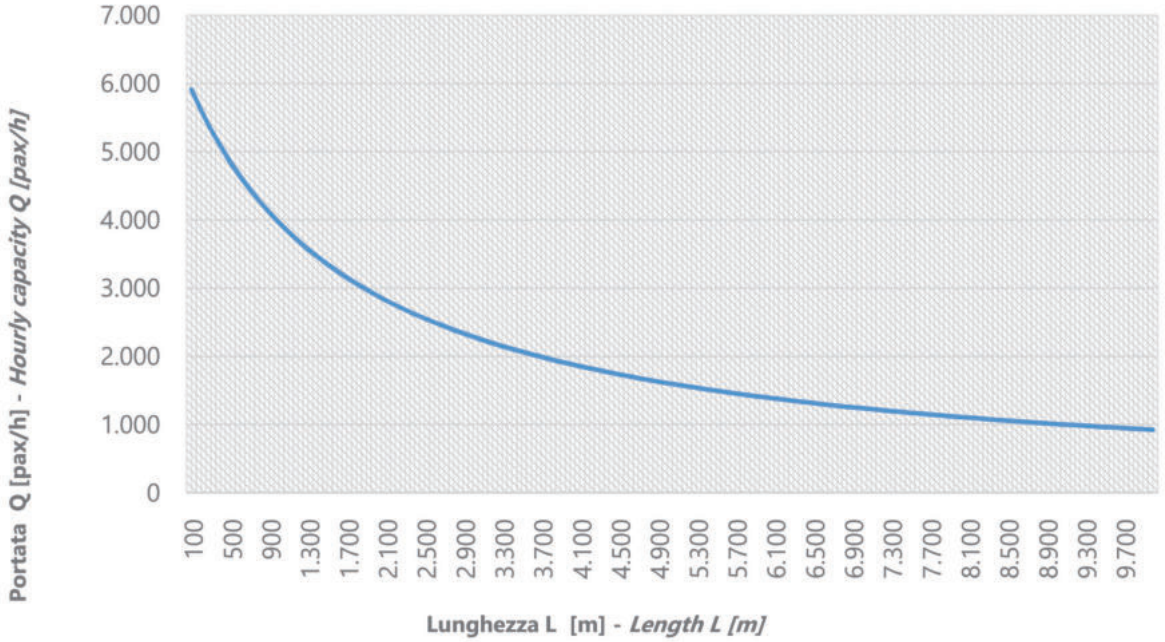


Figura 1 - Relazione Portata - Lunghezza per sistemi a va-e-vieni.
Figure 1 - Hourly capacity - Length Relationship for reciprocating systems.

tecnologica, mentre combinazioni al di sopra risultano non realizzabili rispettando i vigenti vincoli normativi.

Dal punto di vista dei requisiti di domanda, una volta fissata una determinata combinazione tra portata e lunghezza, è intuibile che qualsiasi valore di capienza *C* superiore a quello ottenuto invertendo l'espressione di capacità risulta, in linea teorica, compatibile con la domanda prevista. Tuttavia, questa libertà progettuale non è priva di conseguenze economiche: un impianto sovradimensionato comporta infatti costi d'investimento e di esercizio sensibilmente più elevati, senza apportare benefici proporzionati in termini di servizio. Per questo motivo, la scelta dimensionale ottimale deve bilanciare domanda di trasporto e sostenibilità economica.

A tal fine, il modello prevede una valutazione indicativa iterativa del costo unitario per passeggero trasportato e_{pax} $[\frac{€}{pax \cdot km}]$, definito come

$$e_{pax} = \frac{1}{o} \cdot \frac{E_i + E_e}{N_{pax,vu} \cdot l} \quad (6)$$

dove:

- E_i è il costo totale d'investimento dell'impianto [€], calcolato mediante modelli dedicati, come quelli previsti dal Decreto del Presidente della Provincia Autonoma di Bolzano 27/09/2024, n. 22 [19];
- E_e rappresenta un valore sintetico dei costi di esercizio [€] durante l'intera vita attesa dell'impianto, principalmente legato al consumo energetico. Quest'ultimo è stimato assumendo un costo unitario dell'energia predefinito e calcolando la potenza richiesta su una linea

$$e_{pax} = \frac{1}{o} \cdot \frac{E_i + E_e}{N_{pax,vu} \cdot l} \quad (6)$$

Where:

- *E_i is the total investment cost of the system [€], calculated using dedicated models, such as those set out in Decree No. 22 of 27 September 2024 of the President of the Autonomous Province of Bolzano [19];*
- *E_e represents a summary value of the operating costs [€] over the entire expected lifetime of the system, primarily linked to energy consumption. The latter is estimated by assuming a predefined unit cost of energy and calculating the power required on a hypothetical line with a gradient of 25%, as a function solely of the number of passengers and the length L.*
- *$N_{pax,vu}$ is the total number of passengers that can be carried over the entire expected lifetime of the system, expressed as hourly capacity multiplied by the number of operating hours over the expected lifetime.*
- *o represents the optimisation rate:*

$$o = \frac{C_{id}}{C} = \frac{Q_{input}}{Q} \quad (7)$$

where Q is the hourly capacity actually achievable with the vehicle capacity C, Q_{input} is the hourly capacity required by demand; C_{id} is the vehicle capacity necessary to ensure Q_{input} and C is the actual vehicle capacity chosen, which, due to construction constraints, must be an integer value corresponding to actual cabin sizes.

From these considerations, a three-dimensional space is

fittizia con pendenza del 25%, in funzione esclusiva del numero di passeggeri e della lunghezza L.

- $N_{pax,vu}$ è il numero totale di passeggeri trasportabili nell'intera vita attesa dell'impianto, espresso come portata oraria per ore di servizio nella vita attesa.
- o rappresenta il tasso di ottimizzazione:

$$o = \frac{C_{id}}{C} = \frac{Q_{input}}{Q} \quad (7)$$

dove Q è la portata effettivamente ottenibile con la capienza C, Q_{input} è la portata oraria richiesta dalla domanda; C_{id} è la capienza necessaria per garantire e Q_{input} è C la capienza effettiva scelta, che per vincoli costruttivi deve assumere un valore intero, corrispondente a taglie reali di cabine.

Da queste considerazioni ne consegue l'individuazione di un luogo tridimensionale, rappresentato nella Fig. 2, corrispondente a tutte le combinazioni portata-lunghezza e il conseguente valore di capienza ideale, a dimostrazione di come quest'ultimo valore risulta essere combinazione degli altri due.

A completamento dell'analisi, è stata esaminata la relazione tra tasso di ottimizzazione e costo unitario, evidenziando come essa sia fortemente influenzata da tre parametri di input: lunghezza L della linea, portata oraria Q e capienza C del veicolo, come espresso dalle curve del grafico in Fig. 3. L'analisi dimostra che la sensibilità del costo unitario rispetto al tasso di ottimizzazione è significativamente più elevata per linee di breve estensione e per

identified, represented in Fig. 2, corresponding to all hourly capacity-length combinations and the resulting ideal vehicle capacity value, demonstrating how the latter value is a combination of the other two.

To complete the analysis, the relationship between the optimisation rate and unit cost was examined, highlighting how it is strongly influenced by three input parameters: line length L, hourly capacity Q and vehicle capacity C, as shown by the curves in the graph at Fig. 3. The analysis demonstrates that the sensitivity of unit cost to the optimisation rate is significantly higher for short lines and for low hourly capacity values. In such configurations, sub-optimal filling has a particularly costly impact on costs. However, even in cases of high hourly capacity and long lengths, the choice of a sub-optimal cabin, whilst generating seemingly modest variations in unit cost, entails a significant additional cost when projected over the entire operational life cycle of the system.

The sizing process is therefore based on a progressive iteration of vehicle capacity values C, with the aim of identifying the solution that minimises the unit cost per passenger e_{pax}. In operational terms, this amounts to seeking the configuration for which the optimisation ratio o approaches 1 as closely as possible, a condition that represents an optimal balance between transport demand and supply. It should be emphasised, however, that in practice, the ideal vehicle capacity value C_{id} (calculated by inverting the hourly capacity-vehicle capacity relationship) is almost always a non-integer. Since the actual vehicle capacity is constrained to discrete values, corresponding to the sizes of vehicles actually available, the sizing process must identify the minimum

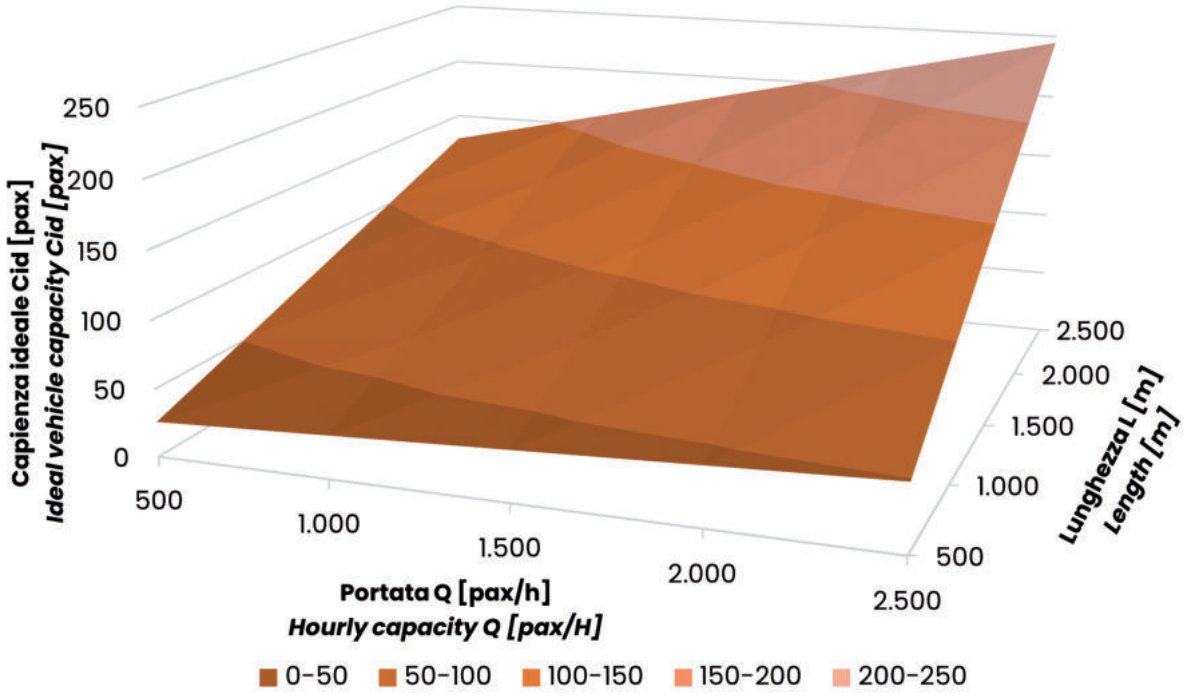


Figura 2 - Superficie tridimensionale della relazione Portata - Lunghezza - Capienza Ideale.
Figure 2 - Three-dimensional surface of the Hourly capacity-Length-Ideal vehicle capacity relationship.

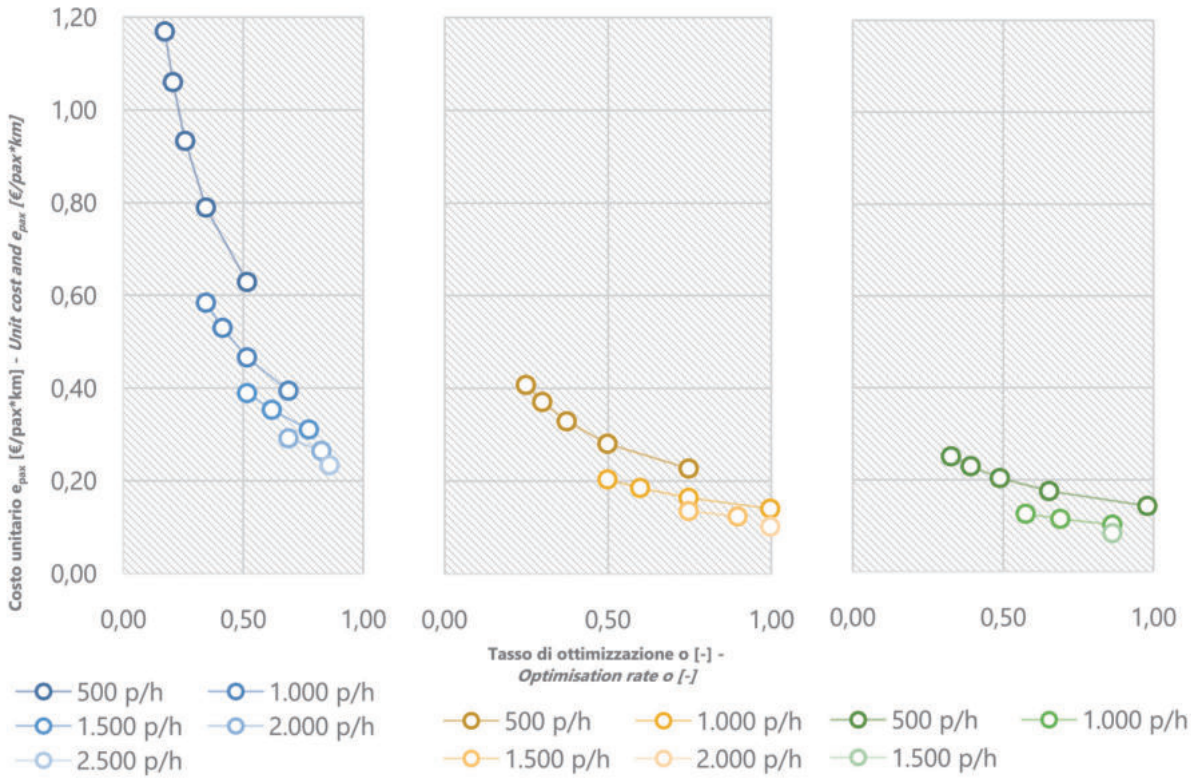


Figura 3 - Relazione tra tasso di ottimizzazione e costo unitario per sistemi a vai e vieni con lunghezze di riferimento 500, 1.500 e 2.500 m.

Figure 3 - Relationship between the optimisation rate and unit cost for shuttle systems with reference lengths of 500, 1,500 and 2,500 m.

valori di portata contenuti. In tali configurazioni, un riempimento non ottimale incide in modo particolarmente oneroso sui costi. Tuttavia, anche nei casi di alta portata e lunghezza estesa, la scelta di una cabina subottimale, pur generando variazioni apparentemente contenute nel costo unitario, comporta un sovraccosto rilevante se proiettato sull'intero ciclo di vita operativo dell'impianto.

Il processo di dimensionamento si basa quindi su un'iterazione progressiva dei valori di capienza C, con l'obiettivo di individuare la soluzione che minimizza il costo unitario per passeggero e_{pax}. In termini operativi, ciò equivale a ricercare la configurazione per cui il tasso di ottimizzazione o si avvicina il più possibile a 1, condizione che rappresenta un equilibrio ottimale tra domanda e offerta di trasporto. Va tuttavia sottolineato che, nella pratica, il valore ideale di capienza C_{id} (calcolato invertendo la relazione portata-capienza) risulta quasi sempre non intero. Poiché la capienza reale è vincolata a valori discreti, corrispondenti alle taglie effettivamente disponibili dei veicoli, il dimensionamento deve individuare il valore intero minimo di C che superi o uguagli C_{id}. Sono inoltre considerate inammissibili tutte le soluzioni che comportano un tasso di ottimizzazione $o>1$, in quanto queste corrispondono a un sottodimensionamento dell'impianto, con conseguente incapacità di soddisfare la domanda prevista. In sintesi, il

integer value of C that exceeds or equals C_{id}. Furthermore, any solutions involving an optimisation rate of $o>1$ are considered unacceptable, as these correspond to an undersizing of the system, resulting in an inability to meet the forecast demand. In summary, the optimal sizing consists of selecting the minimum integer vehicle capacity that:

- *ensures that demand is fully met (i.e. $C \geq C_{id}$);*
- *keeps the optimisation ratio as close as possible to 1, avoiding excessive oversizing;*
- *minimises the unit cost per passenger, achieving the best technical and economic compromise.*

A summary of this process is shown in Fig. 4 .

4.2. Fixed-grip continuous-movement cableways

In the case of continuous-operation systems, the direct link between hourly capacity and line length that characterises shuttle systems no longer applies. This is because it is possible to maintain the same hourly capacity on longer lines by increasing the number of vehicles.

For traditional fixed gondolas, which are open vehicles with a maximum vehicle capacity of two passengers, the regulations impose a maximum number of passengers per line

dimensionamento ottimale consiste nel selezionare la capienza minima intera che:

- garantisca la piena soddisfazione della domanda (cioè $C \geq C_{id}$);
- mantenga il tasso di ottimizzazione o il più vicino possibile a 1, evitando sovradimensionamenti eccessivi;
- minimizzi il costo unitario per passeggero, ottenendo il miglior compromesso tecnico ed economico.

Una sintesi di tale processo è rappresentata nella Fig. 4.

4.2. Sistemi fissi a movimento continuo

Nel caso dei sistemi a movimento continuo, viene meno il vincolo diretto tra capacità oraria e lunghezza della linea che caratterizza i sistemi a va-e-vieni. Questo accade perché è possibile garantire la stessa portata a linee più lunghe aumentando il numero di veicoli.

Per le cestovie tradizionali, che sono veicoli aperti al massimo biposto, la normativa impone un valore massimo di passeggeri in linea pari a 125 pax per ramo, come specificato al paragrafo 3.1.3.4 del DD172 dell'8 giugno 2021 [17]. Nota la velocità massima normativa v = 1,5 m/s, la portata teorica può essere calcolata come:

$$Q = n_{pax} \cdot \frac{3.600 \cdot v}{l} \qquad (8)$$

Impostando il numero di passeggeri in linea per ramo a n_{pax}=125 si ottiene una curva teorica di portata massima coerente con la normativa di riferimento. Tuttavia, tale curva non rispetta necessariamente il vincolo di equidistanza minima tra veicoli imposto dal paragrafo 3.5.3.5 dello stesso DD 172 dell'8 giugno 2021 [17], che prevede un intertempo minimo tra veicoli pari a 10 secondi. L'equidistanza tra veicoli può essere espressa come il prodotto tra velocità v e intertempo i, ossia l'intervallo temporale tra il passaggio di

of 125 pax per branch, as specified in paragraph 3.1.3.4 of DD172 of 8 June 2021 [17]. Given the regulatory maximum speed v=1,5 m/s, the theoretical hourly capacity can be calculated as:

$$Q = n_{pax} \cdot \frac{3.600 \cdot v}{l} \qquad (8)$$

By setting the number of passengers per route at n_{pax}=125, a theoretical maximum hourly capacity curve is obtained that is consistent with the relevant regulations. However, this curve does not necessarily comply with the minimum spacing constraint between vehicles imposed by paragraph 3.5.3.5 of the same DD 172 of 8 June 2021 [17], which stipulates a minimum headway between vehicles of 10 seconds. The distance between vehicles can be expressed as the product of speed and the headway, i.e. the headway between the passage of two successive vehicles at the same point. From this relationship, the following formula can be derived:

$$e = i \cdot v = \frac{l}{n_{veh}} = \frac{l}{\frac{n_{pax}}{C}} \qquad (9)$$

Since n_{pax} is defined as the product of the number of vehicles and the single vehicle capacity, it is immediately apparent that the spacing can be determined simply as the ratio of the length of the line to the number of vehicles present. It is also intuitive to observe that the hourly capacity is a direct function of the spacing: the smaller the distance between vehicles, the greater the number of vehicles in the line and, consequently, the achievable hourly capacity.

Due to the aforementioned lower limit on spacing, all hourly capacity - length combinations involving values lower than the latter are not permissible. To determine the upper bound of the domain, it is necessary to impose the condition $e' \geq e_{min}$ where e' represents the actual spacing used in the calculation, whilst e_{min} is the minimum permitted spacing.

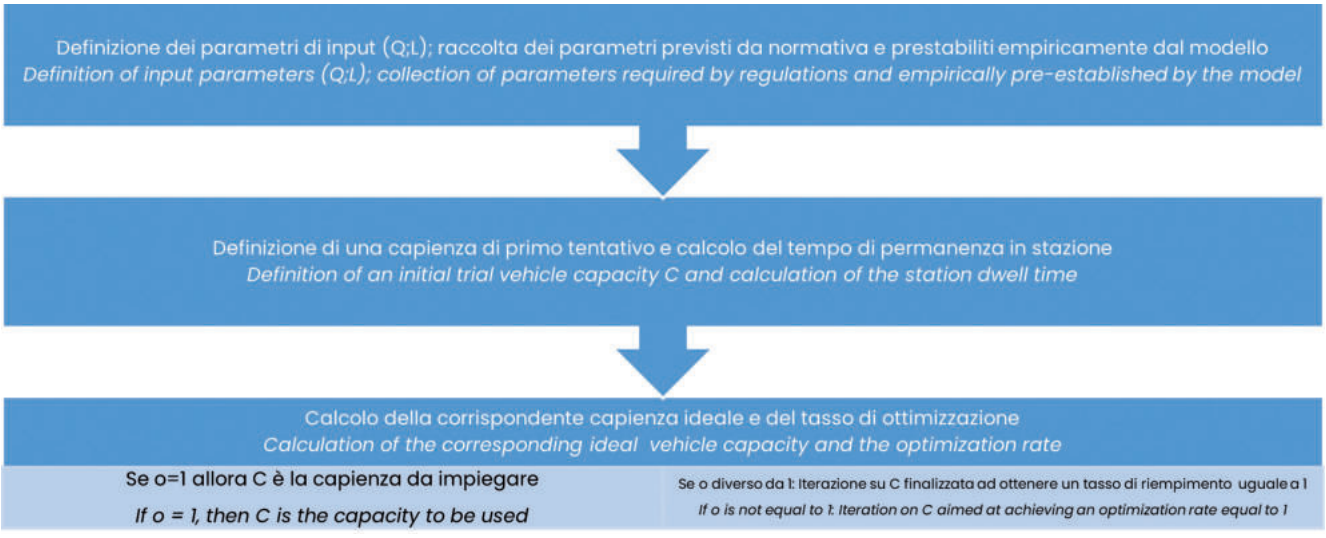


Figura 4 - Schematizzazione del processo di dimensionamento per i sistemi a va-e-vieni.
Figure 4 - Schematic representation of the sizing process for shuttle systems.

due veicoli successivi nello stesso punto. Da questa relazione è possibile determinare la seguente formula:

$$e = i \cdot v = \frac{l}{n_{veh}} = \frac{l}{\frac{n_{pax}}{C}} \quad (9)$$

Poiché n_{pax} è definito come il prodotto tra il numero di veicoli e la capienza per veicolo, risulta immediato che l'equidistanza può essere determinata semplicemente come rapporto tra la lunghezza della linea e il numero di veicoli presenti. È inoltre intuitivo osservare che la portata oraria è funzione diretta dell'equidistanza: minore è la distanza tra i veicoli, maggiore è il numero di cabine in linea e, di conseguenza, la portata ottenibile.

A causa del sopracitato limite inferiore all'equidistanza, tutte le combinazioni portata – lunghezza che implichino valori minori di quest'ultimo non sono ammissibili. Per determinare il limite superiore del dominio, è necessario imporre la condizione $e' \geq e_{min}$ dove e' rappresenta l'equidistanza effettiva utilizzata nel calcolo, mentre e_{min} è l'equidistanza minima consentita. Ne consegue che, una volta determinata l'equidistanza e, si proceda con tale verifica per determinare e'.

$$e' = \begin{cases} e_{min}, & \text{se } e < e_{min} \\ e & altrimenti \end{cases} \quad (10)$$

Una volta determinata La relazione Q-L può quindi essere riscritta in forma corretta come:

$$Q = n'_{pax} \cdot \frac{3.600 \cdot v}{l} \quad (11)$$

$$n'_{pax} = n'_{veh} \cdot C = \frac{l}{e'} \cdot C \quad (12)$$

con n'_{pax} e n'_{veh} valori effettivi, ossia ricalcolati in seguito alla verifica dell'equidistanza minima.

Tale relazione definisce la funzione rappresentata nella Fig. 5. La definizione della curva portata-lunghezza nei sistemi a movimento continuo si basa sull'assunzione di un numero massimo di veicoli, determinato dall'equidistanza minima o dal massimo numero di passeggeri simultaneamente in linea. Tale vincolo introduce una correlazione decrescente tra portata e lunghezza, mantenendo però in realtà un grado di libertà legato al numero di veicoli impiegati. Questa impostazione si distingue dai sistemi a va-e-vieni, nei quali il numero di veicoli è fissato a uno per ramo, rendendo la relazione tra lunghezza e portata univoca e direttamente determinabile.

Il dimensionamento dei sistemi fissi a movimento continuo prevede inizialmente di fissare un valore di capienza del mezzo [*pax/veh*], e di imporre la portata desiderata. A partire da questi valori, è possibile calcolare il numero di veicoli necessari per soddisfare la domanda. Successivamente, si verifica il rispetto dell'equidistanza minima: qualora la condizione non fosse soddisfatta, si procede a un calcolo a ritroso per determinare il numero effettivo di veicoli compatibile con il vincolo normativo sull'equidistanza minima. Una sintesi di questo processo è rappresentata nella Fig. 6.

It follows that, once the spacing has been determined, this check should be carried out to determine e'.

$$e' = \begin{cases} e_{min}, if\, e < e_{min} \\ e \qquad otherwise \end{cases} \quad (10)$$

Once e' has been determined, the Q – l relationship can therefore be rewritten in its correct form as:

$$Q = n'_{pax} \cdot \frac{3.600 \cdot v}{l} \quad (11)$$

$$n'_{pax} = n'_{veh} \cdot C = \frac{l}{e'} \cdot C \quad (12)$$

with n'_{pax} and n'_{veh} actual values, i.e. recalculated following the verification of the minimum spacing.

This relationship defines the function shown in Fig. 5 . The definition of the hourly capacity-length curve in continuous-movement systems is based on the assumption of a maximum number of vehicles, determined by the minimum spacing or by the maximum number of passengers simultaneously on the line. This constraint introduces a decreasing correlation between hourly capacity and length, whilst in reality maintaining a degree of freedom linked to the number of vehicles in use. This approach differs from shuttle systems, in which the number of vehicles is fixed at one per branch, making the relationship between length and hourly capacity unambiguous and directly determinable.

The design of fixed continuous-movement cableways initially involves setting a vehicle capacity value [pax/veh] and specifying the desired hourly capacity. Based on these values, it is possible to calculate the number of vehicles required to meet demand. Subsequently, compliance with the minimum spacing requirement is verified: if this condition is not met, a back-calculation is performed to determine the actual number of vehicles compatible with the regulatory constraint on minimum spacing. A summary of this process is shown in Fig. 6 .

4.3. Detachable-grip continuous-movement cableways:

As regards automatic continuous movement systems, the handling is similar to that for fixed-grip continuous movement systems, with some significant differences due to the nature of the technology:

- *Capacities are standardised: for single-cable systems, vehicle capacities available on the market are taken as 6, 8, 10 and 15 passengers, whilst for bicable systems the available capacities are 20, 28 and 38 passengers.*
- *Maximum line speeds vary depending on the type of system: v_l = 6 m/s for single-cable systems and v_l = 8 m/s for bicable systems, as set out in paragraph 3.5.2 of DD172/2021 [17].*
- *The systems slow down at stations; however, the regulations do not explicitly stipulate specific minimum spacing values whilst passing through stations.*

The model therefore continues to follow the same basic principle: determining the optimal vehicle capacity and the

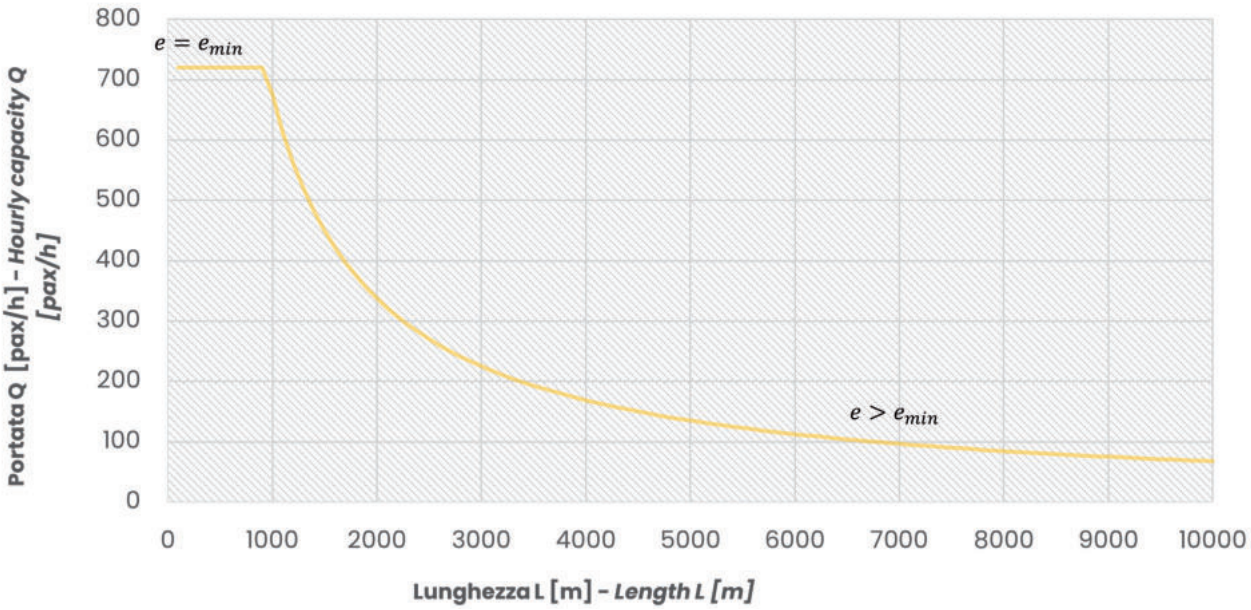


Figura 5 - Relazione Lunghezza - Portata per sistemi a movimento continuo ad ammorsamento fisso.
Figure 5 - Length- hourly capacity relationship for continuous-movement cableways with fixed-grip.

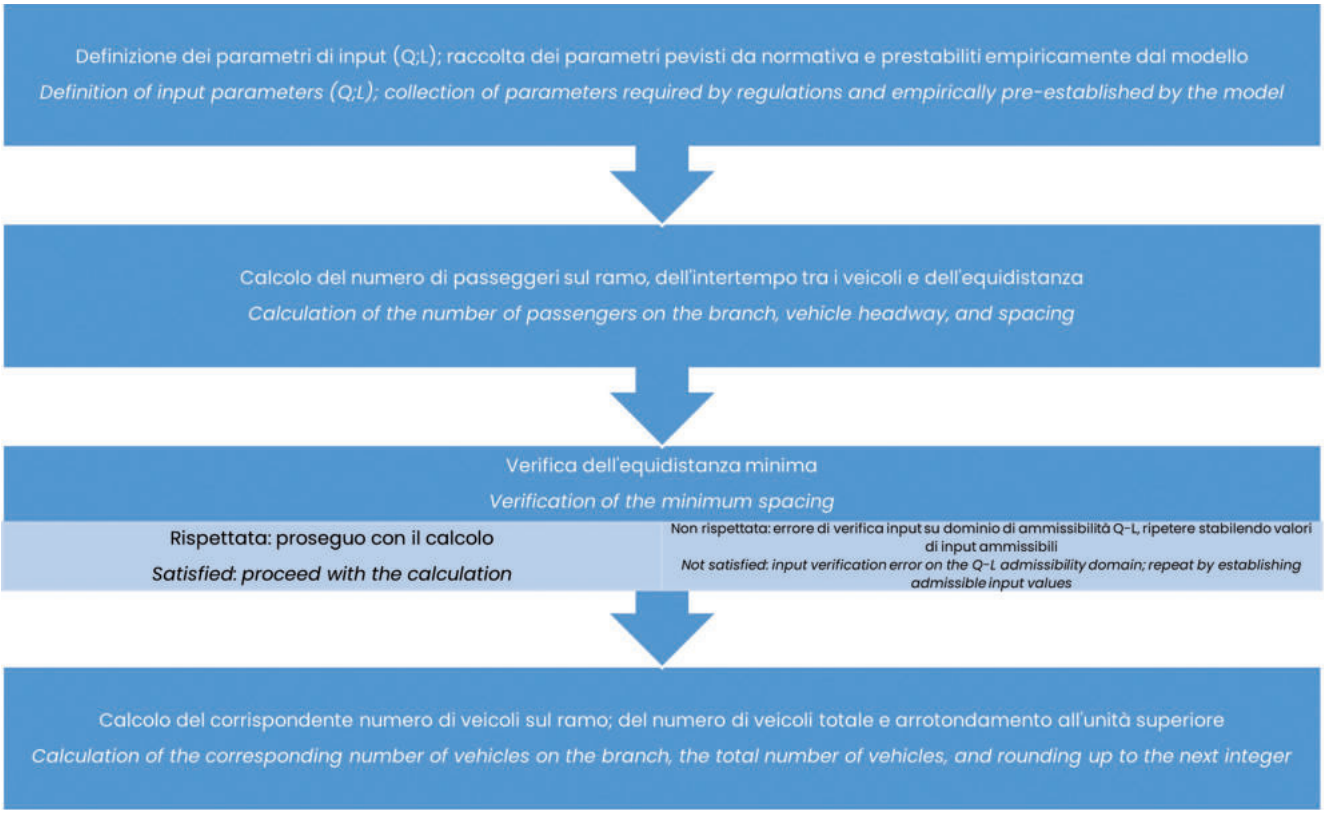


Figura 6 - Schematizzazione del processo di dimensionamento per i sistemi fissi a movimento continuo.
Figure 6 - Schematic representation of the sizing process for fixed continuous-flow systems.

4.3. Sistemi automatici a movimento continuo

Per quanto riguarda i sistemi automatici a movimento

number of vehicles required to meet demand, whilst complying with the constraints on speed, minimum spacing and maximum passenger capacity per branch.

continuo, la trattazione risulta analoga ai sistemi fissi a movimento continuo, con alcune differenze significative dovute alla natura della tecnologia:

- Le capienze sono standardizzate: per i sistemi monofune si considerano valori di capienza dei veicoli disponibili sul mercato pari a 6,8,10,15 passeggeri, mentre per i sistemi bifune i valori disponibili sono 20,28 e 38 passeggeri.
- Le velocità massime in linea differiscono in funzione del tipo di impianto: v_l =6 m/s per i sistemi monofune e v_l =8 m/s per i sistemi bifune, come riportato al paragrafo 3.5.2. del DD172/2021 [17].
- I sistemi rallentano in stazione, tuttavia la normativa non impone esplicitamente valori specifici di equidistanza minima durante il transito in stazione.

Il modello continua quindi a seguire lo stesso principio di base: determinare la capienza ottimale e il numero di veicoli tali da soddisfare la domanda, rispettando i vincoli di velocità, equidistanza minima e capacità massima di passeggeri per ramo.

$$Q = n_{pax} \cdot \frac{3.600 \cdot v_l}{l} \tag{13}$$

$$e_l = \frac{l}{\frac{n_{pax}}{c}} \tag{14}$$

In questo caso, tuttavia, per i sistemi automatici a movimento continuo, la verifica dell'equidistanza minima deve essere eseguita in stazione, poiché è in questa fase che i veicoli si muovono a velocità ridotta e si trovano quindi nelle condizioni di maggiore densità spaziale.

L'equidistanza minima in stazione e_s può essere derivata a partire dall'equidistanza di linea tramite proporzione tra le velocità di linea e di stazione. In particolare, per la velocità di stazione è stato assunto un valore convenzionale di riferimento pari a 0,3 m/s, in linea con i valori tipicamente adottati per garantire condizioni di sicurezza e comfort durante le fasi di imbarco e sbarco dei passeggeri.

A scopo semplificativo, si è ipotizzata un'equidistanza minima in linea tale da evitare fenomeni di urto dei veicoli durante il transito in stazione. Per generalizzare il modello e renderlo indipendente dalle differenti geometrie dei veicoli prodotte dai vari costruttori, sono stati introdotti alcuni parametri geometrici standardizzati, rappresentativi dell'ingombro longitudinale statico di ciascun veicolo e di un franco di sicurezza, definito anche per considerare l'oscillazione dei veicoli. I valori di equidistanza ipotizzati sono riportati in Tab. 2.

Dunque risulta possibile riscrivere il rapporto portata - lunghezza come segue:

$$Q = n'_{pax} \cdot \frac{3.600 \cdot v_l}{l} \tag{15}$$

$$n'_{pax} = n'_{veh} \cdot C = \frac{l}{e'_l} \cdot C = \frac{l}{\frac{v_l}{v_s} \cdot e'_s} \cdot C \tag{16}$$

$$Q = n_{pax} \cdot \frac{3.600 \cdot v_l}{l} \tag{13}$$

$$e_l = \frac{l}{\frac{n_{pax}}{c}} \tag{14}$$

In this case, however, for automatic continuous movement systems, the minimum spacing check must be carried out in stations, as it is at this stage that vehicles travel at reduced speed and are therefore subject to the highest spatial density.

The minimum spacing at stations e_s can be derived from the line spacing e_l by applying the ratio of line speed to station speed. In particular, a conventional reference value of 0.3 m/s has been assumed for station speed, in line with the values typically adopted to ensure safety and comfort during passenger boarding and alighting.

For simplicity, a minimum line spacing has been assumed to prevent vehicles from colliding whilst passing through the station. To generalise the model and make it independent of the different vehicle geometries produced by various manufacturers, a number of standardised geometric parameters have been introduced, representing the static longitudinal dimensions of each vehicle and a safety margin, defined to account for vehicle oscillation. The assumed spacing values are shown in Tab. 2.

It is therefore possible to rewrite the hourly capacity -length ratio as follows:

$$Q = n'_{pax} \cdot \frac{3.600 \cdot v_l}{l} \tag{15}$$

$$n'_{pax} = n'_{veh} \cdot C = \frac{l}{e'_l} \cdot C = \frac{l}{\frac{v_l}{v_s} \cdot e'_s} \cdot C \tag{16}$$

$$e'_s = \begin{cases} e_{s,min} & if\ e_s < e_{s,min} \\ e_s & otherwise \end{cases} \tag{17}$$

This relationship defines the function shown in Fig. 7 .

The sizing process is similar to that described previously for fixed-grip systems. The analysis must be carried out for all available cabin capacity values. For each cabin capacity value, the number of vehicles required to meet the design hourly throughput is determined Q. In order to select the

Tabella 2 – *Table 2*
Equidistanze minime di stazione ipotizzate
Assumed minimum station spacings

Numero passeggeri[passeggeri/veicolo] ***Number of passengers [passengers/vehicle]***	**Equidistanza minima[m]** ***Minimum spacing [m]***
6;8;10	3
15	4
20	4,5
28	6,5
32	8,55

$$e'_s = \begin{cases} e_{s,min} & \text{se } e_s < e_{s,min} \\ e_s & altrimenti \end{cases} \quad (17)$$

Tale relazione definisce la funzione rappresentata nella Fig. 7.

Il dimensionamento procede in maniera analoga a quanto prima descritto per i sistemi fissi. È necessario condurre l'analisi per tutti i valori di capienza cabina disponibili. Per ogni valore di capienza, si determina il numero di veicoli richiesto per soddisfare la portata oraria di progetto Q. Al fine di selezionare la configurazione più idonea, viene definito un tasso di riempimento, calcolato come rapporto tra il numero di veicoli definito per ogni ipotetica capienza e lo stesso numero approssimato all'intero superiore. La scelta definitiva ricade sul sistema il cui tasso di riempimento si avvicina maggiormente all'unità, poiché questo valore indica un utilizzo più efficiente del parco veicoli.

$$r = \frac{n'_{veh}}{\lceil n'_{veh} \rceil} \quad (18)$$

Una sintesi di questo processo è rappresentata nella Fig. 8.

4.4. Sistemi a moto intermittente

Per i sistemi a moto intermittente (*pulsée*) è necessario adottare una trattazione ibrida, che combini gli aspetti tipici dei sistemi a movimento continuo con le caratteristiche operative dei sistemi a va e vieni. La configurazione tradizionale prevede due grappoli di veicoli; l'impiego di più di due grappoli comporterebbe infatti l'arresto in linea

most suitable configuration, a fill factor is defined, calculated as the ratio between the number of vehicles determined for each hypothetical cabin capacity and that number rounded up to the nearest integer. The final choice is made in favour of the system whose fill rate is closest to one, as this value indicates a more efficient utilisation of the vehicle fleet.

$$r = \frac{n'_{veh}}{\lceil n'_{veh} \rceil} \quad (18)$$

A summary of this process is shown in Fig. 8.

4.4. Intermittent movement cableways

For intermittent (pulsed) systems, a hybrid approach must be adopted, combining the typical aspects of continuous movement systems with the operational characteristics of shuttle systems. The traditional configuration involves two cabin clusters; the use of more than two clusters would, in fact, result in some of them being held on the line whilst the others are passing through the station, making this solution disadvantageous both from an operational point of view and in terms of the level of service perceived by passengers.

The intermittent movement system, whilst retaining a pulley-driven configuration between one branch and another, similar to continuous movement systems, involves a deceleration at each station stop, in some cases bringing the system to a complete stop, to allow for boarding and alighting, similarly to shuttle systems. From a regulatory perspective, single-cable systems are required to have an operating speed of 6 m/s and a station speed of 0.5 m/s, as set out in paragraph 3.5.2 of DD172/2021 [17] , which is necessary to ensure that

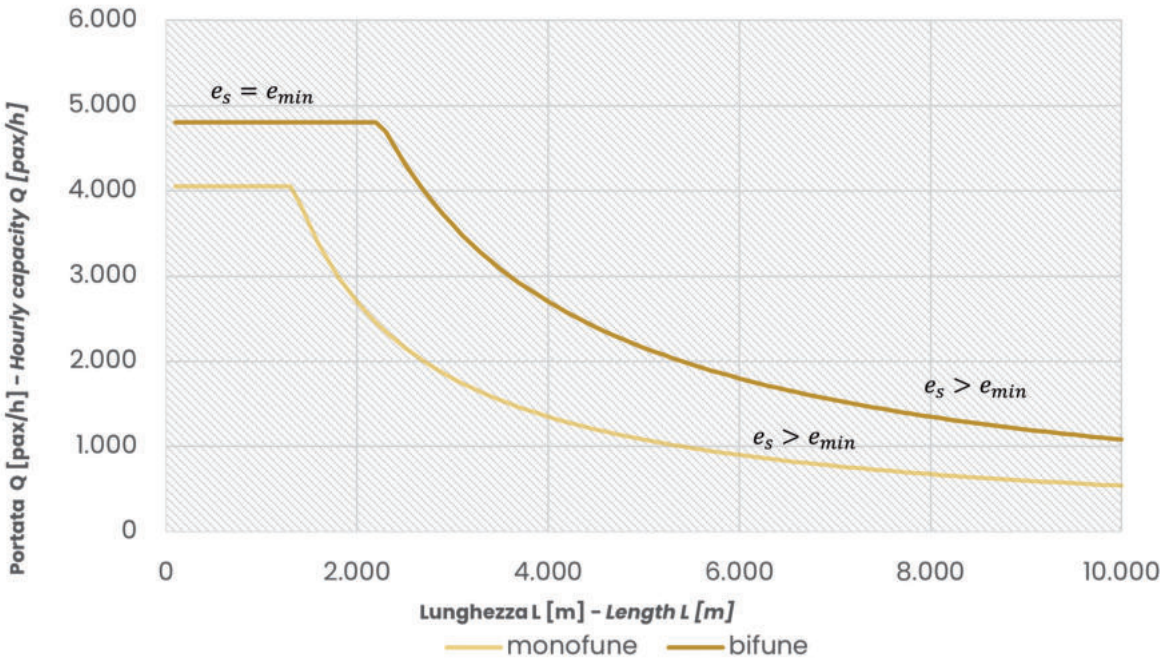


Figura 7 - Relazione Lunghezza - Portata per sistemi a movimento continuo ad ammorsamento automatico.
Figure 7 - Length-Hourly apacity Relationship for Continuous movement Systems with Automatic Coupling.

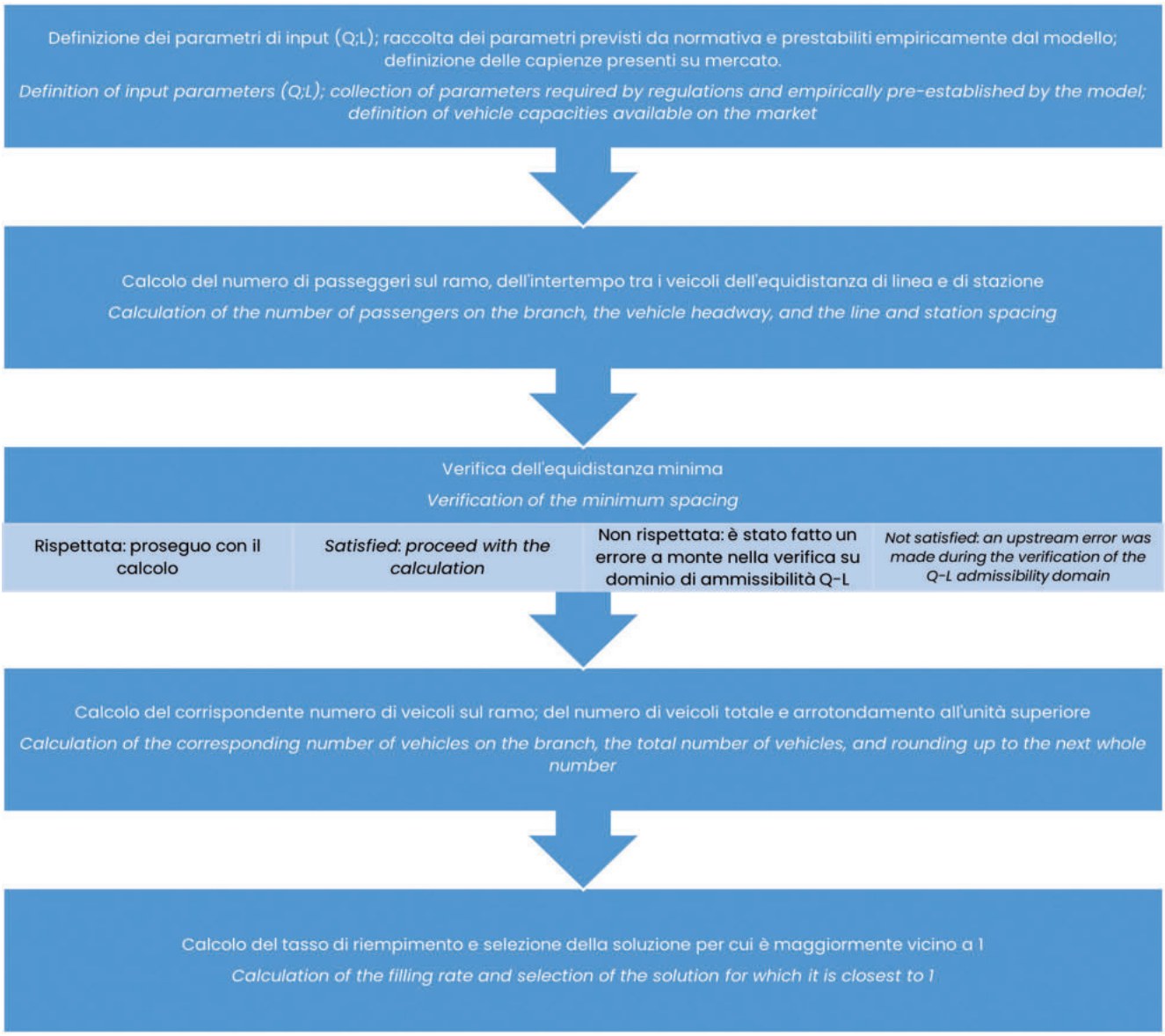


Figura 8 - Schematizzazione del processo di dimensionamento per i sistemi automatici a movimento continuo.
Figure 8 - Schematic representation of the sizing process for continuous movement automatic systems.

di alcuni di essi durante il transito in stazione degli altri, rendendo la soluzione svantaggiosa sia dal punto di vista operativo sia del livello di servizio percepito dall'utenza.

Il sistema a moto intermittente, pur mantenendo una configurazione con rinvio a puleggia tra un ramo e l'altro analogamente ai sistemi a movimento continuo, prevede in ogni passaggio in stazione un rallentamento fino, in alcuni casi, alla sosta completa dell'impianto per consentire le operazioni di imbarco e sbarco, similmente ai sistemi a va e vieni. Dal punto di vista normativo, per i sistemi monofune sono previste una velocità di regime di 6 m/s e una velocità in stazione di 0,5 m/s come riportato al paragrafo 3.5.2. del DD172/2021 [17], necessaria affinché i veicoli possano disporsi adeguatamente in banchina e permettere

vehicles can position themselves correctly at the platform and allow for passenger boarding and alighting. The fundamental relationship between hourly capacity Q and length L is derived from the same formula used for shuttle systems.

$$Q = \frac{C}{(t_r + t_a + t_s)} \cdot 3.600 \qquad (19)$$

The operating time at the station is directly related to the number of vehicles comprising the train. A greater number of cabins results in a longer positioning time at the station, but at the same time ensures a higher number of simultaneous boarding gates in proportion to the overall vehicle capacity.

Despite the regulatory limit of 250 passengers per branch set out in paragraph 3.1.3.4. of DD172/2021 [17], pulsed

le operazioni di imbarco e sbarco passeggeri. La relazione fondamentale tra portata Q e lunghezza L deriva dalla medesima espressione utilizzata per i sistemi a va e vieni.

$$Q = \frac{C}{(t_r + t_a + t_s)} \cdot 3.600 \qquad (19)$$

Il tempo operativo in stazione è direttamente correlato al numero di veicoli che compongono il grappolo. Un numero maggiore di cabine comporta infatti un tempo di posizionamento più lungo in stazione, ma allo stesso tempo garantisce un numero superiore di varchi di imbarco simultanei in proporzione alla capienza complessiva.

Nonostante il limite normativo di 250 passeggeri per ramo previsto dal paragrafo 3.1.3.4. del DD172/2021 [17], i sistemi *pulsée* non sono generalmente concepiti per il raggiungimento di tale valore, a causa di vincoli di natura tecnico-strutturale e di livello di servizio percepito. Per stabilire un valore limite realistico è stata quindi definita una capienza massima di 75 passeggeri per grappolo, corrispondente a 5 cabine da 15 passeggeri ciascuna, sulla base di un'indagine storica degli impianti *pulsée* realizzati. Per la determinazione del tempo di sosta, è stata cautelativamente impiegata la prima menzionata configurazione 5 cabine da 15 passeggeri per definire il numero di varchi simultanei, ipotizzando 5 ingressi indipendenti. Il tempo di transito per ogni varco rimane invariato. Il tempo di permanenza in stazione deve inoltre includere il tempo necessario a tutte le cabine per disporsi sulla banchina a velocità ridotta. In questa fase, il sistema viaggia a 0,5 m/s dall'ingresso della prima cabina fino all'uscita dell'ultima, percorrendo una distanza equivalente a due volte la lunghezza della banchina. La relazione tra il numero di cabine per grappolo (fissata la capienza) e il tempo di permanenza in stazione corrisponde al fascio di rette riportato nella Fig. 9.

Pertanto, alla componente del tempo di stazione definita tramite la trattazione dei varchi, si aggiunge un ulteriore contributo temporale. Trascurando le fasi di accelerazione e decelerazione per portare il sistema da fermo a 0,5 m/s, si ottiene:

$$Q = \frac{C}{\left(\frac{2(v_l - v_s)}{a} + \frac{l - \frac{(v_l - v_s)^2}{a}}{v} + 2\left(\frac{C}{\frac{n_p \cdot n_{v,p}}{t_v}} + \frac{l_b}{v_s}\right)\right)} \cdot 3.600 \qquad (20)$$

Con l lunghezza della banchina, ottenibile sommando la lunghezza delle cabine di un grappolo e il loro distanziamento.

Tale relazione definisce una funzione graficamente esprimibile come nella Fig. 10.

Il processo di dimensionamento ha inizio con la definizione del numero di cabine per grappolo, tipicamente compreso tra due e cinque unità, procedendo con un calcolo distinto per ciascuna di queste configurazioni. Successivamente, si stabilisce la capienza del grappolo definendo in via preliminare il valore della capienza del singolo veicolo.

systems are not generally designed to reach this figure, due to technical and structural constraints and considerations regarding the perceived level of service. To establish a realistic limit, a maximum cluster capacity of 75 passengers per cluster was therefore defined, corresponding to 5 cabins of 15 passengers each, based on a historical survey of existing pulsée systems. To determine the dwell time t_s, the aforementioned configuration of 5 cabins, each carrying 15 passengers, was conservatively used to define the number of simultaneous entry points, assuming 5 independent entrances. The transit time for each entry point remains unchanged. The dwell time at the station must also include the time required for all cabins to line up on the platform at reduced speed. At this stage, the system travels at 0.5 m/s from the entry of the first cabin to the exit of the last, covering a distance equivalent to twice the length of the platform. The relationship between the number of cabins per cluster (given a fixed vehicle capacity) and the dwell time at the station corresponds to the set of straight lines shown in Fig. 9

Therefore, an additional time component is added to the station time component defined via the analysis of the passages. Neglecting the acceleration and deceleration phases required to bring the system from a standstill to 0.5 m/s, we obtain:

$$Q = \frac{C}{\left(\frac{2(v_l - v_s)}{a} + \frac{l - \frac{(v_l - v_s)^2}{a}}{v} + 2\left(\frac{C}{\frac{n_p \cdot n_{v,p}}{t_v}} + \frac{l_b}{v_s}\right)\right)} \cdot 3.600 \qquad (20)$$

Where l_b is the length of the platform, obtainable by summing the length of the cabins in a cluster and their spacing.

This relationship defines a function that can be graphically represented as shown in Fig. 10.

The design process begins with defining the number of cabins per cluster, typically between two and five units, proceeding with a separate calculation for each of these configurations. Subsequently, the cluster capacity is established by first defining the capacity of a single vehicle.

The next step involves estimating the times for acceleration, cruising travel, stopping at the station and crossing the station itself. The latter time depends on the length of the platform, which in turn depends on the number of cabins, and on the reduced speed at which the platform is traversed.

These parameters are used to calculate the ideal capacity of the cluster, i.e. the theoretical number of passenger seats required to meet the demand defined by the input hourly capacity. However, there may be a discrepancy between the vehicle capacity initially assumed and the calculated ideal vehicle capacity. It is therefore necessary to carry out an iterative process until convergence is achieved, varying the capacity of the individual cabin until the value that aligns the actual vehicle capacity with the ideal vehicle capacity is identified. The final vehicle capacity is then determined by rounding up to the next higher commercially available cabin capacity. Should the result exceed the maximum vehicle capacity of 15 passengers per vehicle, corresponding to the highest cabin capacity historically available on the market

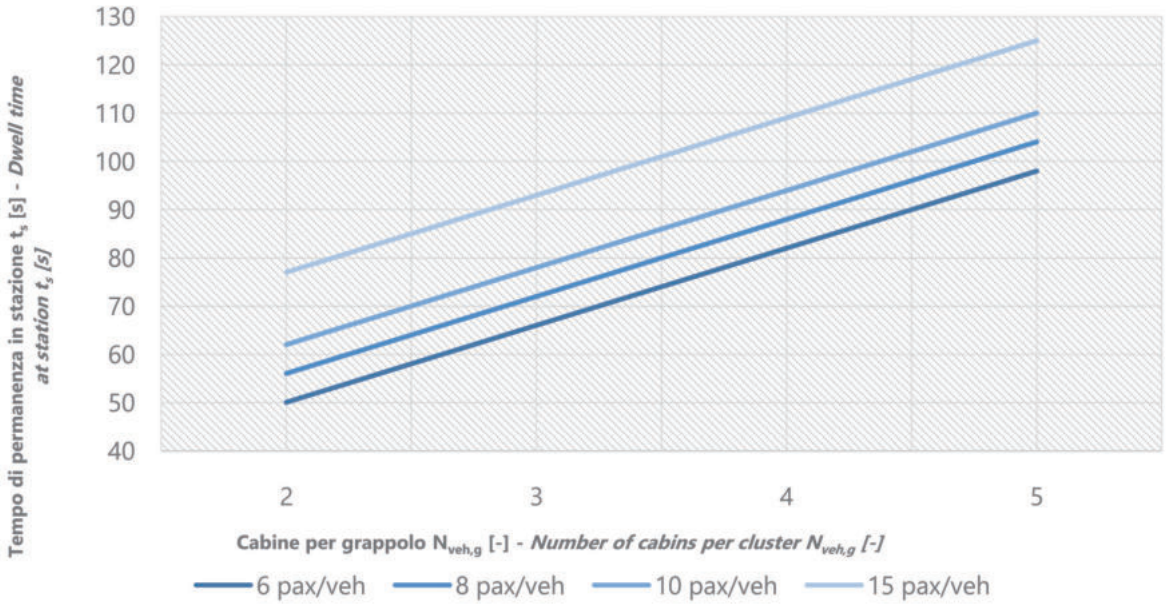


Figura 9 - Andamento tra numero di cabine per grappolo e tempo di permanenza in stazione.
Figure 9 - Relationship between the number of cabins per cluster and dwell time at the station.

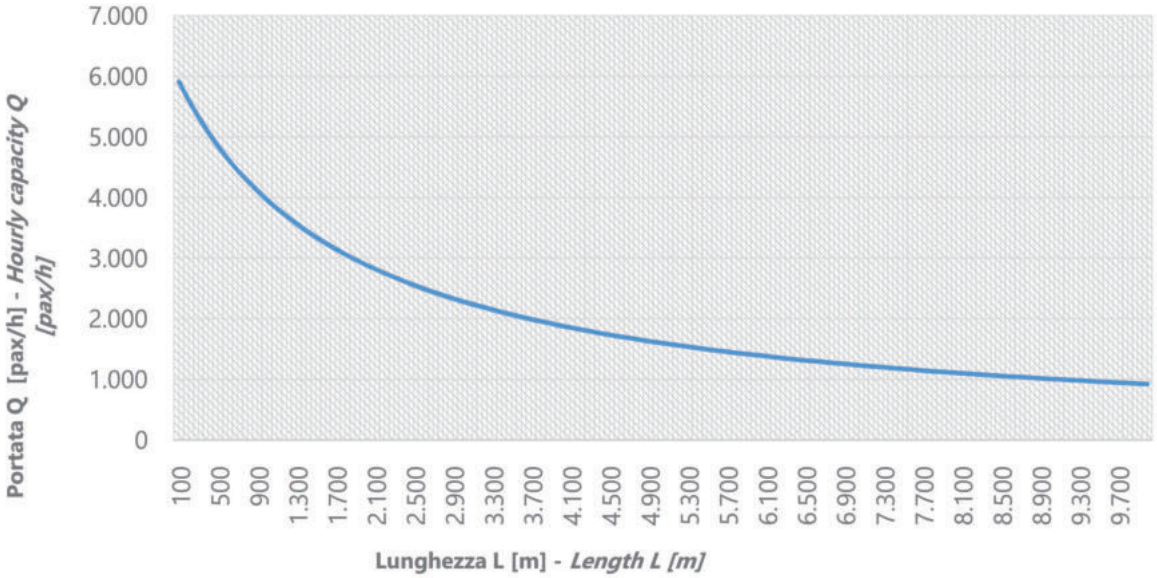


Figura 10 - Relazione Portata - Lunghezza per sistemi a movimento intermittente.
Figure 10 - Capacity vs. length relationship for intermittent-motion systems.

Il passo seguente consiste nella stima dei tempi di accelerazione, marcia a regime, arresto in stazione e percorrenza della stazione stessa. Quest'ultimo tempo dipende dalla lunghezza della banchina, che è funzione a sua volta del numero di cabine, e dalla velocità ridotta di attraversamento della medesima.

Mediante questi parametri si calcola la capienza ideale del grappolo, ovvero il numero teorico di posti passeggeri necessario per soddisfare la domanda definita dalla por-

for a single-cable pulsed system, the corresponding configuration with that number of vehicles per cluster is discarded.

Of all the admissible solutions, the final choice falls on the configuration that guarantees the highest fill factor, i.e. the one in which the required cluster capacity most closely approximates the capacity actually available without exceeding the imposed technological limits, in line with the methodology adopted for detachable-grip continuous movement systems.

A summary of this process is shown in Fig. 11.

tata di input. Tuttavia può verificarsi una discrepanza tra la capienza del veicolo inizialmente assunta e la capienza ideale calcolata. Risulta pertanto necessario effettuare un'iterazione fino a convergenza, variando la capienza della singola cabina fino a individuare il valore che consente di allineare la capienza effettiva con quella ideale. La capienza definitiva è quindi determinata dall'arrotondamento alla capienza commerciale superiore immediatamente disponibile. Qualora il risultato eccedesse la capienza massima di 15 passeggeri per veicolo, corrispondente alla massima capienza storicamente avuta in commercio per un impianto *pulsée* monofune, la corrispondente configurazione con quel numero di veicoli per grappolo viene scartata.

Tra tutte le soluzioni ammissibili, la scelta finale ricade sulla configurazione che garantisce il più elevato tasso di riempimento, ossia quella in cui la capienza del grappolo richiesta si approssima maggiormente a quella realmente disponibile senza superare i limiti tecnologici imposti, in analogia con la metodologia adottata per i sistemi automatici a movimento continuo.

Una sintesi di questo processo è rappresentata nella Fig. 11.

4.5. Dominio di ammissibilità delle soluzioni tecnologiche

Combinando le varie curve precedentemente ottenute e collezionate nella Fig. 12, si definiscono i domini di ammissibilità per le diverse soluzioni tecnologiche, individuando quali di esse possano essere opportunamente dimensionate.

- L'Area 1 rappresenta le combinazioni di Portata e Lunghezza in ingresso per le quali risultano ammissibili tutte le soluzioni tecnologiche.
- L'Area 2 individua le combinazioni per le quali è possibile impiegare tutte le tecnologie ad eccezione dei sistemi continui monofune fissi.
- L'Area 3 identifica le combinazioni per le quali si possono utilizzare tutte le soluzioni tecnologiche esclusi gli impianti continui monofune fissi e intermittenti.
- Le Aree 4a e 4b individuano le combinazioni per le quali risulta necessario adottare un sistema bifune.
- L'Area 5 rappresenta le combinazioni per le quali sono concesse esclusivamente le soluzioni a movimento continuo.
- Le Aree 6a e 6b rappresentano le combinazioni per le quali è possibile impiegare unicamente un sistema a va e vieni.
- L'Area 7 identifica le combinazioni per le quali è possibile utilizzare solamente una sistema continuo bifune automatico.
- L'Area 8 rappresenta le combinazioni per le quali non è possibile adottare alcuna tecnologia funiviaria aerea.

4.5. Feasibility domain for technological solutions

By combining the various curves previously obtained and compiled in Fig. 12, the feasibility domains for the different technological solutions are defined, identifying which of them can be appropriately sized.

- *Area 1 represents the combinations of Hourly capacity and Inlet Length for which all technological solutions are viable.*
- *Area 2 identifies the combinations for which all technologies can be used, with the exception of fixed monocable continuous cableways.*
- *Area 3 identifies the combinations for which all technological solutions can be used, excluding fixed and intermittent monocable continuous cableways.*
- *Areas 4a and 4b identify the combinations for which a bicable cableway must be adopted.*
- *Area 5 represents the combinations for which only continuous movement solutions are permitted.*
- *Areas 6a and 6b represent the combinations for which only a shuttle movement cableway may be used.*
- *Area 7 identifies the combinations for which only an automatic continuous bicable cableway may be used.*
- *Area 8 represents the combinations for which no aerial cableway technology can be used.*

4.6. Application to the "Pont Canavese - Frassinetto" link project

This model was applied in the context of an assessment for the construction of a link between the municipalities of Pont Canavese and Frassinetto, in the Alto Canavese area, within the Metropolitan City of Turin. Based on the locations of the origin and destination, the length of the system was set at 1,745 m. The required hourly capacity, which is particularly modest, is 250 passengers per hour.

From the graph shown at Fig. 13, it can be seen that the combination of length and hourly capacity makes any technological solution permissible from a regulatory point of view. The sizing was therefore carried out in accordance with the procedures described above, yielding the results shown in Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5, Tab. 6, Tab. 7, and Tab. 8.

From the previous Tab. 6, line spacing values greater than the length used as input can be observed. This result is attributable to the extremely low values of the input parameters, in particular the required hourly capacity. Under these conditions, assuming a line of indefinite length characterised by the same operational performance, spacings greater than the length of the analysed branch itself would be sufficient.

This phenomenon is confirmed by the fact that, in order to guarantee the required hourly capacity over the length under consideration, the theoretical number of vehicles required per branch is less than one. If we were to perform a reverse calculation, setting the number of vehicles on the

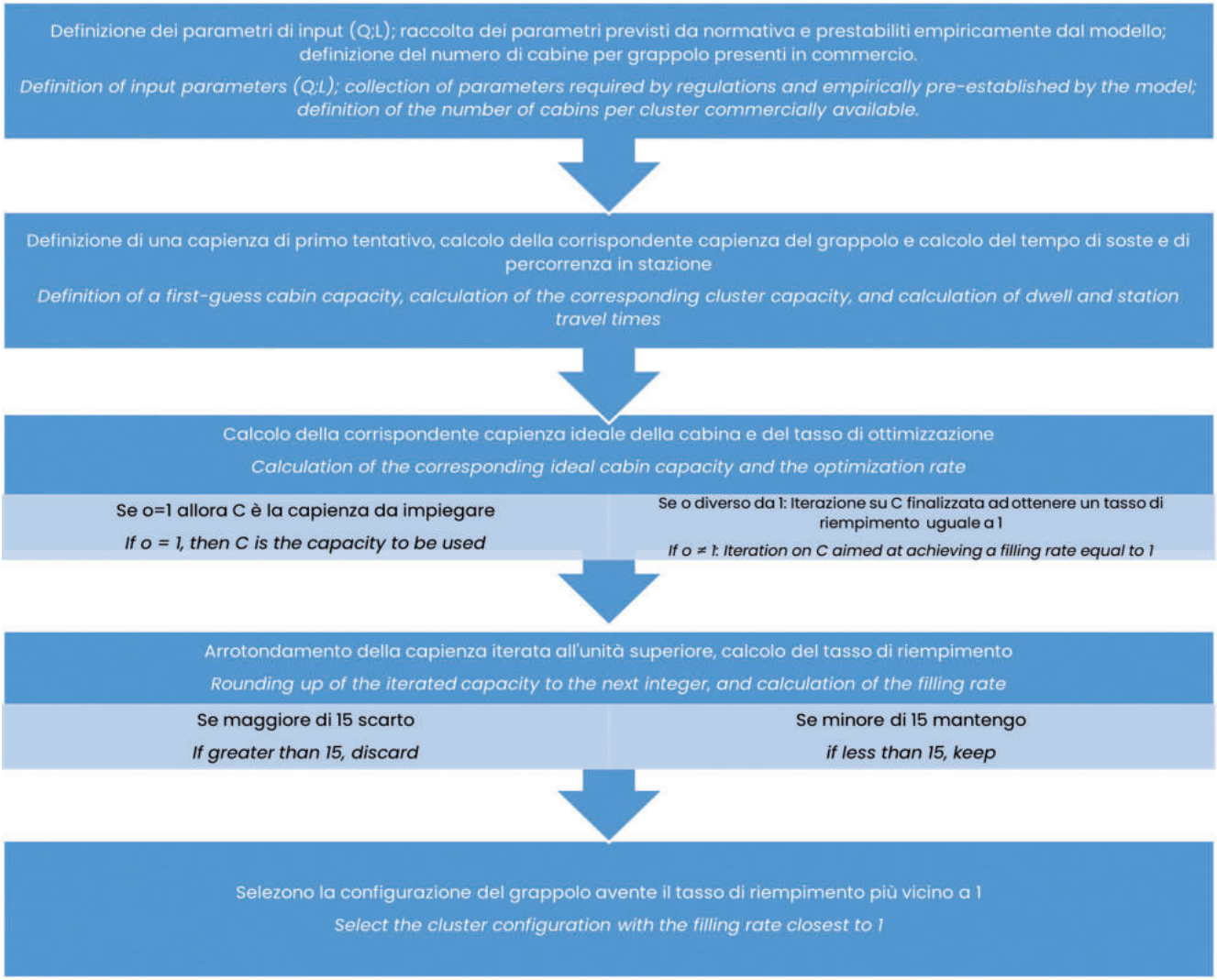


Figura 11 - Schematizzazione del processo di dimensionamento per i sistemi a movimento intermittente.
Figure 11 - Schematic representation of the sizing process for intermittent movement systems.

4.6. Applicazione per il progetto di collegamento "Pont Canavese – Frassinetto"

Il presente modello è stato applicato nel contesto di una valutazione per la realizzazione di un collegamento tra i comuni di Pont Canavese e Frassinetto, nell'Alto Canavese, nella Città Metropolitana di Torino. Sulla base delle ubicazioni di origine e destinazione, è stata definita una lunghezza dell'impianto pari a 1.745 m. La portata richiesta, di entità particolarmente modesta, risulta essere di 250 passeggeri ora.

Dal grafico riportato in Fig. 13 si evince che la combinazione di lunghezza e portata rende ammissibile, dal punto di vista normativo, qualsiasi soluzione tecnologica. Si è pertanto proceduto al dimensionamento secondo le modalità descritte in precedenza, ottenendo i risultati riportati nelle Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5, Tab. 6, Tab. 7, Tab. 8.

Dalla precedente Tab. 6 si rilevano valori di equidi-

branch to 1, we would obtain an input length equivalent to the line's spacing itself.

This evidence highlights how the technological solution under consideration is significantly oversized in relation to the actual transport requirements of the context under examination.

From the analysis of the Tab. 8, it is clear that the adoption of certain technologies, such as bicable gondola lifts, although they comply with regulatory requirements, appears to be excessively oversized in relation to the demand to be met, as their design is based on having multiple cabins in line, whilst the sizing calculations would suggest using just one cabin for the entire system

From this initial analysis, it is therefore possible, using just three input parameters (origin, destination and desired hourly capacity), to identify which technologies are suitable in terms of capacity and to optimise them for the specific transport requirement.

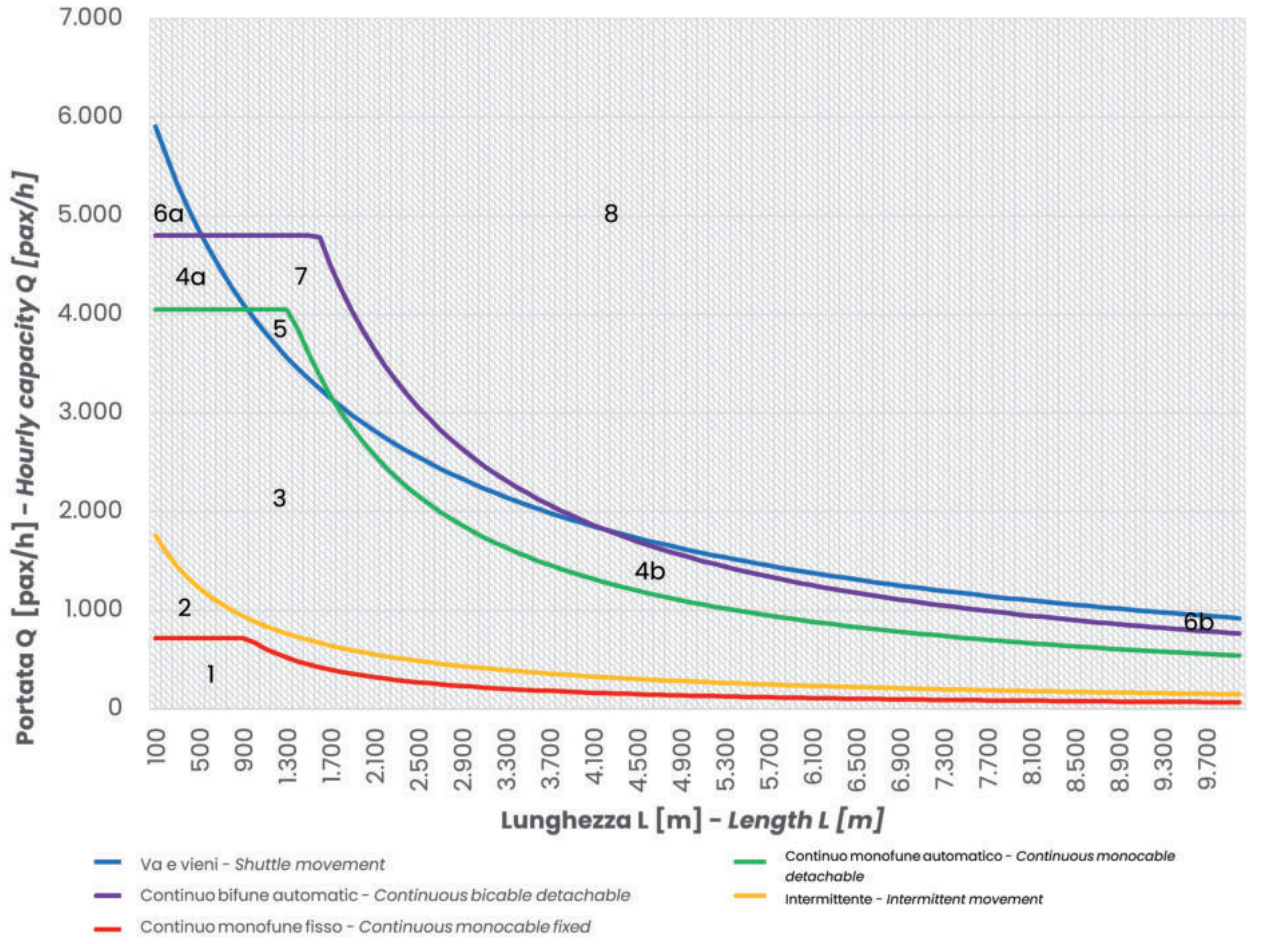


Figura 12 - Domini di ammissibilità delle differenti soluzioni tecnologiche per lo strato di capacità.
Figure 12 - Feasibility domains for the different technological solutions for the storage layer.

stanza di linea superiori alla lunghezza assunta in input. Tale risultato è riconducibile ai valori estremamente contenuti dei parametri di ingresso, in particolare della portata richiesta. In tali condizioni, ipotizzando una linea di lunghezza indefinita caratterizzata dalle medesime prestazioni operative, risulterebbero sufficienti equidistanze superiori alla lunghezza stessa del ramo analizzato.

Il fenomeno è confermato dal fatto che, per garantire la portata richiesta sulla lunghezza considerata, il numero teorico di veicoli necessari per ramo risulta inferiore all'unità. Ipotizzando di procedere con un calcolo inverso, fissando pari a 1 il numero di veicoli presenti sul ramo, si otterrebbe una lunghezza di input equivalente all'equidistanza di linea stessa.

Tale evidenza mette in luce come la soluzione tecnologica considerata risulti significativamente sovradimensionata rispetto alle effettive esigenze trasportistiche del contesto in esame.

Dall'analisi della Tab. 8 si intuisce come l'adozione di alcune tecnologie, quali le cabinovie bifune, sebbene risultino verificate normativamente, appaiano esageratamente sovradimensionate rispetto alla domanda da soddisfare,

5. The configuration layer

Once the sizing phase is complete, the identified technological solutions are not yet immediately comparable. Knowledge of hourly capacity and line length alone does not, in fact, allow us to determine which option is best suited to the specific case. At this stage, a fundamental step in the model comes into play: the contextualisation of the solutions within the real environment.

The basic principle is that the suitability of a technology depends not only on its technical and capacity parameters, but also on its ability to integrate into the morphological, urban and environmental context in which it is to operate. For this reason, an automated comparison algorithm has been developed, which aims to translate technical information into a uniform and replicable assessment of the alternatives.

The operational core of the algorithm is based on two pillars:

- *The operational GIS infrastructure, essential for georeferencing the territory and analysing natural and man-made constraints.*

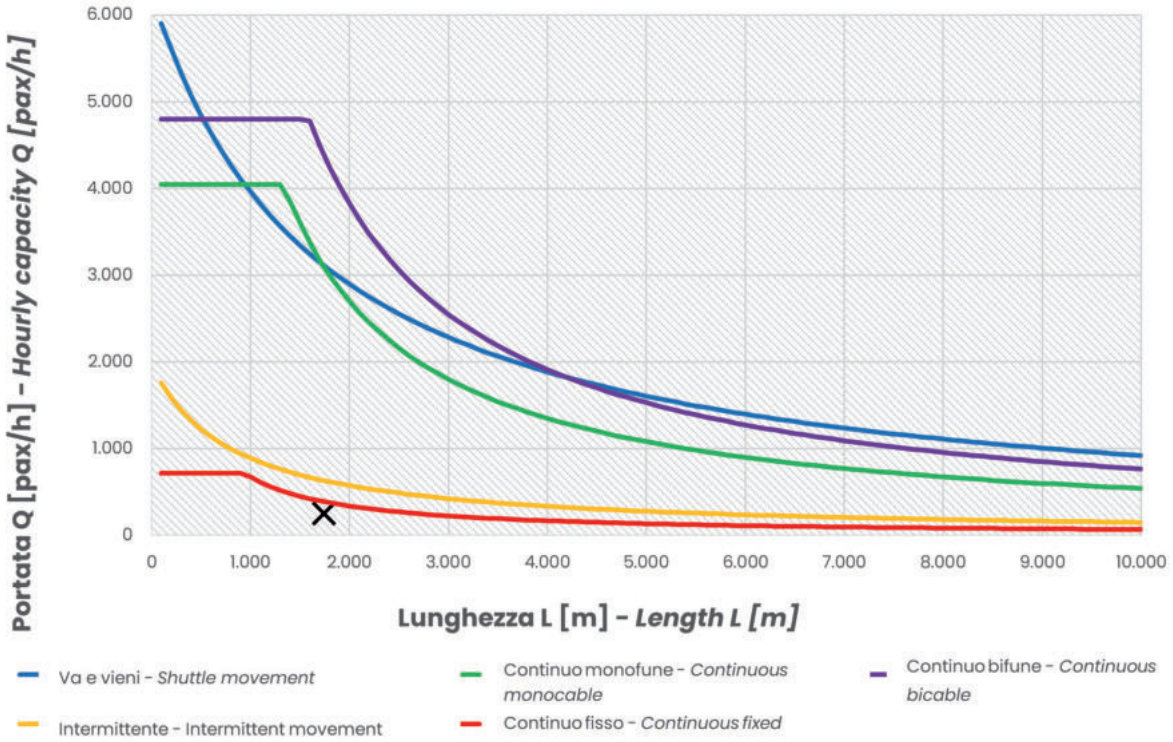


Figura 13 - Valutazione delle soluzioni ammissibili per Pont - Frassinetto su diagramma Lunghezza – Portata.
Figure 13 - Assessment of feasible solutions for Pont-Frassinetto on a length-hourly capacity diagram.

poiché la loro concezione è basata sull'avere più cabine in linea, mentre l'output di dimensionamento indurrebbe ad adottarne una sola per tutto il sistema

Da questa prima analisi è pertanto possibile, a partire da soli tre dati di input, (punto di origine, punto di destinazione e portata desiderata) comprendere quali tecnologie risultano idonee dal punto di vista capacitivo e ottimizzarle per la specifica domanda di trasporto.

5. Lo strato di configurazione

Una volta completata la fase di dimensionamento, le soluzioni tecnologiche identificate non sono ancora immediatamente confrontabili. La sola conoscenza di portata oraria e lunghezza della linea, infatti, non consente di stabilire quale opzione risulti più adatta al caso specifico. In questa fase entra in gioco un passaggio fondamentale del modello: la contestualizzazione delle soluzioni sul territorio reale.

Il principio di base è che la preferibilità di una tecnologia non dipende solo dai suoi parametri tecnici e capacitivi, ma anche dalla capacità di integrarsi nel contesto morfologico, urbano ed ambientale in cui deve operare. Per questo motivo è stato sviluppato un algoritmo di confronto automatizzato, che ha l'obiettivo di tradurre le informazioni tecniche in una valutazione uniforme e replicabile delle alternative.

Il nucleo operativo dell'algoritmo si fonda su due pilastri:

- *The line calculation tools, which enable each solution to be dimensioned geometrically and mechanically, with varying levels of automation.*

Fig. 14 provides a general overview of the process taking place in the configuration layer.

The stage following the design phase therefore concerns the spatial contextualisation of the solutions selected in the capacity layer. At this point, the model moves from a theoretical framework, based solely on length and hourly capacity, to a practical assessment of compatibility with the territory and its specific characteristics and constraints. This transition is crucial, as no technology can be evaluated without considering the morphological, urban planning and regulatory context in which it is situated.

At the heart of this phase lies the georeferencing of the line, which forms the link between the engineering model and the territorial model. The process begins with locating the cableway origin and destination points, and, on this basis, the theoretical line is drawn. This becomes the supporting structure onto which constraints, obstacles and proposed locations for supports are superimposed. This process enables the integration of GIS tools, in particular QGIS, with technical calculation software such as CDP [20], laying the foundations for an integrated information environment.

The first step is to collect the necessary spatial data. This includes:

- *DTM (Digital Terrain Model): indicates the elevation of*

- L'infrastruttura GIS-operativa, indispensabile per georeferenziare il territorio e analizzare vincoli naturali e antropici.
- Gli strumenti di calcolo di linea, che consentono di dimensionare geometricamente e meccanicamente ogni soluzione, con diversi livelli di automazione.

In Fig. 14 viene riportata una panoramica generale del processo che avviene nello strato di configurazione.

La fase successiva al dimensionamento riguarda dunque la contestualizzazione territoriale delle soluzioni selezionate nello strato di capacità. In questo momento il modello passa da un piano teorico, basato unicamente su lunghezza e portata, a una verifica concreta di compatibilità con il territorio e con le sue specificità e i suoi vincoli. Tale passaggio è cruciale, perché nessuna tecnologia può essere valutata senza considerare il contesto morfologico, urbanistico e normativo in cui si inserisce.

Al centro di questa fase si colloca la georeferenziazione del tracciato, che costituisce il legame tra modello ingegneristico e modello territoriale. Si parte dalla localizzazione dei punti di origine e destinazione dell'impianto e, su questa base, si disegna la linea teorica. Essa diventa la struttura portante sulla quale innestare vincoli, ostacoli e ipotesi di localizzazione dei sostegni. Questo processo rende possibile l'integrazione fra strumenti GIS, in particolare QGIS, e software di calcolo tecnico, come SIF [20], ponendo le basi di un ambiente informativo integrato.

Il primo passo è la raccolta dei dati territoriali necessari. Essi includono:

- DTM (*Digital Terrain Model*): indica la quota del terreno nudo, fondamentale per modellare l'andamento altimetrico naturale.
- DSM (*Digital Surface Model*): indica la quota della superficie, integrando gli ingombri di alberi ed edifici.
- Layer vettoriale poligonale dell'edificato, utile per distinguere i soli ostacoli antropici all'interno del DSM. È infatti necessario identificare i punti in cui l'infrastruttura funiviaria sorvola l'edificato, al fine di mantenere i franchi normativamente imposti.
- Carte dei vincoli, sotto forma di layer vettoriali poligonali o lineari, che comprendono zone a rischio frane, valanghe, idrico, oltre ad infrastrutture lineari come strade, ferrovie ed elettrodotti.

L'elaborazione in QGIS avviene attraverso metodi di geoprocessing. Un primo processo consiste nell'integrare l'edificato al profilo del terreno: il DSM viene filtrato utilizzando il layer vettoriale dell'edificato, ottenendo così un modello altimetrico in cui gli unici elementi rappresentati sono gli edifici. Successivamente, questo DSM "pulito" viene fuso con il DTM, creando un modello composito che restituisce sia la morfologia naturale sia gli ingombri antropici. Il processo è sintetizzato in Fig. 15.

A partire da questo modello, si estraggono i profili alti-

Tabella 3 - *Table 3*
Tabella di calcolo per il dimensionamento della soluzione a va e vieni
Calculation table for sizing the shuttle solution

Q	Portata di input *Input hourly capacity*	[pax/h]	250
l	Lunghezza di input *Input length*	[m]	1.745,0
C	Capienza della cabina *Vehicle capacity*	[pax]	14,1
v	Velocità di regime *Operating speed*	[m/s]	12,0
a	Accelerazione/decelerazione *Acceleration/deceleration*	[m/s^2]	0,5
n_v	Numero di varchi simultanei *Number of simultaneous passages*	[pax]	2,0
t_{vet}	Tempo operativo del vetturino *Attendant operating time*	[s]	35,0
t_v	Tempo di varco del singolo passeggero *Pass-through time for a single passenger*	[s]	1,5
t_a	Tempo di accelerazione e decelerazione *Acceleration and deceleration time*	[s]	48,0
t_r	Tempo a regime *Time at cruising speed*	[s]	133,4
t_s	Tempo di sosta in stazione *Time spent at the station*	[s]	21,1
C_{id}	Capienza ideale *Ideal vehicle capacity*	[pax]	14,1
o	Tasso di ottimizzazione *Optimisation rate*	[-]	1,0
o_{def}	Tasso di ottimizzazione post arrotondamento *Post-rounding optimisation rate*	[-]	0,9
C_{def}	Output di dimensionamento *Dimensioning output*	[pax]	15

bare ground, which is essential for modelling the natural topography.

- *DSM (Digital Surface Model): indicates the elevation of the surface, incorporating the outlines of trees and buildings.*
- *A polygonal vector layer of buildings, useful for distinguishing solely man-made obstacles within the DSM. It is in fact necessary to identify the points where the cableway infrastructure passes over built-up areas, in order to maintain the clearance distances required by regulations.*
- *Restriction maps, in the form of polygonal or linear vector layers, covering areas at risk of landslides, avalanches and flooding, as well as linear infrastructure such as roads, railways and power lines.*

Processing in QGIS is carried out using geoprocessing methods. An initial step involves integrating the built-up

metrici comprensivi di terreno ed edificato. Parallelamente, si esegue l'analisi degli altri vincoli:

- per gli ostacoli lineari, come strade ed elettrodotti, il tracciato viene intersecato con i layer corrispondenti, generando picchetti localizzati sulla progressiva della linea in corrispondenza dell'intersezione;
- per gli ostacoli areali, come zone a rischio idrogeologico o aree protette, si ricava l'intervallo di progressiva che non consente l'installazione di sostegni di linea, delimitato da un picchetto di inizio vincolo e un picchetto di termine vincolo, ubicati sull'intersezione tra linea e frontiera dell'area soggetta a vincolo.

Il risultato è un set di dati riportanti le progressive e la tipologia di vincolo. Il processo è sintetizzato in Fig. 16.

Una volta definita la base spaziale, ossia il profilo altimetrico comprensivo dell'edificato, le diverse soluzioni tecnologiche devono essere configurate tramite software di calcolo, ad esempio SIF, che consente di simulare la linea funiviaria inserendo posizione dei sostegni, geometria, tensioni e parametri dinamici.

Il processo è iterativo:

Tabella 4 - *Table 4*
Tabella di calcolo per il dimensionamento della soluzione fissa a movimento continuo
Calculation table for sizing the fixed-grip solution with continuous movement

C	Capienza della cabina (del cesto) *Vehicle capacity*	[pax]	2,0
v_l	Velocità di regime *Line speed*	[m/s]	1,5
v_s	Velocità in stazione *Station speed*	[m/s]	1,5
n_{pax}	Passeggeri su ramo *Passengers per branch*	[pax]	80,8
i	Intertempo *Headway*	[s]	28,8
e	Equidistanza in linea *Line spacing*	[m]	43,2
n_{veh}	Numero di veicoli su ramo *Number of vehicles per branch*	[-]	40,4
r	Tasso di riempimento *Fill factor*	[-]	1,0
n_{veh_def}	Output di dimensionamento *Dimensioning output*	[-]	81

Tabella 5 - *Table 5*
Tabella di calcolo per il dimensionamento della soluzione automatica monofune a movimento continuo
Calculation table for sizing the automatic-grip monocable solution with continuous movement

Q	Portata di input *Input hourly capacity*	[pax/h]	250	250	250	250
l	Lunghezza di input *Input length*	[m]	1.745	1.745	1.745	1.745
C	Capienza della cabina *Vehicle capacity*	[pax]	6,0	8,0	10,0	15,0
v_l	Velocità di regime *Line speed*	[m/s]	6,0	6,0	6,0	6,0
v_s	Velocità in stazione *Station speed*	[m/s]	0,3	0,3	0,3	0,3
n_{pax}	Passeggeri su ramo *Passengers per branch*	[pax]	20,2	20,2	20,2	20,2
i	Intertempo *Headway*	[s]	86,4	115,2	144,0	216,0
e_l	Equidistanza in linea *Line spacing*	[m]	518,4	691,2	864,0	1.296,0
e_s	Equidistanza in stazione *Station spacing*	[m]	25,9	34,6	43,2	64,8
e'_l	Equidistanza verificata *Verified line spacing*	[m]	518,4	691,2	864,0	1.296,0
n_{veh}	Numero di veicoli su ramo *Number of vehicles per branch*	[-]	3,4	2,5	2,0	1,3
r	Tasso di riempimento *Fill factor*	[-]	0,96	0,84	0,81	0,90
n_{veh_def}	Numero di veicoli effettivo *Effective vehicle number*	[-]	7	6	5	3

area with the terrain profile: the DSM is filtered using the vector layer of the built area, thus producing an elevation model in which the only elements represented are buildings. Subsequently, this 'cleaned' DSM is merged with the DTM, creating a composite model that captures both the natural topography and man-made features. The process is summarised in Fig. 15.

From this model, elevation profiles are extracted, comprising both terrain and built-up areas. At the same time, an analysis of other constraints is carried out:

- *for linear obstacles, such as roads and power lines, the route is intersected with the corresponding layers, generating markers located on the line's longitudinal profile at the point of intersection;*
- *for areal obstacles, such as areas at risk of hydrogeological hazards or protected areas, the range of longitudinal coordinates where the installation of line supports is not permitted is determined, bounded by a 'start of constraint' marker and an 'end of constraint' marker, located at the intersection between the line and the boundary of the constrained area.*

The result is a dataset containing the progressives and the type of restriction. The process is summarised in Fig. 16.

1. si definisce una configurazione iniziale dei sostegni;
2. si avvia la simulazione;
3. si verificano i risultati rispetto a limiti normativi e tecnici riportati in Tab. 9. Le verifiche principali includono: (i) aderenza della fune sulla puleggia, (ii) coefficiente di sicurezza della fune, (iii) limiti di carico sulle rulliere, minimo e massimo, (iv) condizioni aggiuntive il cui rispetto, pur non essendo normativamente imposto, rappresenta una *good practice* progettuale. Si citano ad esempio l'assenza di rulliere sottocorda e il rispetto della formula di Isaachsen;
4. in caso di non conformità, si modifica la configurazione e si ripete la simulazione.

Il carattere iterativo del processo è fondamentale: le configurazioni possibili sono praticamente infinite, perciò occorre un parametro di analisi. Nel modello proposto, questo parametro è rappresentato dal quantificatore comparativo, un indicatore sintetico di costo installativo e operativo. Al fine di rendere confrontabili le soluzioni configurate è

Once the spatial basis has been defined, that is the elevation profile including the built environment, the various technological solutions must be configured using calculation software, such as CDP, which allows the cableway line to be simulated by inputting the positions of the supports, geometry, tensions and dynamic parameters.

The process is iterative:

1. *an initial configuration of the supports is defined;*
2. *the simulation is run;*
3. *the results are checked against the regulatory and technical limits set out in Tab. 9 . The main checks include: (i) rope adhesion to the pulley, (ii) rope safety factor, (iii) minimum and maximum load limits on the roller blocks, (iv) additional conditions which, whilst not required by regulations, represent good design practice. Examples include the absence of support rollers in sag condition and compliance with the Isaachsen formula.*
4. *In the event of non-compliance, modify the configuration and repeat the simulation.*

Tabella 6 - *Table 6*
Tabella di calcolo per il dimensionamento della soluzione automatica bifune a movimento continuo
Calculation table for the design of the automatic-grip bicable solution with continuous movement

Q	Portata di input *Input hourly capacity*	[pax/h]	250	250	250
l	Lunghezza di input *Input length*	[m]	1.745	1.745	1.745
C	Capienza della cabina *Vehicle capacity*	[pax]	20,0	28,0	38,0
v_l	Velocità di regime *Line speed*	[m/s]	8	8	8
v_s	Velocità in stazione *Station speed*	[m/s]	0,3	0,3	0,3
n_{pax}	Passeggeri su ramo *Passengers per branch*	[pax]	15,1	15,1	15,1
i	*Intertempo* *Headway*	[s]	288,0	403,2	547,2
n_v	Numero di varchi simultanei per cabina *Pass-through number per cabin*	[pax]	1	1	1
t_v	Tempo di varco del singolo passeggero *Passage time per passenger*	[m]	1,5	1,5	1,5
e_l	Equidistanza in linea *Line spacing*	[m]	2304,0	3225,6	4377,6
e_s	Equidistanza in stazione *Station spacing*	[m]	86,4	121,0	164,2
e'_l	Equidistanza verificata *Verified line spacing*	[m]	2304,0	3225,6	4377,6
n_{veh}	Numero di veicoli su ramo *Number of vehicles per branch*	[-]	0,8	0,5	0,4
r	Tasso di riempimento *Fill factor*	[-]	0,76	0,54	0,8
n_{veh_def}	Numero di veicoli effettivo *Effective vehicle number*	[-]	2	2	1

The iterative nature of the process is fundamental: the possible configurations are practically infinite, so an analysis parameter is required. In the proposed model, this parameter is represented by the comparative quantifier, a synthetic indicator of installation and operating costs. In order to make the configured solutions comparable, it is therefore necessary to introduce this parameter, conceived not as a real estimate of costs, but as a uniform indicator of design "cost-effectiveness".

This parameter, aimed at minimising the resources used, comprises two main components:

- *Investment cost quantifier, calculated by combining the regulatory formulas set out in the Decree of the Autonomous Province of Bolzano [19] with cost parameters obtained by setting up a price list based on units of measurement for the various components. This parameter is defined in an extremely preliminary manner and in no way claims to represent the actual cost of the infrastructure (an element that will be used in the subsequent impact layer); rather, it serves solely for comparative purposes between the various alternative configurations. This simplification is intended to streamline the iterative process by focusing solely on the essential parameters required to compare two different configurations employing the same technology.*
- *Operating costs quantifier, ba-*

quindi necessario introdurre tale parametro, concepito non come stima reale dei costi, ma come indicatore uniforme di "convenienza" progettuale.

Questo parametro, orientato alla minimizzazione delle risorse impiegate, si articola in due componenti principali:

- Quantificatore di costi di investimento, calcolato combinando le formule normative del Decreto della Provincia Autonoma di Bolzano [19] e parametri di costo ottenibili tramite il setup di un prezziario a unità di misura delle differenti componenti. Questo parametro ha definizione estremamente preliminare e non ambisce in nessun modo ad essere rappresentativo del reale costo dell'infrastruttura (elemento che verrà impiegato nel successivo strato di impatto) ma ha unicamente carattere comparativo tra le differenti configurazioni alternative. Questa semplificazione ha l'intento di snellire il processo iterativo andando a ricondursi unicamente ai parametri essenziali per il confronto di due diverse configurazioni aventi la stessa tecnologia.
- Quantificatore di costi operativi, basato sui consumi energetici sull'intero ciclo di vita, con esclusione dei costi di personale, poiché quest'ultimo parametro è considerato in prima istanza costante in dipendenza dalla configurazione e dalla tipologia tecnologica.

Non si tratta di un vero costo economico, in quanto non è in grado di fotografare le condizioni puntuali del mercato, ma di una misura uniforme che consente di confrontare tra loro le alternative. L'obiettivo, dunque, consiste nel definire la configurazione che minimizza il quantificatore totale.

La configurazione di primo tentativo si conclude quando si determina la configurazione avente il valore minimo del quantificatore sopracitato.

Come riportato nella Fig. 17, il confronto non si limita alle condizioni tecniche. Una volta configurata in primo tentativo la linea, essa deve essere valutata sulla base dei vincoli territoriali individuati nella fase di georeferenziazione dei vincoli. Ogni picchetto corrisponde a un vincolo specifico:

Tabella 7 - *Table 7*

Tabella di calcolo per il dimensionamento della soluzione a movimento intermittente

Calculation table for the design of the intermittent-movement solution

Portata di input *Input hourly capacity*	Q	[pax/h]	250	250	250	250
Lunghezza di input *Input length*	l	[m]	1.745	1.745	1.745	1.745
Cabine per grappolo *Cluster cabins number*	$N_{veh,g}$	[-]	2	3	4	5
Numero di grappoli *Cluster number*	Ng	[-]	2	2	2	2
Capienza della cabina *Cabin capacity*	C	[pax]	12,4	8,1	6,1	4,9
Capienza del grappolo *Cluster capacity*	C_g	[pax]	24,9	24,4	24,4	24,6
Velocità di regime *Line speed*	v_l	[m/s]	6,0	6,0	6,0	6,0
Velocità in stazione *Station speed*	v_s	[m/s]	0,5	0,5	0,5	0,5
Distanziamento minimo *Spacing between vehicles*	d	[m]	3,0	3,0	3,0	3,0
Accelerazione/ decelerazione *Acceleration/deceleration*	a	[m/s^2]	0,5	0,5	0,5	0,5
Numero di varchi simultanei *Pass-through number per cabin*	n_v	[-]	2,0	3,0	4,0	5,0
Tempo di varco del singolo passeggero *Pass-through number per passenger*	t_v	[s]	1,5	1,5	1,5	1,5
Tempo di accelerazione e decelerazione *Acceleration and deceleration time*	t_a	[s]	24,0	24,0	24,0	24,0
Tempo a regime *Time at cruising speed*	t_r	[s]	284,8	284,8	284,8	284,8
Tempo di sosta in stazione *Time spent at the station*	t_s	[s]	37,3	24,4	18,3	14,7
Tempo di percorrenza in stazione *Time spent in crossing the station*	t_{ps}	[s]	12,0	18,0	24,0	30,0
Capienza ideale *Ideal cluster capacity*	C_{id}	[pax]	24,9	24,4	24,4	24,6
Tasso di ottimizzazione del grappolo *Cluster optimisation rate*	o	[-]	1,0	1,0	1,0	1,0
Tasso di riempimento *Fill factor*	r	[-]	0,83	0,81	0,76	0,82
Output di dimensionamento *Design output*	C_{def}	[pax]	15	10	8	6

sed on energy consumption over the entire life cycle, excluding staff costs, as this parameter is considered, in the first instance, to be constant depending on the configuration and type of technology.

Tabella 8 - *Table 8:*
Riepilogo degli output di dimensionamento
Summary of sizing outputs

Soluzione ***Solution***	**Numero di cabine totali** ***Total number of cabins***	**Capienza veicoli** ***Vehicle capacity***
Va-e-vieni (ATW) *Shuttle (ATW)*	2	15
Mov. continuo amm. Automatico monofune (MGD) *Monocable detachable continuous (MGD)*	7	6
Mov. continuo amm. Automatico bifune (BGD) *Bicable detachable continuous (BGD)*	1	38
Mov. Intermittente (MGP) *Intermittent movement (MGP)*	4	15
Moc. Continuo amm. Fisso (MGF) *Monocable fixed continuous (MGF)*	81	2

- vincoli di sorvolo, definiti in funzione della natura dell'ostacolo, che impongono il rispetto dei franchi verticali normativamente menzionati;

This is not a true economic cost, as it does not reflect specific market conditions at any given time, but rather a standardised measure that allows alternatives to be compared with one another. The objective, therefore, is to identify the configuration that minimises the total quantifier.

The initial configuration attempt concludes when the configuration with the minimum value of the aforementioned quantifier is determined.

As shown in Fig. 17, the comparison is not limited to technical conditions. Once the line has been configured in the initial attempt, it must be assessed on the basis of the territorial constraints identified during the georeferencing phase. Each marker corresponds to a specific constraint:

- *overflight constraints, defined according to the nature of the obstacle, which require compliance with the vertical clearance limits specified in the regulations.*
- *support placement constraints, which prohibit installations in unstable or protected areas.*

Therefore, the line configured in the first attempt is "superimposed" onto the previously defined framework of constraints. If the first attempt configuration complies with all constraints, the calculated quantifier is accepted as a reference. If, however, any incompatibilities arise, a localised reconfiguration is carried out:

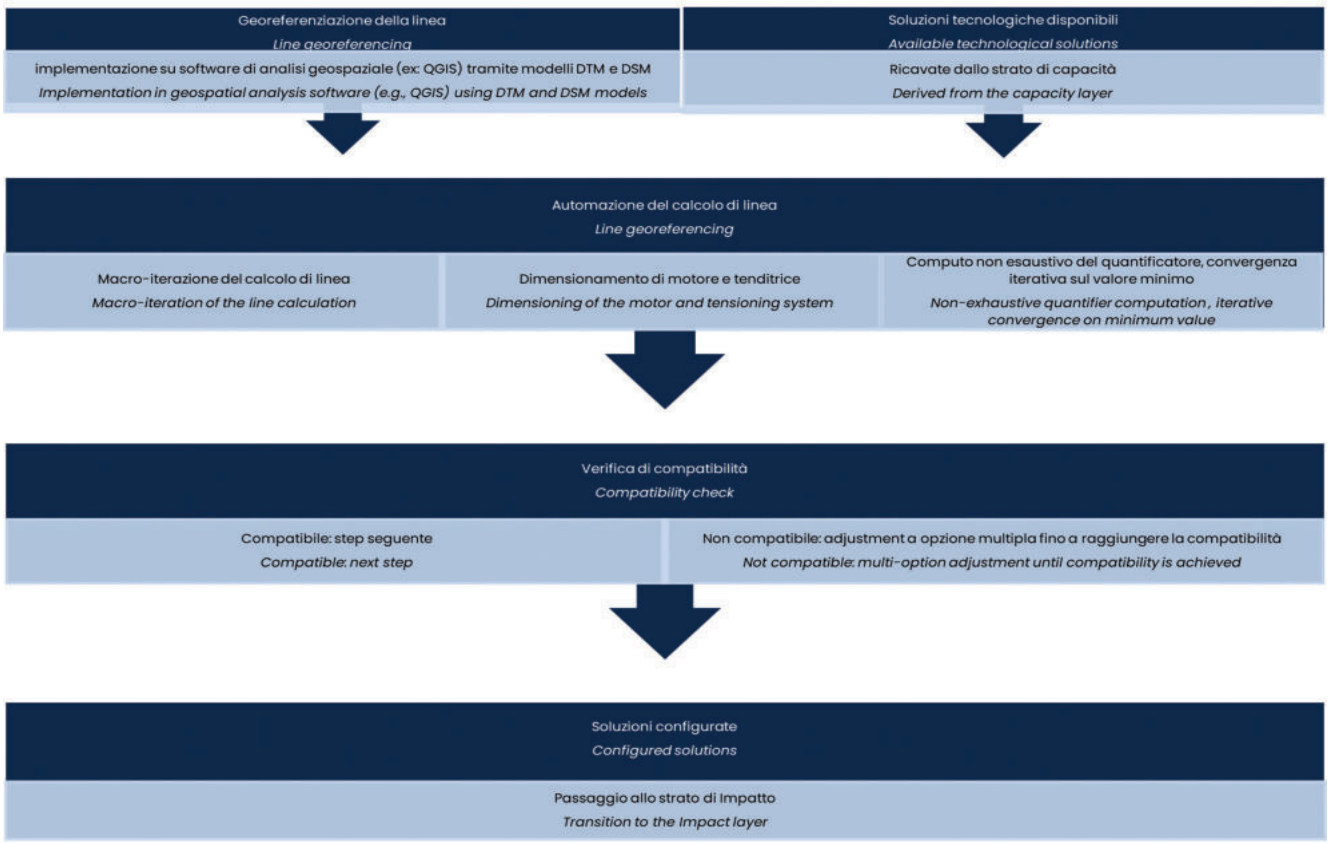


Figura 14 - Schematizzazione del processo dello strato di configurazione.
Figure 14 - Schematic representation of the configuration layer process.



Figura 15 - Schematizzazione del processo di realizzazione del modello terreno comprendente l'edificato.
Figure 15 - Schematic representation of the process for creating a terrain model incorporating built-up areas.

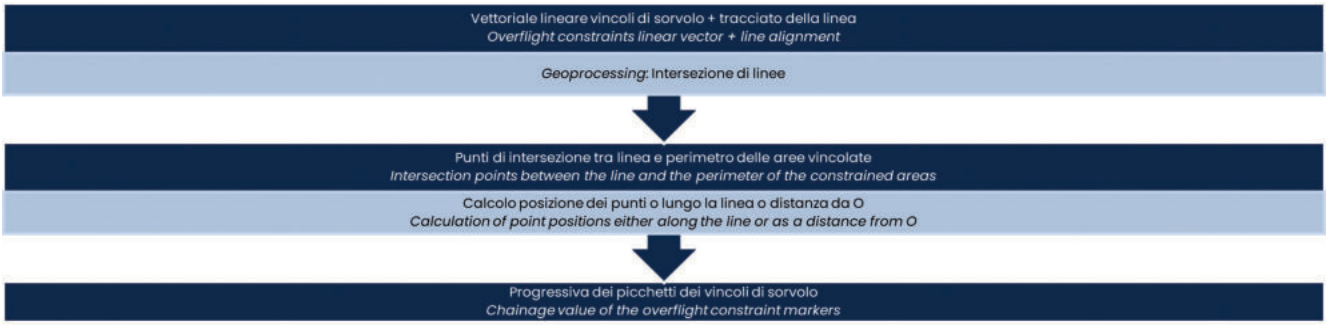


Figura 16 - Schematizzazione del processo di definizione delle progressive degli ostacoli di sorvolo puntuali.
Figure 16 - Schematic representation of the process for defining the elevations of point-specific overflight obstacles.

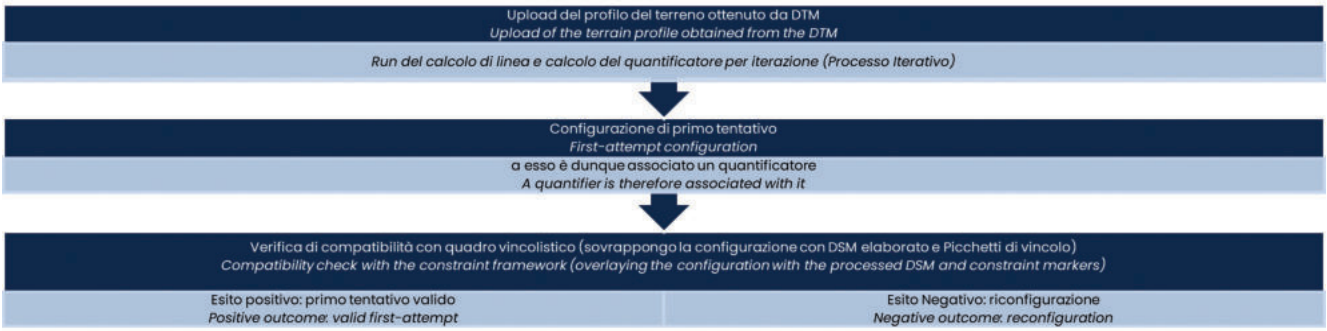


Figura 17 - Schematizzazione del processo di automazione del calcolo di linea.
Figure 17 - Schematic representation of the process for automating line calculations.

- vincoli di collocazione dei sostegni, che vietano installazioni in aree instabili o protette.

Dunque, si procede "sovrapponendo" la linea configurata al primo tentativo al quadro vincolistico precedentemente definito. Se la configurazione di primo tentativo rispetta tutti i vincoli, il quantificatore calcolato viene accettato come riferimento. Se invece emergono incompatibilità, si procede a una riconfigurazione localizzata:

- per i vincoli di collocazione dei sostegni: spostamento a monte o a valle dei sostegni incompatibili;
- per i vincoli di sorvolo: variazione dell'altezza dei sostegni, o accorciamento delle campate.

- *for support placement constraints: moving incompatible supports upstream or downstream;*
- *for overflight constraints: adjusting the height of the pylons, or shortening the spans.*

Every possible modification to the line generates an alternative scenario, which is subjected to a new technical simulation and a recalculation of the quantifier. For each scenario, therefore, an attempt is made to determine the solution that is compatible with the constraints and regulations and is closest to the initial configuration, determined from the characteristic action of that scenario, which minimises the quantifier. Each scenario leading to a compatible solution is compared. The choice will fall on the scenario

Tabella 9 - *Table 9*

Sintesi delle verifiche considerate all'interno del dimensionamento
Summary of the checks considered in the sizing process

Aderenza fune sulla puleggia *Cable grip on the pulley*	$\frac{T_{max}}{T_{min}} < e^{f \cdot \alpha}$	-T_{max} Tensione massima -T_{min} Tensione minima -f coefficiente d'attrito -α angolo di avvolgimento della fune sulla puleggia motrice *- T_{max} Maximum tension - T_{min} Minimum tension - f coefficient of friction -alfa angle of rope wrap around the drive pulley*	*Paragrafo 15.11.1 DD172/21* [17] *Paragraph 15.11.1 DD172/21*
Coefficiente di sicurezza della fune *Rope safety factor*	$K = \frac{f_t}{T_{max}} > K_{min}$	-f_t Carico di rottura della fune -T_{max} Tensione massima -K_{min} coefficiente di sicurezza minimo, che assume i seguenti valori (in normali condizioni di esercizio): per funi portanti; per traenti (variabile a seconda della tecnologia funiviaria); 4 per portanti traenti *- f_t Breaking load of the rope - T_{max} Maximum tension - K_{min} Minimum safety factor, which takes the following values (under normal operating conditions): for carrying ropes; for hauling ropes (varying according to ropeway technology); 4 for carrying and hauling ropes*	*Paragrafi 15.4 15.5 e 15.6 DD172/21* [17] *Paragraphs 15.4, 15.5 and 15.6 of DD172/21*
Limiti di carico sui rulli, minimo e massimo *Minimum and maximum load limits on rollers*	$P_u > 60\ daN$ $P_u < 650\ daN$	-P_u Pressione massima su singolo rullo *- P_u Maximum pressure on a single roller*	*Paragrafi 3.16 e 3.18 (assunzioni semplificative) DM68/1999* [18] *Paragraphs 3.16 and 3.18 (simplified assumptions) DM68/1999*
Assenza di rulliere sottocorda *Absence of support rollers in sag condition*	Analisi geometrica *Geometric analysis*		*Best practice*
Formula di Isaachsen *Isaachsen's formula*	$\frac{(P \cdot 0{,}1 \cdot g)^2}{T_{min} \cdot A} < 0{,}07$	-P massa del singolo veicolo carico [kg] -g accelerazione di gravità [m/s²] -T_{min} Tensione minima [daN] -A Sezione metallica della fune [mm²] *- P mass of a single loaded vehicle [kg] - g acceleration due to gravity [m/s²] - T_{min} Minimum tension [daN] - A Cross-sectional area of the wire rope [mm²]*	*Best practice*

Ogni operazione di perturbazione della linea effettuabile genera uno scenario alternativo, sottoposto a nuova simulazione tecnica e ricalcolo del quantificatore. Per ogni scenario, dunque, si cercherà di determinare la soluzione vincolisticamente e normativamente compatibile più vicina alla configurazione di primo tentativo, determinata a partire dall'azione caratterizzante tale scenario, che minimizza il quantificatore. Ogni scenario che porta a una soluzione compatibile viene confrontato. La scelta ricadrà sullo scenario compatibile con i vincoli e con le normative che fornisce il valore più basso del quantificatore. Le soluzioni che non raggiungono in nessuno scenario correttivo la compatibilità vengono escluse. In questo modo, il modello restituisce un insieme ridotto di alternative, confrontabili su base uniforme. Tale operazione viene sintetizzata in Fig. 18.

L'intero processo è stato applicato per il calcolo di una

that is compatible with the constraints and regulations and provides the lowest value of the quantifier. Solutions that do not achieve compatibility in any corrective scenario are excluded. In this way, the model returns a reduced set of alternatives that can be compared on a uniform basis. This operation is summarised in Fig. 18.

The entire process was applied to the design of a cableway linking the town of Sorrento to the village of Sant'Agata sui Due Golfi (Metropolitan City of Naples, Campania). In terms of the technological solution, a hybrid gondola lift was chosen (as previously described at [2][3][13], in which motion can be transmitted to the vehicle in two alternative ways: (i) via a cable drive, similar to a traditional cable car; or (ii) via drive wheels fitted to the vehicle, not unlike a suspended monorail. Fig. 19 and Fig. 20 provide a summary of the operations described above.

The route calculation for the cableway section was car-

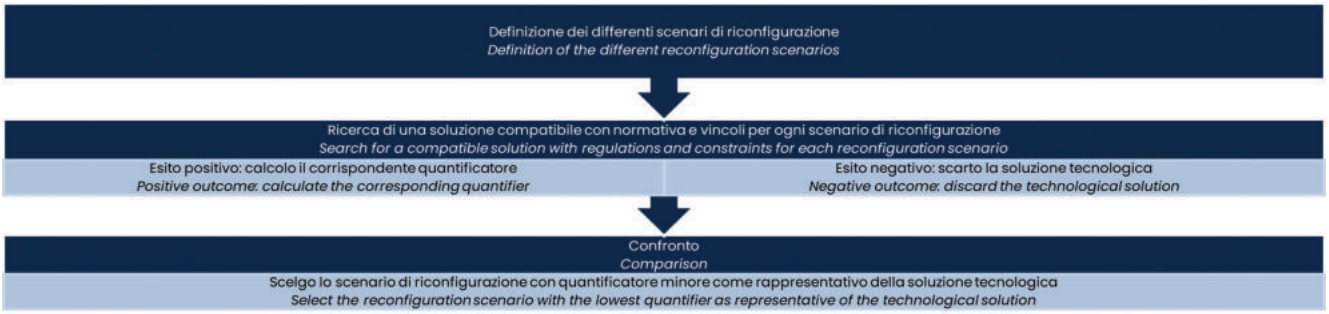


Figura 18 - Schematizzazione del sottoprocesso di riconfigurazione.
Figure 18 - Schematic representation of the reconfiguration sub-process.

linea funiviaria che collega la città di Sorrento al borgo di Sant'Agata sui Due Golfi (Città Metropolitana di Napoli, Campania) per la quale si è optato, in termini di soluzione tecnologica, per una telecabina ibrida (già descritta in [2][3][13]), in cui il moto può essere trasmesso al veicolo attraverso due modalità alternative: (i) tramite ammorsamento ad una fune, in modo simile ad una cabinovia tradizionale; oppure (ii) tramite moto-ruote installate sul veicolo, in modo non dissimile ad una monorotaia sospesa. La Fig. 19 e la Fig. 20 mostrano sinteticamente le operazioni appena descritte.

Il calcolo di linea, per la tratta funiviaria, è stato effettuato impiegando la prassi progettuale precedentemente esposta. Si è riscontrato che la configurazione per cui è

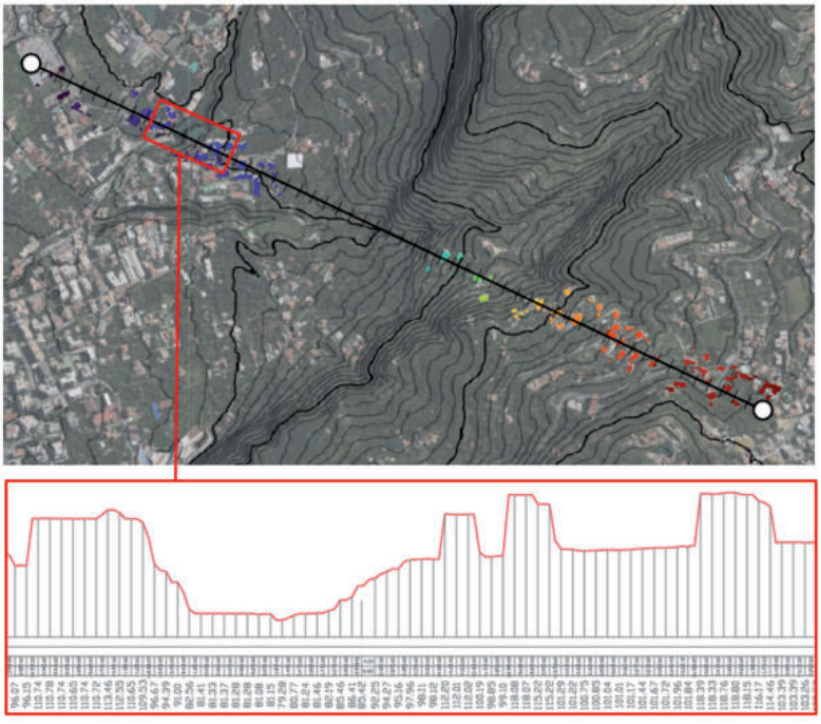


Figura 19 - Esempio di combinazione DTM+DSM con estrazione del profilo comprendente l'edificato.
Figure 19 - Example of a DTM+DSM combination with profile extraction including built-up areas.

ried out using the design methodology outlined above. It was found that the configuration for which the minimum quantifier was determined had a constraint-related incompatibility linked to the positioning of support R6 in an area at high risk of landslides, and a second one linked to interference between the cableway and a power line. For the first issue, two reconfiguration scenarios were therefore analysed:

- *Moving R6 downstream: loss of regulatory compliance (excessive pressures in the roller track);*
- *Moving support R6 upstream: a compliant solution was achieved.*

For the interference with the power line, which occurred between supports C7 and C8, four modification scenarios were analysed:

- *Moving C7 closer: incompatible due to interference with built-up areas.*
- *Moving C8 closer: incompatible due to interference with built-up areas.*
- *Raising of C7: a compliant solution has been achieved.*
- *Raising of C8: loss of regulatory compliance (excessive roller contact pressure).*

As the perturbation phase yielded only one solution consistent with the regulatory and constraint framework, it was not necessary to proceed with a comparison involving an economic operator.

The entire process was carried out in a fully procedural manner and, through appropriate programming, the entire procedure could potentially be automated using a single software.

6. *The Impact Layer*

The results of the configuration layer provide a range of cableway options that have already been dimensioned and

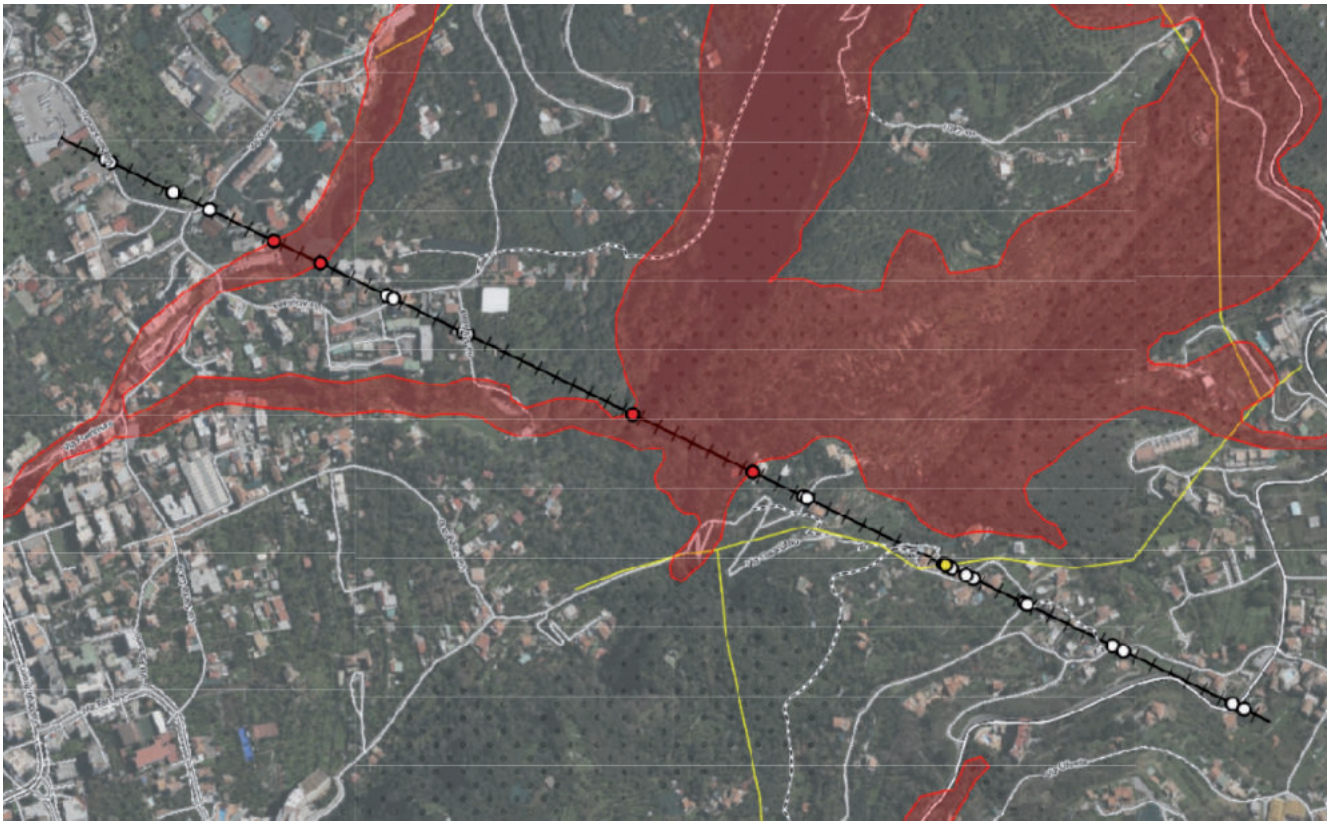


Figura 20 - Determinazione picchetti per intersezioni con strade (bianco), elettrodotti (giallo) e sorvolo rischio frane (rosso).

Figure 20 - Determination of survey points for intersections with roads (white), power lines (yellow) and areas at risk of landslides (red).

stato determinato il quantificatore minimo avesse un'incompatibilità vincolistica legata al posizionamento del sostegno R6 su una zona a elevato rischio frana e una seconda legata all'interferenza tra l'impianto e un elettrodotto. Per la prima criticità sono stati dunque analizzati due scenari di riconfigurazione:

- Traslazione di R6 verso valle: perdita della compatibilità normativa (eccessive pressioni in rulliera).
- Traslazione di R6 vero monte: raggiunta soluzione compatibile.

Per l'interferenza con l'elettrodotto, verificatasi tra i sostegni C7 e C8, sono stati analizzati 4 scenari di modifica:

- Avvicinamento di C7: incompatibile per interferenza con edificato.
- Avvicinamento di C8: incompatibile per interferenza con edificato.
- Innalzamento di C7: raggiunta soluzione compatibile.
- Innalzamento di C8: perdita di compatibilità normativa (eccessive pressioni in rulliera).

Poiché la fase di perturbazione ha fornito in output una sola soluzione coerente con il quadro normativo e

verified, each associated with a summary quantifier that incorporates estimated initial investment and operating costs. However, whilst this parameter is useful, it remains insufficient to represent the complexity of a transport project, which must respond not only to economic considerations but also to environmental and social criteria.

For this reason, it was necessary to introduce a third layer to the model (the impact layer), which employs a multi-criteria analysis capable of incorporating diverse aspects into the assessment, such as operating and maintenance costs, direct and indirect CO_2 emissions, as well as qualitative factors such as accessibility and the impact on the landscape. The aim is clear: to provide a comparative framework that reflects the overall sustainability of each alternative, going beyond mere economic or technical efficiency.

The model is based on the ELECTRE family of methods, developed from the 1960s onwards to support complex decision-making in contexts characterised by multiple, often conflicting, criteria. The underlying concept of these tools is that of "surclassing": a solution may prevail over another not because of the arithmetic sum of its performance metrics, but because it manages to stand out sufficiently strongly across a set of relevant criteria, without being unduly pe-

vincolistico, non è stato necessario procedere con il confronto tramite operatore economico.

L'intero processo è stato effettuato in maniera totalmente procedurale, e, tramite un opportuno lavoro di programmazione, l'intera procedura potenzialmente può essere automatizzata tramite un software.

6. Lo strato di Impatto

I risultati dello strato di configurazione forniscono un ventaglio di opzioni funiviarie già dimensionate e verificate, ciascuna associata a un quantificatore sintetico che integra costi stimati di investimento iniziale e di esercizio. Questo parametro, per quanto utile, resta però insufficiente a rappresentare la complessità di un progetto di mobilità, che deve rispondere non solo a logiche economiche, ma anche a criteri ambientali e sociali.

Per questo è stato necessario introdurre un terzo strato del modello (strato di impatto), in cui si ricorre ad un'analisi multicriterio, capace di includere nella valutazione aspetti eterogenei come i costi di esercizio e manutenzione, le emissioni dirette e indirette di CO_2, o ancora fattori qualitativi come l'accessibilità e l'impatto paesaggistico. L'obiettivo è chiaro: fornire un quadro comparativo che rifletta la sostenibilità complessiva di ciascuna alternativa, andando oltre la mera efficienza economica o tecnica.

Il modello si appoggia alla famiglia di metodi ELECTRE, sviluppata a partire dagli anni Sessanta del secolo scorso per supportare decisioni complesse in contesti caratterizzati da più criteri, spesso in conflitto tra loro. L'idea alla base di questi strumenti è quella del "surclassamento": una soluzione può prevalere su un'altra non per la somma aritmetica delle sue prestazioni, ma perché riesce a imporsi con sufficiente forza su un insieme di criteri rilevanti, senza essere penalizzata eccessivamente da altri. Questo approccio evita che un dato punto debole annulli automaticamente un insieme di punti di forza, e consente quindi di modellare con maggiore realismo le dinamiche decisionali in contesti complessi.

Tra le varianti disponibili del modello, la scelta è ricaduta sul metodo ELECTRE II pensato specificamente per problemi di ordinamento. A differenza delle prime versioni, che mirano soprattutto a distinguere tra alternative accettabili e non accettabili, ELECTRE II permette di stabilire una graduatoria completa, distinguendo non solo le soluzioni preferibili da quelle scartate, ma anche il grado relativo di vantaggio. Per farlo, introduce il concetto di surclassamento forte e surclassamento debole, associato a diverse soglie di concordanza e discordanza (ossia indici che misurano rispettivamente il supporto complessivo per un'alternativa sull'altra e la gravità del disaccordo quando l'alternativa è peggiore) e applica un doppio processo di distillazione: uno ascendente, che ordina progressivamente le soluzioni meno forti, e uno discendente, che procede invece dalle più forti. La combinazione dei due produce un ranking finale equilibrato, capace di rappresentare con chiarezza la posizione di ogni alternativa.

nalised by others. This approach prevents a single weakness from automatically cancelling out a set of strengths, and thus allows for a more realistic modelling of decision-making dynamics in complex contexts.

Among the available variants of the model, the choice fell on the ELECTRE II method, designed specifically for ranking problems. Unlike earlier versions, which aim primarily to distinguish between acceptable and unacceptable alternatives, ELECTRE II allows a complete ranking to be established, distinguishing not only between preferable and rejected solutions, but also the relative degree of advantage. To achieve this, it introduces the concepts of strong outranking and weak outranking, associated with different thresholds of agreement and disagreement (i.e. indices measuring, respectively, the overall support for one alternative over another and the severity of disagreement when the alternative is inferior), and applies a dual distillation process: an ascending one, which progressively ranks the weaker solutions, and a descending one, which proceeds from the strongest. The combination of the two produces a balanced final ranking, capable of clearly representing the position of each alternative.

This approach was implemented using the J-Electre software [21] , again in the context of the aforementioned link between the towns of Pont Canavese and Frassinetto (Metropolitan City of Turin), this time to assess the most suitable solution in accordance with sustainability criteria.

Four technologies were examined, as shown in Tab.10:

A number of criteria have been established, as set out in Tab.11 , for which a weight (indicating the relevance of that criterion) has also been defined, necessary for the execution of the Electre II algorithm.

The criteria have been appropriately calculated for each technological alternative.

The J-ELECTRE method requires a decision matrix as input, such as the one shown at Tab. 12 , with the technological alternatives arranged by row, the criteria by column and, in the cells, the corresponding calculated values. The software interprets higher values as preferable; consequently, for all parameters to be minimised, the values must be transformed (for example, by taking the inverse) so as to convert them into a maximisation criterion.

The results identified the intermittent movement system as the most suitable technological option, followed, in descending order of preference, by shuttle, monocable fixed and monocable detachable configurations.

7. Analysis of the results

The model was validated by applying it to various real-world case studies in urban and peri-urban contexts with differing morphological, environmental and infrastructural constraints. The trials demonstrated good adaptability and results that were generally consistent with design requirements, highlighting the model's usefulness in supporting

Il presente strato è stato applicato tramite il software J-Electre [21] sempre nel contesto della realizzazione del già menzionato collegamento tra le località di Pont Canavese e Frassinetto (Città metropolitana di Torino), questa volta per valutare la soluzione più idonea in accordo ai criteri di sostenibilità.

Sono state prese in esame quattro tecnologie, riportate in Tab. 10:

Sono stati stabiliti alcuni criteri, riportati nella Tab. 11, per cui è stato definito anche un peso (indicatore della rilevanza di quel criterio) necessario per l'esecuzione dell'algoritmo Electre II.

I criteri sono stati opportunamente calcolati per ogni alternativa tecnologica.

Il metodo J-ELECTRE richiede in input una matrice delle decisioni, come quella riportata alla Tab. 12, con le alternative tecnologiche disposte per riga, i criteri per colonna e, nelle celle, i valori calcolati corrispondenti. Il software interpreta come preferibili i valori più elevati; di conseguenza, per tutti i parametri da minimizzare i valori devono essere trasformati (ad esempio usando l'inverso) in modo da ricondurli a un criterio di massimizzazione.

I risultati hanno identificato la soluzione 'impianto *pulsée*" come l'opzione tecnologicamente più idonea, seguita, in ordine decrescente di preferenza, dalle configurazioni "va e vieni", "cestovia" e "cabinovia".

7. Analisi dei risultati

Il modello è stato validato attraverso l'applicazione a diversi casi studio reali, in contesti urbani e periurbani con vincoli morfologici, ambientali e infrastrutturali differenti. Le sperimentazioni hanno mostrato una buona adattabilità e risultati complessivamente coerenti con le esigenze progettuali, evidenziandone l'utilità nel supportare decisioni complesse e nel chiarire le implicazioni tecniche e territoriali delle scelte.

Permangono tuttavia alcuni limiti, in particolare nella valutazione di parametri come l'impatto paesaggistico, che in assenza di criteri pienamente codificati risente di una componente soggettiva legata alla percezione e al contesto culturale. In prospettiva, sono auspicabili approfondimenti per rendere più robusta la quantificazione di tali criteri e ulteriori affinamenti del modello logico, ad esempio introducendo azioni combinate nella fase di correzione dello strato di configurazione.

8. Conclusioni

Il lavoro propone un modello strutturato per supportare la scelta della tecnologia funiviaria in ambito urbano, dove i vincoli e le esigenze di sostenibilità rendono il processo più complesso rispetto ai contesti montani tradizionali. L'impostazione sequenziale e stratificata

Tabella 10 - *Table 10*

Definizione delle alternative
Definition of alternatives

Codice ***Code***	**Tecnologia** ***Technology***
a1	Movimento continuo ammorsamento automatico monofune (Cabinovia) *Monocable detachable-grip with continuous movement*
a2	Movimento intermittente (*Pulsée*) *Intermittent movement (pulsed)*
a3	A va-e-vieni (Funivia) *Shuttle movement*
a4	Movimento continuo ammorsamento fisso (Cestovia) *Monocable fixed-grip with continuous movement*

Tabella 11 - *Table 11*

Criteri di valutazione e peso assegnato
Evaluation criteria and assigned weights

Codice ***Code***	**Criterio** ***Criterion***	**Peso** ***Weight***
g1	Tasso di ottimizzazione *Optimisation rate*	0,15
g2	Emissioni annuali *Annual emissions*	0,1
g3	Tempo di viaggio *Travel time*	0,1
g4	Costo effettivo di realizzazione *Actual construction cost*	0,2
g5	Costo effettivo di manutenzione *Actual maintenance cost*	0,2
g6	Costo Esercizio *Operating cost*	0,2
g7	Impatto paesaggistico *Landscape impact*	0,05

complex decision-making and clarifying the technical and territorial implications of the choices made.

However, some limitations remain, particularly in the assessment of parameters such as landscape impact, which, in the absence of fully codified criteria, involves a subjective component linked to perception and cultural context. Looking ahead, further research is desirable to make the quantification of such criteria more robust, along with further refinements to the logical model, for example by introducing combined actions during the configuration layer correction phase.

8. Conclusions

This study proposes a structured model to support the selection of cableway technology in urban settings, where constraints and sustainability requirements make the process more complex than in traditional mountain contexts. The

Tabella 12 - *Table 12*

Matrice delle decisioni input per l'esecuzione dell'algoritmo
Input decision matrix for running the algorithm

Codice *Code*	**Emissioni annuali [1/gCO_2]** *Annual emissions [1/gCO_2]*	**tempo di viaggio [1/s]** *Journey time [1/s]*	**Costo realizzazione [1/€]** *Construction cost [1/€]*	**Costo manutenzione [1/€]** *Maintenance cost [1/€]*	**Costo Esercizio [1/€]** *Operating cost [1/€]*	**Impatto paesaggistico ["1"= molto alto; "5"= molto basso]** *Landscape impact ["1" = very high; "5" = very low]*
a1	5,54E-09	0,00343	9,96E-08	5,71E-06	8,74E-06	3
a2	2,66E-08	0,00279	1,41E-07	8,62E-06	4,19E-05	2
a3	2,36-08	0,00551	1,03E-07	7,94E-06	3,72E-05	4
a4	1,69E-08	0,00085	2,88E-07	8,19E-06	2,68E-05	2

guida il progettista nella selezione, restringendo progressivamente le alternative e rendendo più leggibili le implicazioni progettuali, senza sostituire il giudizio professionale.

La scomposizione in strati tematici (ingegneristici, urbanistici, ambientali ed economici) consente una valutazione multicriterio basata su indicatori di confronto coerenti. Per ampliarne l'efficacia, si suggeriscono sviluppi orientati all'automazione e a un'implementazione software, integrabile con database tecnici e territoriali, strumentazione GIS-operativa e metodi di valutazione multicriterio, così da rendere il processo più efficiente, trasparente e documentabile.

sequential, layered approach guides the designer through the selection process, progressively narrowing down the alternatives and making the design implications clearer, without replacing professional judgement.

The breakdown into thematic layers (engineering, urban planning, environmental and economic) enables a multi-criteria assessment based on consistent comparison indicators. To enhance its effectiveness, developments focused on automation and software implementation are suggested, which can be integrated with technical and spatial databases, operational GIS tools and multi-criteria assessment methods, thereby making the process more efficient, transparent and documentable.

9. Ringraziamenti

Questo articolo è tratto dalla tesi di laurea magistrale "Impianti a fune urbani: impostazione e applicazione di un metodo di selezione di sistemi alternativi per il trasporto persone", sviluppata e discussa presso il Politecnico di Torino il 17 luglio 2025 da Andrea Mosca (autore del presente articolo).

9. Acknowledgements

This paper is taken from the Master's thesis entitled "Urban ropeways: formulation and application of a screening method of alternative systems for passenger transport", prepared and defended at the Polytechnic University of Turin on 17 July 2025 by Andrea Mosca (author of this paper).

BIBLIOGRAFIA - *REFERENCES*

[1] B. Dalla Chiara, P. Degioianni, F. P. Fumarola (2008), *"Riepilogo di sistemi di trasporto innovativi"*, Ingegneria Ferroviaria, vol. LXIII, n. 1, p. 49, 2008.

[2] S. Bazzolo (2024), *"Consumi ed impatti degli impianti a fune urbani: comparazione modale e tendenze moderne"*, Ingegneria Ferroviaria, n. 5/2024, p. 385–414, 2024.

[3] S. Bazzolo (2023), *"Cable driven innovative systems for urban transport: engineering, design and energy consumption",* Politecnico di Torino, Torino, 2023.

[4] R. M. Martinod, O. Bistorin, L. F. Castañeda, N. Rezg (2023), *"Decision support algorithm for intermodal transport networks: Urban aerial cableway systems"*, Case Studies on Transport Policy, vol. 12, 2023.

[5] A. Vujanović, A. Mio, R. Pučnik, N. Blasuttigh, D. Krajnc, M. Fermeglia (2024), *"The environmental and biodiversity impacts of a new cableway system: A comprehensive life cycle assessment"*, Journal of Cleaner Production, vol. 482, 2024.

[6] D. Heinrichs, J. S. Bernet (2014),*"Public Transport and Accessibility in Informal Settlements: Aerial Cable Cars in Medellín, Colombia",* Transportation Research Procedia, vol. 4, pp. 55-67, 2014.

[7] R. Gerboni, D. Grosso, A. Carpignano, B. Dalla Chiara (2017), *"Linking energy and transport models to support policy making", Energy Policy,* vol. 111, p. 336–345, 2017.

[8] Ente Nazionale Italiano di Normazione UNI (2018), *"UNI/TR 11735:2018 – Linee guida per la progettazione dei sistemi di trasporto persone ad automazione integrale con trazione a fune",* UNI, 2018.

[9] B. Dalla Chiara, C. Fassio, A. Masanotti, G. Zannotti (2005), *"Una metodologia per la progettazione di sistemi automatici per il trasporto persone (APM) di derivazione funiviaria",* Ingegneria Ferroviaria, vol. LX, n. 5, p. 389–405, 2005.

[10] B. Dalla Chiara, P. Degioanni (2007), *"Un Automated People Mover (APM) con trazione a fune e struttura a rete",* Ingegneria Ferroviaria, n. 5, p. 417–431, 2007.

[11] M. Affatato, S. Blengini, B. Dalla Chiara, E. Vair (2015), *"Automated People Mover with rope traction: engineering and modelling an innovative hybrid solution to optimise energy use",* Ingegneria Ferroviaria, vol. LXX, n. 11, p. 901–923, 2015.

[12] M. Navone, B. Dalla Chiara, S. Blengini, E. Vair (2017), *"Cable driven Automated People Movers for urban applications: modelling the roller for investigating energy consumption"*, Ingegneria Ferroviaria, vol. LXX, n. 9, pp. 631-663, 2017.

[13] S. Bazzolo, S. Blengini, B. Dalla Chiara (2019), *"Analisi del carico energetico di un sistema di trasporto pubblico ibrido a fune ad automazione integrale: simulazione con impianto fotovoltaico ed accumulo"*, Ingegneria Ferroviaria, n. 12/2019, p. 963–989, 2019.

[14] U. Petruccelli (2013), *"Impianti di trasporto a fune ed a nastro: prestazioni e costi conseguenti alle recenti normative tecniche",* Ingegneria Ferroviaria, n. 4/2013, 2013.

[15] U. Petruccelli, D. Fabrizio (2023), *"Tecnologie e costi degli impianti funiviari per il trasporto pubblico locale"*, Università degli Studi della Basilicata – Scuola di Ingegneria, Potenza, 2023.

[16] U. Petruccelli, *"La teoria del deflusso nei trasporti a fune",* Ingegneria Ferroviaria, n. 6/1996, 1996.

[17] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT), *"Decreto Dirigenziale n. 172 del 18/06/2021 (Disposizioni e specificazioni tecniche per le infrastrutture degli impianti a fune adibiti al trasporto di persone)"*, 2021.

[18] Ministero dei Trasporti e della Navigazione, *"Decreto 8 marzo 1999 – Prescrizioni tecniche speciali per le funivie monofuni con movimento unidirezionale continuo e collegamento permanente dei veicoli",* Gazzetta Ufficiale - Serie Generale n. 68 del 23/03/1999 (Suppl. Ordinario n. 58), 1999.

[19] Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige, *"Decreto del Presidente della Provincia 27 settembre 2024, n. 22 – Modifica del regolamento di esecuzione inerente alla costruzione e all'esercizio di impianti a fune in servizio pubblico"*, Gazzetta Ufficiale – 3ª Serie Speciale Regioni (n. 33 del 16/08/2025), 2024.

[20] V. Vitali (2017), *"C.D.P. (Cableway Design Package) – Software per verifica linea monofuni (morsa fissa, automatica, puls., telemix), release 0110",* Torino, 2017.

[21] V. Pereira, "J-Electre v3.0", 2021 (rilascio v3.0).

[22] B. Dalla Chiara, D. Alberto, G. Zannotti (2023), *"Impianti a fune per trasporto persone e materiali: evoluzione, elementi costitutivi, progettazione ed esercizio",* EGAF, 2023.

GRUPPO

Costruzioni Linee Ferroviarie

S.I.F.E.L. S.p.A.

Promofer Safety Services

UNIFERR



dal 1945 il futuro viaggia su binari sicuri

CERTIFICAZIONE DI SISTEMA DI GESTIONE
DNV·GL
ISO 9001 = ISO 14001
OHSAS 18001

Strukton Rail

Via della Cooperazione, 34 - 40129 (Bologna - Italy) - Tel. +39 051 323424 - Fax +39 051 324135 - clf.spa@clfspa.it - www.clfspa.com

ALTA PRESTAZIONE I PRECISIONE I AFFIDABILITÀ

Plasser Italiana



La nuova frontiera della stabilizzazione dinamica del binario

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

"Plasser & Theurer", "Plasser" e "P&T" sono marchi registrati a livello internazionale

Il CIFI Reggio Calabria in visita presso l'impianto fotovoltaico a Saline Joniche – 7 luglio 2026

La Sezione di Reggio Calabria del CIFI ha effettuato una visita tecnica presso l'impianto fotovoltaico da 8,9 MW realizzato a Saline Joniche, nell'area delle ex OGR (Fig. 1).

L'impianto è una delle più innovative infrastrutture energetiche a servizio del sistema ferroviario e rappresenta un significativo esempio di integrazione tra produzione di energia da fonte rinnovabile e rete di alimentazione della trazione elettrica ferroviaria a 3.000 V in corrente continua, contribuendo concretamente alla decarbonizzazione del trasporto ferroviario e al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale. La visita ha consentito ai Soci e ai professionisti del settore di approfondire gli aspetti tecnologici e progettuali dell'opera, inserita nel programma di Rete Ferroviaria Italiana volto ad aumentare la produzione di energia rinnovabile destinata all'esercizio ferroviario.

Il Preside della Sezione, Ing. G.A. Maiolo, ha sottolineato come iniziative di questo genere rappresentino importanti occasioni di aggiornamento tecnico e di conoscenza delle innovazioni che stanno accompagnando la transizione energetica del sistema ferroviario italiano, valorizzando nel contempo il ruolo strategico del territorio calabrese nello sviluppo di infrastrutture sostenibili.



Figura 1 – I partecipanti alla visita.

NUOVA EDIZIONE DEL CIFI

Giuseppe ACQUARO

LA SICUREZZA FERROVIARIA

Principi, approcci e metodi nelle norme nazionali ed europee

Il progetto politico comunitario di riassetto del comparto ferroviario europeo si basa sul principio della libera circolazione di persone, beni e servizi.

Scopo del progetto è rendere il "sistema di trasporto ferroviario", sia delle merci sia delle persone, strategico fra tutti gli strumenti a disposizione per raggiungere obiettivi di sostenibilità sociale.

In particolare, l'obiettivo primario posto dall'Unione, è dar vita a uno spazio unico europeo privo di ostacoli residui tra i sistemi nazionali, facilitando in tal modo sia il processo di integrazione che l'emergere di nuovi operatori multinazionali e multimodali.

Tutto ciò deve però avvenire all'interno di un quadro normativo di tutela della pubblica sicurezza nei trasporti mediante la definizione di un sistema di regole che garantiscono trasporti sicuri ispirati a criteri universalmente riconosciuti di buona gestione.

I recenti cambiamenti introdotti nella normativa europea e nazionale in tema di sicurezza dei sistemi ferroviari. In particolare i recenti decreti legislativi 50 e 57 di giugno 2019, hanno recepito il pilastro tecnico del cosiddetto pilastro tecnico del IV pacchetto ferroviario europeo nonché il nuovo regolamento europeo (n. 762/2016) sui requisiti dei sistemi di gestione della sicurezza.

Con questi nuovi provvedimenti il legislatore ha voluto rimarcare l'importanza, nella gestione dei servizi ferroviari, di un approccio di tipo rischio-centrico. Ciò in quanto, nel trasporto ferroviario gli incidenti possono dare origine a conseguenze catastrofiche e questi sono prevalentemente legati a fattori umani: l'uomo, infatti, nonostante gli enormi progressi raggiunti dalla tecnologia a favore della sicurezza, rimane ancora un elemento nella gestione della sicurezza.

Per garantire elevati standard di sicurezza, i sistemi ferroviari devono quindi essere gestiti con approcci e metodi che consentano di ottenere il giusto equilibrio fra l'offerta di un servizio di mobilità (delle persone e delle merci) efficiente ed economico oltreché interoperabile nell'Unione e i vincoli - e i costi - della sicurezza: in altre parole, è necessario che nelle aziende sia radicata la cosiddetta "giusta cultura".

A tale scopo, già da tempo sia legislatore (nazionale ed europeo) che gli organismi di normazione tecnica, si sono preoccupati di regolamentare minuziosamente tutti gli aspetti gestionali che possono avere un impatto sulla sicurezza. Tuttavia, l'enorme sforzo profuso nella definizione di norme a garanzia della incolumità della popolazione ha generato un quadro normativo che, allo stato attuale, si presenta copioso e, molto frammentato.

Questo volume si propone di fornire al lettore un quadro organico ed omogeneo degli approcci e dei modelli gestionali che devono essere adottati nel rispetto dei principi e dei criteri definiti nelle norme tecniche e nella vigente legislazione in tema di sicurezza ferroviaria, ivi compreso, appunto, il recente pilastro tecnico del quarto pacchetto ferroviario e le principali norme attuative ad esso correlate: un significativo numero di figure tabelle aiutano ad acquisire una visione d'insieme di molti aspetti altrimenti descritti in modo frammentato nella normativa.

Il libro è suddiviso in tre parti. Nella parte prima è descritto il contesto normativo di riferimento europeo e nazionale, il quale viene descritto all'interno della cornice costituita dal processo di liberalizzazione del trasporto ferroviario.



Nella parte seconda è affrontata la tematica legata alla implementazione dei sistemi di gestione della sicurezza e, più in generale, alla gestione della sicurezza integrata. Infatti, ormai è universalmente riconosciuta - e questo è anche l'orientamento del legislatore - la necessità di gestire gli aspetti di sicurezza dell'esercizio, di sicurezza dei lavoratori e degli addetti nonché di tutela dell'ambiente con un approccio di tipo integrato, vista la loro mutua interferenza.

In questa parte, quindi, particolare attenzione è posta al tema del controllo e della gestione dei rischi, alla gestione degli asset in logica rischio-centrica e alla realizzazione dell'interoperabilità, vista non già solo come strumento per abbattere le barriere nazionali, ma anche come definizione di standard di sicurezza tecnici e operativi minimi da realizzare.

Infine, nella parte è affrontato il grande tema della valutazione e del miglioramento delle prestazioni di sicurezza. In questa parte, una particolare attenzione è stata dedicata alla tematica della cultura della sicurezza e dell'importanza dei ritorni di esperienza, quale strumento fondamentale per tenere sotto controllo e ridurre la probabilità di accadimento degli errori umani.

Formato cm 24x17, 331 pagine in b/n,
Prezzo di copertina € 25,00.
E' acquistabile presso il CIFI con modalità e sconti come riportato nelle pagine "Elenco di tutte le pubblicazioni CIFI" sempre presente in questa rivista.

Notizie dall'interno

Massimiliano Bruner

TRASPORTI SU ROTAIA

Emilia Romagna: riaperta l'intera linea AV Bologna-Milano

È ripresa, come da programma, la circolazione sull'intera linea AV Bologna – Milano, sospesa dal 10 al 17 agosto fra Piacenza e Milano per lavori di rinnovo dell'infrastruttura. Il primo treno a percorrere la tratta interessata dai lavori è stato il Frecciarossa 9505 Milano – Napoli, partito dal capoluogo lombardo.

Sono stati tre i cantieri di Rete Ferroviaria Italiana, due presso il Posto di Movimento di Livraga e uno presso il Bivio Piacenza Ovest, operativi contemporaneamente per la sostituzione di sei deviatoi in quella tratta. Al lavoro oltre cento tecnici di RFI e delle imprese appaltatrici con il supporto di mezzi d'opera, autogrù telescopiche e attrezzature specialistiche.

Questi lavori, necessari a garantire alti standard di affidabilità dell'infrastruttura, rientrano nei piani di manutenzione della linea e si aggiungono alla manutenzione quotidiana effettuata principalmente la notte, quando non sono previsti treni in viaggio.

Fondamentali per consentire la modifica degli itinerari dei treni e per connettere la rete AV alla rete convenzionale, i deviatoi, più comunemente chiamati scambi, sono lunghi 140 m e pesano 200 tonnellate. Per movimentarli è stato necessario suddividere ciascuno di essi in cinque parti. Le operazioni di sostituzione, concentrate nella settimana di Ferragosto caratterizzata da un sensibile calo di passeggeri sulla tratta, sono state precedute da attività propedeutiche avviate a inizio estate senza ripercussioni sulla circolazione dei treni.

Durante l'attività dei cantieri, i treni AV hanno bypassato il tratto oggetto dei lavori utilizzando le direttrici della linea convenzionale. Fino al 28 agosto, come prevedono le norme in caso di rinnovo dell'infrastruttura, i treni hanno percorso le tratte rinnovate ad una velocità gradualmente innalzata fino a raggiungere quella massima prevista sulla linea. I canali di acquisto delle imprese ferroviarie sono aggiornati con le modifiche dei tempi di percorrenza previste.

Sono circa 200 i treni AV che ogni giorno viaggiano fra Bologna a Milano ad una velocità che raggiunge i 300 km/h (Da: *Comunicato Stampa Gruppo FSI, RFI*, 18 agosto 2026).

Basilicata: autorizzazione per il primo veicolo ferroviario a batterie per reti a scartamento ridotto in Italia

Il 31 luglio scorso ANSFISA ha rilasciato l'autorizzazione del tipo di veicolo SRBe 312 di Stadler (Fig. 1), destinato a operare sulla rete ferroviaria funzionalmente isolata di Ferrovie Appulo Lucane (FAL), in particolare sulla tratta Altamura - Matera.

Il nuovo convoglio rappresenta il primo esempio in Italia di veicolo ferroviario a scartamento ridotto alimentato esclusivamente a batterie. Denominato "Treen", il mezzo costituisce l'evoluzione ecologica e sostenibile della piattaforma diesel, già autorizzata dall'Agenzia per l'impiego sulle reti regionali di ARST in Sardegna e di FdC in Calabria, introducendo una nuova soluzione tecnologica che sfrutta batterie agli ioni di litio e motori asincroni trifase.

L'autorizzazione rilasciata da ANSFISA conferma l'impegno dell'Agenzia nel garantire che l'introduzione di nuove tecnologie nel settore ferroviario avvenga nel rispetto dei più elevati standard di sicurezza, assicurando al contempo il necessario supporto ai processi di innovazione e transizione energetica del sistema dei trasporti.

Il progetto, finanziato nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), contribuisce al percorso di ammodernamento delle infrastrutture e dei servizi ferroviari locali, favorendo la diffusione di soluzioni a ridotto impatto ambientale e sostenendo il raggiungimento degli



(Fonte: ANSFISA)

Figura 1 - Rilasciata l'autorizzazione del tipo di veicolo SRBe 312 di Stadler destinato alla rete delle Ferrovie Appulo Lucane sulla tratta Altamura-Matera.

obiettivi nazionali di mobilità sostenibile.

Per consentire l'esercizio dei nuovi convogli sono inoltre previste due stazioni di ricarica rapida, attualmente in corso di realizzazione presso i siti di Matera e Altamura.

L'iniziativa rappresenta un ulteriore passo avanti verso un sistema ferroviario sempre più orientato all'adozione di tecnologie innovative a beneficio dei territori e dei cittadini (Da: *Comunicato Stampa ANSFISA*, 3 agosto 2026).

Lazio: cantiere del nuovo nodo ferroviario della fermata Pigneto

Il vicepresidente del Consiglio e ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti M. Salvini ha effettuato un sopralluogo (Fig. 2) al cantiere della nuova fermata Pigneto (Roma), realizzata da Rete Ferroviaria Italiana (RFI), società del Gruppo FS, facendo il punto sull'avanzamento dei lavori e sul cronoprogramma.

Un progetto da circa 230 milioni di euro, finanziato anche con risorse PNRR di competenza del MIT, per realizzare un nuovo nodo di interscambio tra le linee FL1 e FL3, dirette verso Fiumicino Aeroporto, Viterbo, e la Metro C. La nuova fermata è destinata a diventare la quarta grande stazione ferroviaria di Roma, con un bacino potenziale stimato in circa 8 milioni di persone l'anno, di cui 2,5 milioni provenienti dalla metropolitana.

Il Ministro ha espresso soddisfazione per un'opera di cui si è detto particolarmente orgoglioso, attesa da anni e in avanzata fase di realizzazione, con circa 130 operai e tecnici al lavoro. La prima configurazione della fermata sarà attivata tra la fine del 2026 e l'inizio del 2027. In questa fase è prevista anche la copertura parziale dei binari, necessaria a collegare i due lati del quartiere.

Il progetto cambierà non soltanto la mobilità, ma anche il volto del Pigneto. La seconda fase prevede il completamento della copertura della stazione, il sottopasso pedonale verso la Metro C e una nuova piazza di oltre 13.000 m² con alberi, aree verdi, impianti sportivi e spazi per ragazzi e famiglie.



(Fonte: MIT)

Figura 2 – Il sopralluogo al cantiere di RFI nella Fermata Pigneto (Roma): intervento da 230 milioni, servirà 8 milioni di persone e riunirà due quartieri storicamente separati.

Sarà così ricucito un quartiere per troppo tempo diviso dalla ferrovia, valorizzandone anche l'identità attraverso la vista sull'acquedotto romano e il mantenimento di un segno dello storico ponticello pedonale.

Un'opera concreta, con tempi definiti, che unisce trasporti, rigenerazione urbana e qualità della vita: meno distanze, collegamenti più efficienti e nuovi spazi restituiti ai cittadini (Da: *Comunicato Stampa MIT*, 1 agosto 2026).

Campania: nuove infrastrutture ferroviarie e il primo elettrotreno per la rete Circumvesuviana

Il potenziamento della direttrice AV/AC Napoli–Bari rappresenta uno degli interventi strategici per il rafforzamento della rete ferroviaria nazionale. In questo quadro si inserisce la variante della linea Cancello–Napoli, finalizzata a migliorare capacità, regolarità e separazione dei flussi di traffico nel nodo ferroviario napoletano.

A seguito dell'istruttoria svolta da ANSFISA, il gestore dell'infrastruttura Rete Ferroviaria Italiana ha trasmesso le istanze relative ai sottosistemi infrastruttura ed energia, sulle quali l'Agenzia ha effettuato le verifiche di competenza, concludendo il procedimento nei termini previsti dalla normativa vigente.

In esito a tale iter, ANSFISA ha rilasciato le Autorizzazioni di Messa in Servizio per la Fase 4A1 dell'intervento, relative al sottosistema energia in data 25 giugno 2026 e al sottosistema infrastruttura in data 27 giugno 2026, consentendo la progressiva attivazione del nuovo tracciato a doppio binario della variante Cancello–Napoli. A seguito del rilascio delle autorizzazioni, il gestore ha avviato il 1° luglio 2026 le attività di messa in servizio dell'impianto.

La fase autorizzata riguarda circa 15,8 km di nuovo tracciato tra Doppio Bivio Cassino e Cancello (Fig. 3), comprensivi della galleria Casalnuovo e degli adeguamenti infrastrutturali connessi alle stazioni di Acerra e Napoli Afragola. L'attivazione consentirà di migliorare la fluidità della circolazione, la capacità della linea e la separazione dei flussi di traffico.

Parallelamente, l'azione di ANSFISA nel territorio campano interessa anche il rinnovo del materiale rotabile destinato alle reti funzionalmente isolate.



(Fonte: ANSFISA)
Figura 3 - Rilasciate le autorizzazioni di messa in servizio della variante Cancello–Napoli.

In tale contesto, il 30 giugno 2026 ANSFISA ha anche rilasciato l'autorizzazione per il tipo di veicolo "EAV Elettrotreno Napoli" (Fig. 4), realizzato da Stadler Valencia per la rete Circumvesuviana gestita da Ente Autonomo Volturno.

Il nuovo veicolo è un elettrotreno bidirezionale articolato a tre casse, progettato per rispondere alle esigenze della rete vesuviana in termini di capacità di trasporto, accessibilità e prestazioni. Il treno offre 90 posti a sedere, spazi dedicati alle persone a mobilità ridotta e alle biciclette, ed è predisposto per la composizione in multiplo fino a tre unità.

Tra gli elementi qualificanti del progetto figurano il sottosistema di controllo-comando e segnalamento di bordo, basato sulla tecnologia ERTMS sviluppata da Hitachi Rail STS e integrata con il sistema attualmente in esercizio sulla rete Circumvesuviana. L'integrazione tra i diversi sistemi di segnalamento ha richiesto un articolato percorso di verifica e certificazione, comprendente prove in laboratorio e sulla tratta Pomigliano - Acerra.

Il progetto "EAV Elettrotreno Napoli" rientra tra quelli finanziati dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. Il rilascio dell'autorizzazione del tipo di veicolo rappresenta pertanto un passaggio rilevante anche ai fini del rispetto delle tempistiche del Piano e conferma il ruolo di ANSFISA nel supportare l'innovazione e il rinnovo tecnologico delle reti ferroviarie funzionalmente isolate.

Il settore di impiego è rappresentato dalla rete Circumvesuviana, articolata su sei linee a scartamento ridotto che si sviluppano intorno al Vesuvio, lungo la direttrice costiera verso Sorrento e nell'area interna fino a Nola, Baiano e all'Agro Nocerino-Sarnese. L'autorizzazione rappresenta il primo passo per la successiva immissione in esercizio della nuova flotta da parte di EAV, nell'ambito di un programma che prevede l'autorizzazione dei veicoli conformi e la progressiva entrata in servizio delle unità già consegnate.

Le autorizzazioni rilasciate per la variante Cancello–Napoli e per il nuovo materiale rotabile della Circumvesuviana confermano il ruolo di ANSFISA nel garantire la sicurezza e accompagnare l'innovazione del sistema ferroviario, dalle grandi infrastrutture strategiche alle reti regionali e funzionalmente isolate (Da: *Comunicato Stampa ANSFISA*, 3 luglio 2026).

Lombardia: Milano Centrale compie un nuovo passo verso il digitale, attivato il Sistema di Supervisione ACC

Il 26 luglio è entrato in esercizio il nuovo Sistema di Supervisione ACC (SSA) della stazione di Milano Centrale, che sostituisce la precedente PIC-SI (Piattaforma Integrata Circolazione – Supervisione Impianto).



(Fonte: ANSFISA)
Figura 4 - Rilasciate le autorizzazioni di messa in servizio del tipo di veicolo "EAV Elettrotreno Napoli".

L'attivazione rappresenta una tappa strategica nel percorso di ammodernamento tecnologico dello scalo ferroviario milanese, propedeutico alla futura messa in servizio del nuovo Apparato Centrale Computerizzato (ACC).

Il progetto si inserisce nel più ampio programma di evoluzione digitale della stazione, che comprende l'adeguamento degli impianti infrastrutturali, energetici e tecnologici esistenti. Le attività sono finalizzate a garantire la piena compatibilità del piazzale ferroviario con il futuro sistema di comando e controllo computerizzato, contribuendo a una gestione sempre più efficiente e integrata della circolazione nel nodo di Milano.

Il nuovo SSA rappresenta la soluzione più avanzata sviluppata secondo gli standard per la supervisione dei grandi impianti ferroviari. Grazie all'integrazione nel Sistema di Comando e Controllo Multistazione (SCCM) dell'hub milanese, la piattaforma è già predisposta ad accogliere il futuro ACC, assicurando continuità operativa, maggiore affidabilità e un più elevato livello di integrazione nella gestione del traffico ferroviario.

L'intervento ha previsto la migrazione della precedente piattaforma di supervisione al nuovo sistema, mantenendo invariata l'architettura dell'impianto e garantendo la piena continuità delle funzionalità operative durante tutte le fasi di attivazione. Le attività hanno inoltre incluso l'integrazione con i sistemi già in esercizio, l'installazione delle nuove postazioni per il personale di movimento e l'adeguamento dei flussi informativi a supporto della gestione della circolazione e dell'utilizzo dei binari.

Il risultato è stato reso possibile grazie alla stretta collaborazione tra FS Engineering e le strutture organizzative di RFI coinvolte nel progetto. Questa sinergia ha consentito di raggiungere un importante traguardo nel percorso di trasformazione tecnologica di Milano Centrale, una delle principali porte d'accesso alla mobilità ferroviaria del Paese e nodo strategico della rete nazionale.

Un successo che conferma il ruolo della Società nel processo di innovazione del sistema ferroviario nazionale, contribuendo allo sviluppo di soluzioni tecnologiche avanzate per una gestione della circolazione sempre più efficiente, integrata e affidabile (Da: *Comunicato Stampa Gruppo FSI*, FS Engineering, 26 luglio 2026)

TRASPORTI URBANI

Emilia Romagna: città sicure, il piano della Regione parte dalle stazioni

- Le risorse saranno assegnate per realizzare interventi di riqualificazione urbana, sicurezza, accessibilità, comprese le spese per garantire il presidio del territorio. Al Piano si affianca il programma di investimenti di FER con oltre 4 milioni di euro destinati, tra il 2026 e il 2028, alla manutenzione, al decoro, all'accessibilità e al rafforzamento della sicurezza delle stazioni della rete ferroviaria regionale

Sono le porte di accesso alle città. Luoghi di passaggio, ma anche spazi in cui si concentrano servizi, relazioni e vita urbana. Le aree delle stazioni ferroviarie sono molto più che infrastrutture per la mobilità: rappresentano uno dei principali luoghi pubblici, dove si intrecciano trasporti, commercio e vita quotidiana. È da qui che prende avvio il nuovo Piano della Regione Emilia-Romagna, che individua nella loro riqualificazione il punto di partenza di una strategia più ampia per rafforzare la sicurezza delle città.

Una strategia sostenuta, in questo primo passo, da 20 milioni di euro di risorse regionali destinati ai Comuni capoluogo per realizzare interventi migliorativi dentro e fuori gli scali ferroviari per rafforzarne sicurezza, vivibilità, accessibilità e integrazione con il tessuto urbano. Favorendo l'insediamento di servizi, anche pubblici, attività economiche, culturali e sociali, la riqualificazione dei percorsi pedonali, il potenziamento dell'illuminazione e della videosorveglianza, il recupero degli immobili inutilizzati per nuove funzioni di interesse pubblico e il presidio del territorio.

Il Piano è affiancato dagli interventi già programmati da Ferrovie Emilia-Romagna sulle stazioni e sulle fermate della rete ferroviaria regionale: oltre 4 milioni di euro di risorse regionali, distribuiti tra il 2026 e il 2028, destinati alla manutenzione straordinaria, al decoro, all'accessibilità e al potenziamento della sicurezza, anche attraverso il programma "Stazioni Sicure", che prevede nuovi sistemi di illuminazione, videosorveglianza intelligente e tecnologie per la gestione della sicurezza. Interventi che completano la strategia regionale, affiancando alla riqualificazione urbana delle aree esterne il miglioramento delle infrastrutture ferroviarie e dei sistemi tecnologici dedicati alla sicurezza.

A presentare il nuovo Piano, il presidente della Regione Emilia-Romagna, M. de Pascale, e l'assessora regionale a Mobilità e Trasporti, I. Priolo. Presenti la sottosegretaria alla Presidenza, M. Rontini, sindache e sindaci dei Comuni capoluogo.

"La sicurezza è uno dei diritti fondamentali delle persone e richiede un approccio integrato, che affianchi al controllo del territorio interventi sulla qualità dello spazio pubblico e sulla rigenerazione urbana", afferma il presidente della Regione, M. de Pascale. "Per questo abbiamo scelto di partire dalle stazioni ferroviarie nelle città più grandi dell'Emilia-Romagna, luoghi attraversati ogni giorno da migliaia di cittadine e cittadini e vere porte di accesso ai nostri capoluoghi. Dobbiamo affrontare il tema della sicurezza in modo organico, mettendo insieme il lavoro delle Forze dell'ordine, la riqualificazione urbana, la qualità dei servizi ferroviari e gli investimenti sulle stazioni. Con questo Piano sosteniamo i Comuni nella realizzazione di interventi necessari a rendere questi spazi ancora più accessibili, vivi e sicuri, raffor-

zando la presenza di servizi, attività economiche, culturali e sociali e favorendo una maggiore frequentazione da parte delle persone. Perché città più curate, vissute e accessibili sono anche città più sicure".

"A questo investimento si affianca il lavoro già avviato da FER sulle stazioni e sulle fermate della rete ferroviaria regionale, con un programma pluriennale di manutenzione, accessibilità, decoro e innovazione tecnologica che consentirà di intervenire concretamente anche sulle infrastrutture ferroviarie" aggiunge l'assessora regionale a Mobilità e Trasporti, I. Priolo. "Vogliamo restituire alle stazioni il ruolo che meritano: essere il primo volto delle nostre città, luoghi accoglienti, inclusivi e funzionali, capaci di migliorare la qualità della vita dei quartieri e di rendere il trasporto pubblico una scelta sempre più semplice, sicura e attrattiva per tutte e tutti".

- Il nuovo Piano regionale

Venti milioni di euro per sostenere i Comuni capoluogo nella realizzazione di interventi integrati di riqualificazione delle aree delle stazioni ferroviarie, attraverso progetti capaci di tenere insieme sicurezza urbana, rigenerazione dello spazio pubblico e mobilità. Le risorse finanzieranno progetti per migliorare la qualità e accessibilità degli spazi pubblici, dalla riqualificazione di piazze, percorsi pedonali, fermate del trasporto pubblico, aree verdi e spazi di sosta al potenziamento dell'illuminazione, della visibilità e dell'accessibilità, fino all'eliminazione delle barriere architettoniche e al recupero di immobili inutilizzati da destinare a servizi, attività economiche, culturali e sociali.

L'obiettivo è rafforzare il ruolo delle aree intorno alle stazioni come spazi vissuti e pienamente integrati con il tessuto urbano, favorendo l'insediamento di nuove funzioni e una presenza più continua di persone durante tutto l'arco della giornata, così da migliorarne sicurezza, qualità urbana e attrattività.

Il Piano offre ai Comuni un quadro strategico e operativo per sviluppare questi interventi insieme agli operatori ferroviari, alle attività economiche, alle associazioni e alle comunità locali, integrando gli interventi con gli strumenti regionali di pianificazione e sviluppo già disponibili, a partire dalle Agende Trasformative Urbane per lo Sviluppo Sostenibile (ATUSS) e dalle leggi regionali sulla rigenerazione e la sicurezza urbana. L'obiettivo è favorire progetti condivisi e coordinati, capaci di migliorare in modo stabile la qualità delle aree ferroviarie e di rafforzarne il ruolo di porte di accesso alle città, attraverso interventi che tengano insieme sicurezza, sviluppo urbano, mobilità e inclusione sociale (Da: *Cartella Stampa FER*, 29 luglio 2026).

Toscana: Firenze, completato lo scavo delle gallerie del Passante AV

"Un nuovo traguardo per il Nodo Alta Velocità di Firenze segna l'avanzamento di una delle opere infrastrutturali più rilevanti e complesse del Paese. Con il break-in delle TBM Iris e Marika nel camerone della futura stazione AV Firenze Belfiore si è concluso lo scavo delle due gallerie a canna unica del tratto sud del Passante AV, tra Campo di Marte e la nuova stazione, per un'estensione complessiva di circa 3 km.

L'importante risultato è stato celebrato presso il cantiere della stazione AV Firenze Belfiore alla presenza del Vicepresidente del Consiglio dei Ministri e Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti M. Salvini, del Presidente della Regione Toscana E. Giani, della Sindaca di Firenze S. Funaro, del Prefetto di Firenze F. Ferrandino, dell'Amministratore Delegato di Rete Ferroviaria Italiana A. Isi, dell'Amministratore Delegato e Direttore Generale di FS Engineering D. Lo Bosco e dell'Amministratrice Delegata e Direttrice Generale di Infrarail P. Firmi.

Il completamento dello scavo rappresenta una tappa fondamentale nel percorso di realizzazione del Passante AV e della nuova stazione Belfiore, infrastrutture destinate a trasformare il sistema ferroviario dell'area fiorentina e a rafforzare l'efficienza dell'intero corridoio nazionale dell'Alta Velocità. L'intervento consentirà infatti di separare i flussi di traffico AV da quelli regionali e metropolitani, incrementando capacità, regolarità e qualità del servizio e mantenendo Firenze Santa Maria Novella quale principale hub della mobilità locale.

In questo contesto, FS Engineering si conferma protagonista nel governo tecnico e gestionale di una delle sfide infrastrutturali più complesse del panorama nazionale, mettendo in campo competenze multidisciplinari lungo tutte le principali fasi del progetto. La società è infatti responsabile delle attività di Project Management, Direzione Lavori, Coordinamento della Sicurezza in fase di esecuzione, Monitoraggio Ambientale ed Espropri, garantendo il presidio tecnico integrato degli interventi in un contesto urbano particolarmente delicato e sensibile.

Un risultato che testimonia , "come sottolineato da D. Lo Bosco, "la capacità del Paese di progettare e realizzare opere straordinarie attraverso l'impiego delle tecnologie più avanzate e delle eccellenze ingegneristiche del Gruppo FS. Un traguardo reso possibile grazie alla sinergia tra istituzioni, imprese e professionisti che ogni giorno operano con competenza, responsabilità e spirito di servizio per dare concretezza a una visione di mobilità moderna e sostenibile.

Il sottoattraversamento della città di Firenze, che interessa aree urbanizzate, edifici storici e infrastrutture strategiche, richiede infatti tecnologie avanzate, sistemi di controllo continuo e un approccio ingegneristico orientato alla massima tutela del territorio e del patrimonio esistente. Attraverso il coordinamento delle attività tecniche e di monitoraggio, la nostra Società contribuisce a garantire elevati standard di sicurezza, sostenibilità e qualità realizzativa, accompagnando passo dopo passo l'avanzamento dell'opera.

L'ultimazione delle gallerie confer-

ma la capacità della Società di guidare e governare interventi infrastrutturali ad alta complessità, integrando competenze specialistiche, innovazione tecnologica e attenzione al territorio. Un risultato che testimonia ancora una volta il ruolo centrale dell'ingegneria del Gruppo FS nello sviluppo delle grandi opere strategiche nazionali e il suo contributo concreto alla realizzazione di infrastrutture moderne, sostenibili e capaci di migliorare la connettività e la competitività del Paese" (Da: *Comunicato Stampa Gruppo FSI, FS Engineering*, 3 luglio 2026).

TRASPORTI INTERMODALI

Nazionale: transizione energetica, partita la sperimentazione dell'HVO sulla flotta FS Logistix

FS Logistix accelera sulla transizione energetica con la sperimentazione dell'HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) sulla propria flotta (Fig. 5) ferroviaria e stradale. Il biocarburante avanzato è già in utilizzo nelle attività operative di Mercitalia Rail e *Mercitalia Shunting & Terminal*, confermando l'impegno della società del Gruppo FS nel promuovere soluzioni concrete per ridurre l'impronta carbonica della logistica e accompagnare il percorso di decarbonizzazione del settore.

La sperimentazione coinvolge sia il trasporto ferroviario sia quello su gomma. In Mercitalia Rail sono in corso attività di test su due locomotive, una da trazione e una da manovra, con un consumo pari a circa 15.000 litri di biocarburante. In *Mercitalia Shunting & Terminal* l'HVO è invece già utilizzato per i locomotori di manovra nei siti di Santo Stefano Magra e Valdellora. Parallelamente, l'introduzione dell'HVO è stata estesa anche alla flotta degli autocarri, attraverso il progressivo rinnovo dei mezzi con l'introduzione di 21 veicoli Euro 6 alimentati con questo carburante. Nel 2025 sono stati consumati circa 19.000 litri di HVO, che hanno consentito di evitare fino a circa 40 tonnellate di CO_2 rispetto al gasolio, un valore equivalente alle emissioni annuali di circa 15-20 autovetture.

"Per FS Logistix la sostenibilità non è un ambito separato dal business, ma il modo in cui interpretiamo il nostro ruolo industriale", ha dichiarato S. De Filippis, Amministratore Delegato di FS Logistix. "La sperimentazione dell'HVO va in questa direzione: adottare soluzioni concrete, già disponibili e misurabili, capaci di ridurre l'impatto ambientale delle nostre attività e di generare valore per i clienti. Innovazione e sostenibilità sono parte del nostro *mindset*. Significano scegliere ogni giorno tecnologie, processi e modelli operativi in grado di rendere la logistica più efficiente, competitiva e responsabile".



(Fonte: Gruppo FSI, FS Logistix)

Figura 5 – Le unità di trazione di FS Logistix "accelerano" sulla transizione energetica con l'utilizzo dell'HVO.

L'introduzione dell'HVO nei locomotori diesel e nei mezzi aziendali consente una significativa riduzione delle emissioni, fino al 90% di CO_2 rispetto al gasolio tradizionale, mantenendo al tempo stesso continuità operativa, efficienza del servizio e piena compatibilità con le flotte esistenti.

L'HVO è un biocarburante avanzato prodotto da materie prime rinnovabili, come oli alimentari esausti, scarti agroalimentari e residui organici. Si tratta di una soluzione già disponibile e immediatamente utilizzabile nei motori diesel esistenti, senza modifiche ai mezzi o alle infrastrutture, rappresentando una leva concreta per accompagnare la transizione energetica del settore dei trasporti e contribuendo alla riduzione delle emissioni lungo l'intero ciclo di vita rispetto al diesel fossile.

L'iniziativa si inserisce nel più ampio percorso di decarbonizzazione delle società di FS Logistix e contribuisce agli obiettivi di sostenibilità del Gruppo FS, che punta al raggiungimento del Net Zero entro il 2040. In questa direzione si colloca anche l'obiettivo al 2030 di raggiungere una quota pari al 60% di utilizzo di HVO nei trasporti su gomma, confermando il ruolo centrale dei biocarburanti avanzati nel percorso di transizione energetica. Un percorso che guarda al futuro della logistica come a un sistema sempre più integrato, efficiente e sostenibile, capace di accompagnare la competitività delle imprese e la transizione del Paese (Da: *Comunicato Stampa Gruppo FSI, FS Logistix*, 16 agosto 2026).

INDUSTRIA

Nazionale: crescita contenuta per l'indice della produzione dell'industria automotive italiana a giugno

Il successo dell'ecobonus per i

nuovi veicoli commerciali leggeri a basse emissioni, esauriti in poche ore, avrà ricadute positive sulla filiera produttiva, oltre a testimoniare che la domanda attendeva soltanto di essere stimolata: prodotte nel primo semestre 2026 oltre 167.000 autovetture (+26,1%) e circa 302.000 autoveicoli (+13,4%), secondo i dati preliminari di ANFIA. A giugno 2026, secondo i dati ISTAT, l'indice della produzione dell'industria automotive italiana nel suo insieme (dati grezzi: i dati aggiornati a maggio saranno pubblicati da Istat il 29 luglio 2026) registra una crescita del 2,8% rispetto a giugno 2025, mentre nel primo semestre 2026 aumenta del 13,5%.

Guardando ai singoli comparti produttivi del settore, l'indice della fabbricazione di autoveicoli (Codice Ateco 29: fabbricazione di autoveicoli, fabbricazione di carrozzerie autoveicoli, rimorchi e semirimorchi e fabbricazione di parti e accessori per autoveicoli e loro motori, esclusi pneumatici) registra una variazione tendenziale positiva del 10,5% a giugno e del 22,8% nei primi sei mesi del 2026 rispetto allo stesso periodo del 2025; quello della fabbricazione di carrozzerie per autoveicoli, rimorchi e semirimorchi (codice Ateco 29.2), invece, torna a calare a giugno (-1,3%) dopo il modesto segno positivo registrato a maggio, risultano in flessione del 5,4% nella prima metà del 2026; infine, quello della fabbricazione di parti e accessori per autoveicoli e loro motori (Codice Ateco 29.3, non include pneumatici) inverte la tendenza riportando una variazione negativa dell'8,5% nel mese, ma chiudendo il primo semestre con un rialzo del 2,1%.

Secondo i dati preliminari di ANFIA, la produzione domestica delle sole autovetture a giugno 2026 ammonta a circa 24.000 unità, in aumento del 4,5% rispetto a giugno 2025. Nel primo semestre, il totale delle autovetture prodotte si attesta a 167.367, il 26,1% in più rispetto al primo semestre 2025. Nello stesso periodo, il totale degli autoveicoli prodotti a livello nazionale si attesta a 302.000, il 13,4% in più rispetto a gennaio-giugno 2025.

Il comparto produttivo automotive si colloca nel contesto di una produzione industriale italiana complessiva in diminuzione a giugno 2026 rispetto ai livelli del sesto mese dello scorso anno. L'indice della produzione industriale nel suo complesso (corretto per gli effetti di calendario: i giorni lavorativi sono stati 21 a giugno 2026 contro i 20 di giugno 2025; è escluso il comparto Costruzioni e a partire da gennaio 2024, gli indici della produzione industriale sono diffusi da ISTAT nella nuova base di riferimento 2021=100), infatti, cala dello 0,6% a giugno, ma chiude con un incremento dello 0,5% il primo semestre dell'anno corrente rispetto allo stesso periodo del 2025.

Il fatturato dell'industria in senso stretto (escluso il comparto Costruzioni) registra un incremento del 2,2% a maggio 2026, ultimo dato disponibile (+1,6% sul mercato interno e +3,3% sui mercati esteri) e chiude i primi sei mesi dell'anno a +2,6% (+2,5% il mercato interno e +2,7% i mercati esteri).

G. Giorda, Direttore Generale di ANFIA ha così commentato i dati dell'ultimo report.

"A giugno 2026, l'indice della produzione automotive italiana rallenta la crescita, chiudendo a +2,8%.

Rallenta, ma si mantiene positivo anche l'indice della fabbricazione di autoveicoli (+10,5%) – grazie al segno positivo registrato, secondo i dati preliminari di ANFIA, dalla produzione di autovetture nel mese (+4,5%), mentre l'indice della produzione di parti e accessori per autoveicoli e loro motori torna a calare, con una flessione dell'8,5%.

La piattaforma Ecobonus attivata lo scorso 29 luglio in attuazione del 'DPCM Automotive' che ha rifinanziato il fondo a sostegno del settore automotive, ha visto esaurirsi in poche ore le risorse per l'acquisto di veicoli commerciali leggeri a basse emissioni, segno che la domanda attendeva soltanto di essere stimolata e che è fondamentale dare continuità alle misure di incentivazione, così da accompagnare il rinnovo del circolante. Il successo della misura avrà ricadute positive sulla filiera produttiva, a beneficio della quale si attendono ora i decreti direttoriali del MIMIT necessari per rendere operativi gli incentivi per il sostegno agli investimenti tramite accordi di innovazione e mini-contratti di sviluppo."

A gennaio-aprile 2026 (ultimo dato disponibile), l'export di autoveicoli (autovetture e veicoli industriali nuovi) dall'Italia vale 5,80 miliardi di euro, mentre l'import vale 13,85 miliardi di euro. La Germania rappresenta, in valore, il primo Paese di destinazione dell'export di autoveicoli dall'Italia, con una quota del 17,5%, seguita da Stati Uniti (15,6%) e Francia (11,8%).

Nello stesso periodo, l'export della componentistica automotive vale 8,66 miliardi di euro, con un saldo positivo di 2,15 miliardi.

Il fatturato del settore automotive nel suo complesso inverte resta in crescita del 3,4% a maggio (ultimo dato disponibile), con la componente interna e la componente estera entrambe in crescita del 3,4%. A gennaio-maggio 2026, il fatturato aumenta invece del 6,1% (+9,2% il fatturato interno e +3,8% quello estero).

Infine, il fatturato delle parti e accessori per autoveicoli e loro motori presenta una variazione tendenziale lievemente negativa (-0,7%) a maggio (-0,2% la componente interna e -1,1% la componente estera). Nel periodo gennaio-maggio 2026, l'indice del fatturato di questo comparto registra un incremento dell'1,6%, con una lieve crescita, dello 0,2%, della componente interna, mentre la componente estera chiude a +2,7% (Da: *Comunicato Stampa ANFIA*, 06 Agosto 2026).

VARIE

Nazionale: Nuovo Codice della Strada, patente a 17 anni

Il MIT ha inviato a oltre cento operatori e associazioni di settore i materiali di lavoro del nuovo Codice della Strada per completare il processo

di consultazione voluto dal Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti M. Salvini, con l'obiettivo di arrivare a un testo che sia il più vicino possibile alle esigenze degli automobilisti, con la sicurezza della circolazione come priorità.

Di seguito le principali direttrici del nuovo Codice: più tutele per gli utenti vulnerabili, stretta sui veicoli senza assicurazione, multe più proporzionate e non vessatorie, patente a 17 anni, obbligo di contrassegno per i cicli a propulsione, più tutele per i motociclisti, maggiori garanzie per i cittadini e più risorse per la sicurezza delle strade, recupero delle sanzioni non pagate dagli stranieri e contrasto ai veicoli abbandonati.

1) PIÙ TUTELE PER MOTOCICLISTI, PERSONE CON DISABILITÀ E NUOVE FORME DI MOBILITÀ

Con il nuovo Codice della Strada si intende introdurre l'obbligo per i Comuni di aderire alla piattaforma CUDE (Contrassegno Europeo di parcheggio per le persone con disabilità), prevedendo, in caso di inottemperanza, l'impossibilità di utilizzare i dispositivi per l'accertamento a distanza delle violazioni relative alla sosta riservata e alle ZTL.

Per i motociclisti si lavora a maggiori protezioni in autostrada e alla possibilità, in caso di incidenti o forti rallentamenti, di utilizzare la corsia di emergenza, garantendo sempre il passaggio dei mezzi di soccorso.

Allo studio anche l'introduzione della regola del sorpasso a destra in autostrada: si intende applicare la circolazione per file parallele sulle autostrade e superstrade a tre corsie, che comporterebbe la possibilità di superare a destra.

Per i cicli a propulsione, utilizzati anche per le consegne a domicilio, è allo studio l'obbligo di casco e contrassegno.

2) STRETTA SUI VEICOLI SENZA ASSICURAZIONE E VEICOLI ABBANDONATI

Linea dura contro chi circola senza assicurazione. Tra le novità allo studio del MIT, controlli rafforzati attraverso le banche dati della Motorizzazione e introduzione del divieto di marcia digitale. In caso di mancata regolarizzazione, al primo controllo su strada potrà scattare direttamente il sequestro. Al lavoro, inoltre, misure per il contrasto al degrado e ai veicoli abbandonati.

3) STOP ALLE MULTE VESSATORIE. SANZIONI PIÙ PROPORZIONATE: CHI CREA PIÙ RISCHIO PAGA DI PIÙ

- Multe più semplici e proporzionate alla gravità effettiva delle violazioni, prevedendo al tempo stesso sanzioni più severe per i veicoli non assicurati.
- Riduzione degli incrementi sanzionatori in caso di pagamento difforme.
- Recupero delle sanzioni non pagate dagli stranieri nei cinque anni successivi alla violazione. In particolare, è prevista la possibilità di riscossione coattiva nei confronti di qualsiasi conducente si trovi a circolare in Italia sul veicolo con cui è stata commessa l'infrazione.
- Stop all'aumento automatico delle multe legato all'inflazione.

4) PIÙ GARANZIE PER I CITTADINI: NOTIFICHE DA 90 A 30 GIORNI

- Potenziamento del ricorso al prefetto e disciplina più semplice dell'autotutela per chiedere l'annullamento dei verbali errati, con maggiore proporzionalità nei casi di piccoli errori nel pagamento.
- Meno attese e più garanzie per chi riceve una multa. Riduzione da 90 a 30 giorni del termine per la notifica dei verbali relativi agli accertamenti da remoto.

5) 70% DEI PROVENTI DELLE MULTE ALLA SICUREZZA DELLE STRADE

- Più risorse derivanti dalle multe dovranno tornare direttamente alla sicurezza delle strade.

La proposta allo studio del MIT prevede il 70% dei proventi all'ente proprietario della strada, da reinvestire in interventi per la sicurezza, e il 30% all'ente accertatore per le attività di controllo e notifica (Da: *Comunicato Stampa MIT*, 8 agosto 2026).

Piemonte-Lombardia: Nuovi treni storici speciali

Si arricchisce ulteriormente l'offerta commerciale dei treni storici della Fondazione FS con due nuovi itinerari d'autore dedicati al Piemonte, alla Lombardia e alle grandi eccellenze enogastronomiche dell'autunno: il Milano-Alba, tra tartufi e vino nel cuore delle Langhe, e il Torino-Canelli, sulla Ferrovia delle Langhe, Roero e Monferrato (Fig. 6)

Il primo appuntamento è con il treno storico Milano-Alba, in programma le domeniche 11, 18 e 25 ottobre 2026. Partirà da Milano Centrale alle 9:05 e arriverà ad Alba alle 12:35, via Pavia, Alessandria e Asti, con rientro da Alba alle 18:20 e arrivo a Milano Centrale alle 22:00. Un viaggio in giornata verso le Langhe, nel periodo in cui il territorio esprime al meglio paesaggio, cultura e gusto. A bordo delle carrozze anni 70' Gran Confort, il viaggio diventa esperienza: comfort, grandi finestrature e ritmo lento valorizzano il paesaggio, mentre degustazioni, prodotti stagionali e racconti sul Nebbiolo anticipano l'arrivo ad Alba e le eccellenze del territorio.

A novembre sarà la volta del treno storico Torino-Canelli, in programma le domeniche 1, 8, 15 e 22 novembre 2026. Il convoglio collegherà Torino Porta Nuova a Canelli, con fermate a Torino Lingotto, Bra e Alba, attraversando colline, vigneti e borghi del Monferrato. Il viaggio si svolgerà a bordo delle carrozze anni 20' Centoporte. A bordo sono previste degustazioni e masterclass dedicate ai vini, ai prodotti tipici e alla cultura spumantistica dell'Alta Langa e del Monferrato. La circolazione inaugurale del 1° novembre avrà un valore particolare: il treno sarà trainato da una locomotiva a vapore, un elemento di indiscusso fascino in un periodo in cui il foliage lo fa da padrone. In questa occasione il servizio



(Fonte: Gruppo FSI, Fondazione FS)

Figura 6 – Gli interni di una carrozza adibita a treno storico speciale in esercizio tra Lombardia e Piemonte.

seguirà orari dedicati, con partenza da Torino Porta Nuova alle 8:55, arrivo a Canelli alle 11:29, ripartenza alle 18:12 e rientro a Torino Porta Nuova alle 21:15. Nelle altre domeniche il programma prevede partenza da Torino Porta Nuova alle 8:55, arrivo a Canelli alle 10:43 con ripartenza alle 18:15 e arrivo nel capoluogo piemontese alle 20:20.

Con queste nuove proposte, i treni storici diventano così strumenti di promozione turistica e culturale, capaci di mettere in relazione grandi città, borghi, paesaggi e produzioni d'eccellenza, offrendo ai viaggiatori un modo autentico e consapevole di vivere il tempo del viaggio (Da: *Comunicato Stampa Gruppo FSI, Fondazione FS*, 5 agosto 2026).

L. Franceschini, A. Garofalo, R. Marini e V. Rizzo

ELEMENTI GENERALI DELL'ESERCIZIO FERROVIARIO

Tradizione, evoluzione, sviluppi

Seconda edizione

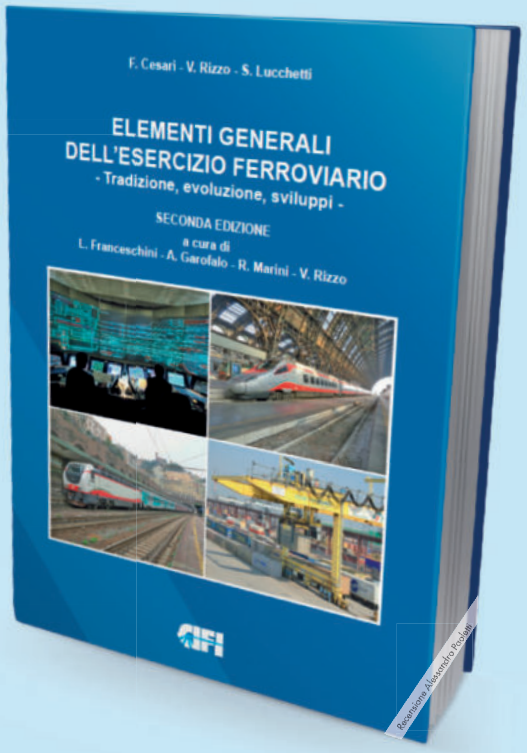
Il CIFI ha pubblicato la seconda edizione del libro "Elementi generali dell'esercizio ferroviario". La prima edizione era stata data alle stampe nel 1999. Andata esaurita anche la ristampa, il CIFI ha giustamente ritenuto opportuno, anziché procedere ad un'ulteriore ristampa, di pubblicare una nuova edizione, aggiornando ed integrando i contenuti del testo originario, in base agli sviluppi intervenuti nel frattempo. In effetti gli ultimi quindici anni hanno visto realizzarsi tali e tanti cambiamenti nell'organizzazione, nelle infrastrutture, nelle tecnologie ferroviarie che una semplice rilettura non era sufficiente.

Partendo da tali considerazioni, gli autori di questa seconda edizione, una squadra affiatata ed eterogenea di tre generazioni di ferrovieri, lasciando traccia dell'evoluzione storica, hanno svolto un completo lavoro di revisione ed aggiornamento ma anche di integrazione ed aggiunta di nuove parti. Nella prima edizione il sistema ad Alta Velocità era in fase di progetto, ora è in fase di consolidato esercizio. Il modello di esercizio prevalente era quello in cui le stazioni erano affidate ai "dirigenti movimento", ora sono ampiamente diffusi evoluti sistemi di comando e controllo delle linee che interessano nodi ferroviari e direttrici di traffico.

Per quanto riguarda il materiale rotabile, l'elettronica di potenza e di comando ha definitivamente sostituito la regolazione reostatica e consentito l'adozione generalizzata di motori asincroni trifasi. I sistemi per la ripetizione dei segnali in macchina erano facoltativi, ora i sistemi per la protezione della marcia dei treni sono obbligatori. Inoltre, le Ferrovie italiane si stanno proiettando sempre di più all'estero e non mancano riferimenti e confronti con le ferrovie straniere. Infine l'interoperabilità è anch'essa nel pieno della applicazione pratica, mentre era prima solo accennata come intenzione.

Il volume espone quindi in un quadro ordinato e logicamente articolato gli elementi essenziali, i concetti e le informazioni di base dell'esercizio ferroviario considerato nel suo complesso e nei diversi settori in cui si differenzia.

Nel volume sono inserite, quando opportune, notizie storiche e di costume dell'esercizio ferroviario. Questo consente al lettore di comprendere il perché di certe scelte tecnologiche e normative, quasi sempre dettate dalla necessità di risolvere problematiche magari oggi considerate banali,



ma all'epoca di elevato spessore e sfidanti per coloro che le hanno dovute affrontare e risolvere.

Il volume ha intenti formativi e si indirizza ad una estesa platea di lettori: operatori dell'esercizio ferroviario, professionisti, tecnici, studenti e cultori della materia, rappresentando un'introduzione di base al sistema ferroviario. Il testo comprende tutte le diverse discipline della ferrovia, riportando l'evoluzione e la descrizione degli attuali sviluppi relativi all'infrastruttura, alle tecnologie, al materiale rotabile ed alla normativa.

Il volume costituisce un "classico" del CIFI, in edizione completamente aggiornata e rinnovata, immancabile per ogni percorso di inquadramento e aggiornamento della materia.

Formato 17x24 cm, 640 pagine, 157 figure in bianco e nero, 120 figure a colori, 42 tabelle.
Prezzo di copertina Euro 40,00 (Sconto del 20% ai Soci CIFI).

Notizie dall'estero
News from foreign countries

Massimiliano Bruner

TRASPORTI SU ROTAIA
RAILWAY TRANSPORTATION

Svizzera: le FFS rinnovano la tecnica di guida ferroviaria

Le FFS gettano le basi per la gestione ferroviaria di nuova generazione in Svizzera e preparano l'acquisto di un nuovo sistema di comando digitale. A partire dagli anni 2030, questo consentirà gradualmente la circolazione di un maggior numero di treni sulla rete e renderà ancora più stabile l'esercizio e più flessibile la guida dei treni. Fino ad allora, è prorogato il contratto in essere con Siemens per l'attuale sistema Iltis.

Con i nuovi sistemi digitali, le FFS modernizzano gradualmente la gestione del traffico ferroviario. Gli obiettivi sono una rete più efficiente, un maggior numero di treni in circolazione e un esercizio ancora più stabile.

Nelle centrali d'esercizio, le collaboratrici e i collaboratori controllano costantemente i treni viaggiatori e i treni merci per garantire la circolazione sicura e puntuale di persone e forniture in tutta la Svizzera. Per poter continuare anche in futuro a svolgere questo compito impegnativo in modo affidabile è necessario un supporto da parte di sistemi moderni

- Pronti all'appuntamento con i requisiti del futuro

Lo strumento centralizzato attualmente impiegato a questo scopo è Iltis, il sistema integrale di segnalamento e informazione della tecnica di guida ferroviaria che si conferma affidabile da oltre 30 anni. Tuttavia, in questi decenni i requisiti per la tecnica di guida ferroviaria sono diventati sempre più stringenti e le possibilità tecnologiche si sono evolute e modificate. Con una prospettiva lungimirante, le FFS pianificano quindi l'acquisto di un nuovo sistema di guida in grado di rispondere a questi requisiti. La soluzione dovrà essere strettamente interconnessa ai futuri apparecchi centrali digitali e al sistema d'orario, soddisfare gli standard internazionali e ottimizzare ulteriormente la gestione del traffico ferroviario.

- Nuovo sistema dagli anni 2030

Il bando per il nuovo sistema partirà dal 2027 secondo le norme in materia di appalti pubblici. Le FFS introdurranno gradualmente il nuovo sistema a partire dagli anni 2030.

Fino ad allora rimarrà in uso Iltis, imprescindibile per un esercizio affidabile. Per poter garantire la sicurezza dell'esercizio fino alla sostituzione di Iltis, le FFS hanno deciso di prorogare il contratto in essere con Siemens. La proroga del contratto per l'assistenza tecnica successiva di Iltis verrà pubblicata su SIMAP il 29 luglio 2026.

- Creazione di valore in Svizzera

Un cambio di fornitore per l'assistenza relativa al sistema di comando odierno è fuori discussione, sia dal punto di vista tecnico che normativo: Siemens ha sviluppato Iltis e detiene la proprietà intellettuale del sistema, oltre a essere l'unica azienda a disporre delle nozioni tecniche necessarie per il suo funzionamento. Le FFS aggiudicano dunque la commessa per incarico diretto sulla base dell'art. 21 cpv. 2 lett. c della legge federale sugli appalti pubblici (LAPub).

L'importo pubblicato di 280 milioni di franchi è la soglia massima di costo per l'assistenza tecnica fino alla sostituzione programmata di Iltis entro il 2045. Le FFS non hanno l'obbligo di acquistare prestazioni per l'intero importo. L'azienda intende completare l'introduzione del nuovo sistema di tecnica di guida ferroviaria già entro l'inizio degli anni 2040, così da ridurre i costi della tecnologia Iltis in via di dismissione. Le prestazioni verranno erogate da Siemens Svizzera a Wallisellen, perciò la creazione di valore resterà completamente in Svizzera (Da: *Comunicato Stampa FFS*, 29 luglio 2026).

Switzerland: SBB renews railway control technology

SBB is laying the foundation for next-generation railway management in Switzerland and preparing to purchase a new digital control system.

Starting in the 2030s, this will gradually allow more trains to run on the network, making operations even more stable and train control more flexible. Until then, they are extending their existing contract with Siemens for the current Iltis system.

With the new digital systems, SBB is gradually modernizing rail traffic management. The goals are a more efficient network, more trains in circulation, and even more stable operations.

In the control rooms, employees constantly monitor passenger and freight trains to ensure the safe and punctual movement of passengers and supplies throughout Switzerland. To continue to perform this challenging task reliably in the future, support from modern systems is essential.

- *Ready for the demands of the future*

The centralized tool currently used for this purpose is Iltis, the integrated signaling and information system for railway control systems that has proven reliable for over 30 years. However, over these decades, the requirements for railway control systems have become increasingly stringent, and technological possibilities have evolved and changed. Taking a forward-looking approach, SBB is therefore planning to purchase a new control system capa-

ble of meeting these requirements. The solution must be closely interconnected with future digital signalling devices and the timetable system, meet international standards, and further optimize rail traffic management.

- *New system from the 2030s*

The tender for the new system will begin in 2027 in accordance with public procurement regulations. SBB will gradually introduce the new system starting in the 2030s.

Until then, Iltis will remain in use, essential for reliable operations. To ensure operational safety until Iltis is replaced, SBB has decided to extend its existing contract with Siemens. The contract extension for subsequent technical support for Iltis will be published on SIMAP on July 29, 2026.

- *Value creation in Switzerland*

A change of supplier for support for the current control system is out of the question, both from a technical and regulatory perspective: Siemens developed Iltis and holds the intellectual property rights to the system, as well as being the only company with the technical expertise necessary for its operation. SBB is therefore awarding the contract by direct mandate pursuant to Article 21, paragraph 2, letter c, of the Federal Act on Public Procurement (PAP).

The published amount of CHF 280 million is the maximum cost threshold for technical support until the planned replacement of Iltis by 2045. SBB is not obligated to purchase the full amount. The company intends to complete the introduction of the new rail control technology system by the early 2040s, thus reducing the costs of the Iltis technology currently being phased out. The services will be provided by Siemens Switzerland in Wallisellen, thus ensuring that all value creation remains in Switzerland (From: SBB Press Release*, July 29th, 2026).*

Cile: EFE *Trenes de Chile* modernizza la vendita e la prenotazione dei biglietti con Siemens S3 *Passenger*

Nell'ambito del suo piano strategico per rafforzare la connettività ferroviaria e le relative iniziative di digitalizzazione, EFE *Trenes de Chile* (EFE) ha implementato la piattaforma S3 *Passenger* per i servizi ferroviari principali di EFE Central. Sviluppata da Sqills, una consociata di *Siemens Mobility*, S3 *Passenger* è una piattaforma *Software-as-a-Service* (SaaS) basata sull'intelligenza artificiale per la gestione dinamica dei prezzi, delle prenotazioni e dell'inventario per gli operatori ferroviari e di autobus a lunga percorrenza. La piattaforma è operativa dal 22 luglio e fornisce a EFE gli strumenti per mettere al centro l'esperienza del passeggero, offrendo un modo più semplice, veloce e personalizzato per acquistare biglietti e pianificare un viaggio in treno. L'implementazione è stata completata in soli sei mesi – un lasso di tempo eccezionalmente breve per un sistema di tale portata e importanza – e rappresenta la prima implementazione di S3 *Passenger* in Sud America.

"Siamo onorati di essere un partner di fiducia nel percorso di trasformazione digitale di EFE. Implementando S3 *Passenger*, EFE si dota dell'agilità operativa necessaria per scalare i propri servizi e soddisfare la crescente domanda di viaggi in treno in Cile, supportandola nel triplicare il numero di passeggeri entro il 2030. Per i passeggeri, questo significa un'esperienza digitale *end-to-end* fluida e flessibile, dalla prenotazione e dalle modifiche in tempo reale", afferma D. Pasta, CEO di *Siemens Mobility Software*.

"Ogni viaggio inizia molto prima di salire a bordo di un treno. Inizia con la pianificazione, con l'acquisto del biglietto e con la tranquillità di gestire ogni dettaglio con facilità. Per questo motivo stiamo rinnovando il modo in cui le persone interagiscono con il treno, offrendo un'esperienza più semplice, comoda e personalizzata, e passando al self-service per i biglietti con un servizio post-vendita migliorato. Questa nuova piattaforma ci permette di muoverci verso un servizio più moderno e inclusivo, incentrato sulle esigenze dei nostri passeggeri", ha dichiarato P. Fernández, Direttore Passeggeri di EFE Central, che ha guidato il progetto di implementazione di S3 *Passenger*.

- Un'esperienza di viaggio migliorata e più personalizzata

Con S3 *Passenger*, i passeggeri beneficiano di un processo di acquisto più chiaro e veloce, nonché di informazioni e strumenti più trasparenti per semplificare la pianificazione del viaggio. Hanno inoltre accesso a opzioni self-service e maggiore autonomia nella gestione dei biglietti, nella modifica delle prenotazioni o nella richiesta di assistenza, il tutto in modo più semplice e tempestivo. S3 *Passenger* consente a EFE di offrire ai passeggeri nuove possibilità per i loro viaggi in treno. I passeggeri possono aggiungere servizi extra come bagaglio aggiuntivo, viaggiare con un animale domestico, un posto finestrino preferito, un pasto o un upgrade del posto. Possono anche acquistare un biglietto singolo per viaggi in coincidenza, ad esempio quando viaggiano verso Constitución da qualsiasi località di partenza, o acquistare un posto per un bambino che viaggia con un genitore. S3 *Passenger* apporta anche miglioramenti all'offerta commerciale e all'efficienza operativa di EFE: l'operatore ora ha la possibilità di emettere voucher e applicare tariffe promozionali, e la piattaforma sostituisce i processi manuali come la gestione del contante nelle stazioni, consentendo al personale di concentrarsi sui passeggeri. La nuova piattaforma rafforza inoltre l'inclusione e l'accessibilità, con spazi progettati per esigenze specifiche, comprese aree dedicate ai passeggeri in sedia a rotelle. Ciò garantisce a ogni passeggero la possibilità di viaggiare in modo comodo e sicuro.

- Un nuovo punto di riferimento per il trasporto passeggeri in Sud America

Il progetto modernizza l'infrastruttura digitale dei principali servizi di EFE Central, tra cui la linea Chillán, la Talca-Constitución e i treni turistici. Adottando S3 *Passenger*, EFE allinea la propria tecnologia a quella dei principali operatori mondiali, come Renfe e SNCF, a testimonianza del crescente slancio in Ame-

rica Latina verso la modernizzazione del trasporto passeggeri su rotaia e autobus.

- Un'ulteriore conferma della presenza di *Siemens Mobility* in America Latina

Siemens Mobility è attivo in America Latina grazie a progetti di riferimento che guidano la modernizzazione e la trasformazione digitale del trasporto ferroviario. Dopo aver realizzato la prima linea metropolitana completamente automatizzata del continente (GoA4), l'azienda continua a definire nuovi standard con alcune delle iniziative di elettrificazione, automazione e digitalizzazione più avanzate in America Latina. Attraverso questi progetti, *Siemens Mobility* contribuisce in modo significativo all'efficienza, alla sicurezza e alla sostenibilità del trasporto ferroviario in tutta la regione. Recentemente, con una mossa innovativa per lo sviluppo delle infrastrutture ferroviarie in Cile, *Siemens Mobility* si è aggiudicata da EFE *Trenes de Chile* l'appalto per la realizzazione del primo progetto ETCS di Livello 2 nel Paese (Da: *Comunicato Stampa Siemens Mobility*, 26 agosto 2026).

Chile: EFE Trenes de Chile modernizes passenger sales and booking with Siemens' S3 Passenger

As part of its strategic plan to strengthen rail connectivity and associated digitalization initiatives, EFE Trenes de Chile (EFE) has implemented the S3 Passenger platform for EFE Central's mainline services. Developed by Sqills, a subsidiary of Siemens Mobility, S3 Passenger is an AI-enhanced Software-as-a-Service (SaaS) platform for dynamic pricing, reservations and inventory management for long-distance rail and bus operators. The platform has been live since 22 July, giving EFE the tools to put the passenger experience at the centre by offering a simpler, faster and more personalized way to buy tickets and plan a journey by train. The implementation was completed in just six months – an exceptionally fast timeline for a system of this scope and criticality – and marks the first S3 Passenger deployment in South America.

"We are honored to be a trusted partner in EFE's digital transformation journey. By implementing S3 Passenger, EFE is equipped with the operational agility needed to scale their services and meet the growing demand for rail travel in Chile – supporting them in tripling ridership by 2030. For passengers, this means a seamless and flexible end-to-end digital experience, from booking, reservations and modifications in real-time", says D. Pasta, CEO Siemens Mobility Software.

"Every journey begins long before boarding a train. It begins with planning, with buying the ticket, and with the peace of mind of managing every detail with ease. That is why we are renewing the way people engage with rail - offering a simpler, more comfortable and more personalised experience, and moving towards self-service for tickets with an improved after-sales experience. This new platform lets us move towards a more modern, inclusive service, centred on the needs of our passengers", said P. Fernández, Passengers Director at EFE Central, who led the S3 Passenger implementation project.

- *An improved and more personalised passenger experience*

With S3 Passenger, passengers benefit from a clearer and quicker purchase process, as well as more transparent information and tools to make planning a trip easier. They also gain access to self-service options and greater autonomy to manage tickets, change bookings or request assistance when needed, all in a more straightforward and timely way. S3 Passenger allows EFE to offer passengers new possibilities for their train journeys. Passengers can add extra services such as additional baggage, travelling with a pet, a preferred window seat, a meal or a seat upgrade. They can also purchase a single ticket for connecting journeys, for example when travelling through to Constitución from any point of origin, or buy a seat for a child travelling with a parent. S3 Passenger also brings improvements to EFE's commercial offers and operational efficiency: the operator now has the ability to issue vouchers and run promotional fares, and the platform replaces manual processes such as cash management at stations, freeing staff to focus on passengers. The new platform also reinforces inclusion and accessibility, with spaces designed for specific needs, including dedicated areas for passengers using wheelchairs. This ensures every passenger can travel comfortably and safely.

- *Setting a new benchmark for passenger transport in South America*

The project modernises the digital backbone of EFE Central's major services, including the Chillán line, Talca-Constitución and tourist trains. By adopting S3 Passenger, EFE aligns its technology with leading operators worldwide, such as Renfe or SNCF, signalling growing momentum across Latin America to modernise rail and bus passenger transport.

- *Building on Siemens Mobility's footprint in Latin America*

Siemens Mobility is a leader in Latin America through landmark projects that are driving the modernization and digital transformation of rail transport. Having built the continent's first fully automated metro line (GoA4), the company continues to set new standards with some of the most advanced electrification, automation, and digitalization initiatives across Latin America. Through these projects, Siemens Mobility is making a significant contribution to the efficiency, safety, and sustainability of rail transport throughout the region. Just recently, in a groundbreaking move for railway infrastructure development in Chile, Siemens Mobility has been awarded by EFE Trenes de Chile to implement the first ETCS Level 2 project in the country (From: Siemens Mobility Press Release*, August 26th, 2026).*

TRASPORTI URBANI
URBAN TRANSPORTATION

India: Metro Kanpur, verso il completamento del Corridoio 1

Un nuovo importante traguardo rafforza la presenza di *FS Engineering*

nel mercato internazionale delle infrastrutture ferroviarie e del trasporto rapido di massa. In India, il Commissioner of *Metro Rail Safety* (CMRS) ha completato con esito positivo l'ispezione finale di sicurezza della tratta Kanpur Central–Naubasta, ultimo segmento del Corridoio 1 della metropolitana di Kanpur, aprendo la strada alla piena operatività dell'intera linea (Fig. 1).

Il risultato rappresenta un passaggio fondamentale anche per *FS Engineering*, impegnata dal 2020 nei servizi di *General Consultancy*, insieme alla società spagnola Typsa, per i progetti metropolitani di Kanpur e Agra, a supporto di *Uttar Pradesh Metro Rail Corporation* (UPMRC). Le attività svolte comprendono il coordinamento tecnico e il monitoraggio delle diverse fasi del progetto, contribuendo al rispetto degli standard internazionali di qualità, sicurezza e affidabilità.

Nel corso della verifica, il team del CMRS ha esaminato tutti i principali sistemi dell'infrastruttura: armamento ferroviario, impianti di trazione elettrica, segnalamento e telecomunicazioni, sistemi anticollisione, procedure di emergenza, dispositivi antincendio e dotazioni di stazione, oltre a effettuare prove dinamiche sui convogli e verifiche delle prestazioni operative.

Con il previsto via libera definitivo all'esercizio commerciale, il Corridoio 1 raggiungerà la sua configurazione completa lungo circa 23,5 km tra IIT Kanpur e Naubasta, estendendo la rete da 14 a 21 stazioni grazie all'attivazione di sette nuove fermate, tra cui le stazioni sotterranee di Jhakarkati e Transport Nagar e quelle sopraelevate di Baradevi, Kidwai Nagar, Vasant Vihar, Baudh Nagar e Naubasta.

L'opera riveste un ruolo strategico per la mobilità urbana di una delle principali città dello Stato dell'Uttar Pradesh. La linea collega l'area universitaria di IIT Kanpur, uno dei più prestigiosi poli accademici del Paese, con i quartieri residenziali e produttivi della parte meridionale della città, garantendo inoltre l'interconnessione con la stazione ferroviaria di Kanpur Central e con il terminal autobus di Jhakarkati.

In questo modo, verrà drasticamente ridotto il traffico congestionato sulle arterie stradali cittadine, offrendo ai circa 150.000 pendolari giornalieri un viaggio sicuro, climatizzato e accessibile.

Una volta completato, il corridoio consentirà di attraversare la città in circa 40 minuti, offrendo un'alternativa efficiente e sostenibile al trasporto su gomma e contribuendo alla riduzione della congestione urbana e delle emissioni. Le stime indicano una significativa crescita della domanda di trasporto pubblico, grazie a un sistema progettato per servire aree residenziali, università, ospedali, attività economiche e principali nodi di interscambio.



(Fonte - *Source*: Gruppo FSI, FS Engineering - *FSI Group, FS Engineering*)

Figura 1 - L'ingegneria di *FS Engineering* protagonista di un nuovo traguardo in India.

Figure 1 - FS Engineering plays a leading role in reaching another major milestone in India.

Il progetto di Kanpur testimonia la capacità di *FS Engineering* di esportare competenze ingegneristiche integrate e know-how ferroviario in contesti internazionali ad alta complessità. Attraverso il supporto a programmi infrastrutturali di grande scala, la società contribuisce alla realizzazione di sistemi di trasporto moderni, sicuri e sostenibili, rafforzando il ruolo del Gruppo FS come partner di riferimento per lo sviluppo della mobilità del futuro anche oltre i confini nazionali.

L'esito positivo dell'ispezione del Corridoio 1 rappresenta quindi non solo un passaggio decisivo per l'entrata in esercizio della linea, ma anche una concreta dimostrazione dell'eccellenza ingegneristica italiana applicata a uno dei più ambiziosi programmi di mobilità urbana in corso in India (Da: *Comunicato Stampa Gruppo FSI, FS Engineering*, 14 luglio 2026).

India: Kanpur Metro, Corridor 1 moves towards completion

A significant new achievement strengthens FS Engineering's presence in the international railway infrastructure and mass rapid transit market. In India, the Commissioner of Metro Rail Safety (CMRS) has successfully completed the final safety inspection of the Kanpur Central–Naubasta section, the last segment of Kanpur Metro's Corridor 1, paving the way for the full operational launch of the entire line (Fig. 1).

It also marks an important milestone for FS Engineering, which since

2020 has been providing General Consultancy services, together with the Spanish company Typsa, for the Kanpur and Agra metro projects in support of the Uttar Pradesh Metro Rail Corporation (UPMRC).

The scope of work includes technical coordination and monitoring of the various project phases, helping ensure compliance with international standards of quality, safety, and reliability.

During the inspection, the CMRS team reviewed all major infrastructure systems, including track works, traction power systems, signalling and telecommunications, collision prevention systems, emergency procedures, fire protection equipment, and station facilities. Dynamic train tests and operational performance assessments were also carried out.

With the expected final approval for commercial operations, Corridor 1 will reach its full configuration across approximately 23.5 km between IIT Kanpur and Naubasta, expanding this way the network from 14 to 21 stations through the commissioning of seven new stations, including the underground stations of Jhakarkati and Transport Nagar and the elevated stations of Baradevi, Kidwai Nagar, Vasant Vihar, Baudh Nagar, and Naubasta.

The project plays a strategic role in urban mobility for one of the largest cities in the state of Uttar Pradesh. The line connects the IIT Kanpur campus, one of India's most prestigious academic institutions, with the residential and industrial districts in the southern part of the city. It also provides seamless interconnectivity with Kanpur Central Railway Station and the Jhakarkati bus terminal.

By doing so, it will significantly reduce traffic congestion on the city's main roads, offering approximately 150,000 daily commuters a safe, air-conditioned, and accessible travel experience.

Once completed, the corridor will make it possible to cross the city in around 40 minutes, providing an efficient and sustainable alternative to road transport while helping reduce urban congestion and emissions. Forecasts indicate a substantial increase in public transport usage, supported by a system designed to serve residential areas, universities, hospitals, business districts, and major interchange hubs.

The Kanpur project confirms FS Engineering's ability to export integrated engineering expertise and railway know-how to highly complex international environments. Through its contribution to large-scale infrastructure programmes, the company supports the development of modern, safe, and sustainable transport systems, reinforcing the FS Group's position as a trusted partner in shaping the mobility of the future beyond Italy's borders.

The successful outcome of the Corridor 1 inspection therefore represents not only a decisive step towards the line's entry into service, but also a tangible example of Italian engineering excellence applied to one of the most ambitious urban mobility programmes currently underway in India (From: Gruppo FSI, *FS Engineering*, Press Release*, July 14th, 2026).*

Australia: la tecnologia dell'app di assistenza digitale all'imbarco di *Sydney Trains*

Sydney Trains sta migliorando l'accessibilità per i passeggeri con esigenze di mobilità grazie alla sua tecnologia di assistenza digitale all'imbarco, che ha ottimizzato il coordinamento tra il personale di stazione e i controllori di bordo e semplificato oltre 45.000 richieste di assistenza all'imbarco dal suo lancio su tutta la rete a maggio.

La tecnologia integra le applicazioni *MyStation* e *NextThere*, fornendo un flusso di lavoro digitale condiviso che consente al personale di stazione e ai controllori di bordo di gestire le richieste di assistenza all'imbarco in tempo reale. La soluzione semplifica il processo di prenotazione, migliora la comunicazione tra le stazioni e l'equipaggio di bordo e offre una maggiore visibilità sulle esigenze di assistenza dei passeggeri durante tutto il viaggio.

Il lancio ha anche ridotto la dipendenza dalla comunicazione manuale, evitando circa 15.000 chiamate di coordinamento al mese su tutta la rete. Ciò consente al personale di stazione e ai controllori di bordo di dedicare più tempo all'assistenza ai passeggeri e meno tempo alla gestione dei processi amministrativi.

Oltre 1.400 controllori di bordo e 1.550 addetti alle stazioni utilizzano ora la tecnologia, garantendo un approccio più connesso e coordinato all'assistenza ai passeggeri sull'intera rete di *Sydney Trains*.

I dati operativi mostrano un'elevata adozione della tecnologia: il 93% delle richieste di assistenza all'imbarco sono state confermate digitalmente dai controllori di bordo nell'ultimo mese, rispetto all'87% precedente. Anche il personale di stazione ha registrato un'ottima adozione, con l'88% delle richieste confermate tramite *MyStation* e il 98% confermate con successo, digitalmente o verbalmente, sull'intera rete.

Tutti i treni della rete di *Sydney Trains* sono accessibili tramite una rampa di accesso dalla banchina al treno, che può essere utilizzata da personale qualificato per assistere i passeggeri durante la salita e la discesa in sicurezza. I controllori di bordo e il personale di stazione hanno inoltre completato corsi di formazione sulla consapevolezza delle disabilità e sono preparati per supportare i passeggeri che necessitano di assistenza durante tutto il viaggio.

L'app *NextThere* è particolarmente utile durante i servizi notturni, del mattino presto e del fine settimana, quando alcune stazioni potrebbero avere un numero ridotto di personale. Fornendo al personale di bordo una visibilità in tempo reale delle richieste di assistenza all›imbarco, la tecnologia contribuisce a garantire che i passeggeri che necessitano di supporto per l'accessibilità ricevano un'assistenza costante e affidabile, indipendentemente dall'orario di viaggio.

L'iniziativa conferma il costante impegno di *Sydney Trains* per l'ac-

cessibilità. Attualmente, il 72% delle stazioni di *Sydney Trains*, Intercity e Regionali è accessibile in modo indipendente, con caratteristiche quali ascensori, rampe, indicatori tattili, sistemi a induzione magnetica, biglietterie accessibili e servizi igienici.

L'implementazione ha inoltre dato seguito alla Raccomandazione 42 della Rail Review del 2023, che chiedeva un'accelerazione nell'implementazione della tecnologia di assistenza all'imbarco per migliorare l'affidabilità e il coordinamento dei servizi di assistenza alla mobilità, in particolare nelle stazioni con personale ridotto.

L'AD di *Sydney Trains*, M. Longland, ha dichiarato:

"Migliorare l'accessibilità significa rendere il trasporto pubblico più semplice, sicuro e affidabile per tutti. Dall'implementazione di questa tecnologia su tutta la rete, i nostri team in prima linea hanno coordinato digitalmente oltre 45.000 richieste di assistenza all'imbarco, contribuendo a offrire un'esperienza più uniforme ai passeggeri che necessitano di supporto alla mobilità. Insieme alla formazione che il nostro personale riceve e ai miglioramenti all'accessibilità che stiamo implementando su tutta la rete, questa tecnologia ci sta aiutando a offrire un viaggio migliore ai passeggeri che hanno bisogno di assistenza durante gli spostamenti."

Il responsabile dei servizi suburbani di *Sydney Trains*, H. Donoghue, ha affermato:

"L'integrazione di *MyStation* e *NextThere* ha trasformato il modo in cui vengono gestite le richieste di assistenza all'imbarco su tutta la rete ferroviaria. Fornendo visibilità in tempo reale sulle esigenze di assistenza dei clienti, la tecnologia migliora il coordinamento tra il personale di stazione e i controllori di bordo, riduce la comunicazione manuale e contribuisce a garantire che i clienti ricevano il supporto di cui hanno bisogno, quando ne hanno bisogno. Si tratta di un'importante iniziativa per l'accessibilità che sta apportando benefici sia ai nostri passeggeri che ai nostri team in prima linea ogni giorno." (Da: *Comunicato Stampa Governo Del Nuovo Galles Del Sud*, 27 agosto 2026).

Australia: Sydney Trains Digital Boarding Assistance App technology

Sydney Trains is delivering improved accessibility outcomes for passengers with mobility needs through its expanded digital boarding assistance technology, which has improved coordination between station staff and train guards and streamlined more than 45,000 boarding assistance requests since its network-wide rollout in May.

The technology integrates the MyStation and NextThere applications, providing a shared digital workflow that enables station staff and train guards to manage boarding assistance requests in real time. The solution streamlines the booking process, improves communication between stations and onboard crews, and provides greater visibility of passenger assistance requirements throughout the journey.

The rollout has also reduced reliance on manual communication, with approximately 15,000 coordination calls avoided each month across the network. This allows station staff and train guards to spend more time supporting passengers and less time managing administrative processes.

More than 1,400 suburban train guards and 1,550 station staff are now using the technology, providing a more connected and coordinated approach to passenger assistance across the Sydney Trains network.

Operational data shows strong uptake of the technology, with 93 per cent of boarding assistance requests digitally acknowledged by train guards in the past month, up from 87 per cent. Station staff also recorded strong adoption, with 88 per cent of requests acknowledged through MyStation and 98 per cent successfully acknowledged either digitally or verbally across the network.

All trains across the Sydney Trains network are accessible using a platform-to-train boarding ramp, which can be deployed by trained staff to assist passengers boarding and alighting services safely. Train guards and station staff have also completed disability awareness training and are equipped to support passengers requiring assistance throughout their journey.

The NextThere app is particularly valuable during late night, early morning and weekend services when some stations may have reduced staffing. By providing train guards with real-time visibility of boarding assistance requests, the technology helps ensure passengers requiring accessibility support receive consistent, reliable assistance regardless of the time they travel.

The initiative supports Sydney Trains' ongoing commitment to accessibility. Now 72 per cent of Sydney Trains, Intercity and Regional stations are independently accessible, with features including lifts, ramps, tactile indicators, hearing loops, accessible ticket counters and toilets.

The rollout also addressed Recommendation 42 of the 2023 Rail Review, which called for the accelerated implementation of boarding assistance technology to improve the reliability and coordination of mobility assistance services, particularly at stations with reduced staffing levels.

Chief Executive Sydney Trains M. Longland said:

"Improving accessibility is about making public transport easier, safer and more reliable for everyone. Since implementing this technology across the network, our frontline teams have digitally coordinated more than 45,000 boarding assistance requests, helping deliver a more consistent experience for passengers who require mobility support. Combined with the training our people receive and the accessibility improvements being delivered across the network, this technology is helping us provide a better journey for passengers who rely on assistance when travelling."

Head of Suburban Services at Sydney Trains H. Donoghue said:

"The integration of MyStation

and NextThere has transformed how boarding assistance requests are managed across the rail network. By providing real-time visibility of customer assistance needs, the technology improves coordination between station staff and train guards, reduces manual communication and helps ensure customers receive the support they need when they need it. This is an important accessibility initiative that is delivering benefits for both our passengers and frontline teams every day." (From: NSW Government Press Release*, August 27th, 2026).*

TRASPORTI INTERMODALI
INTERMODAL TRANSPORTATION

Cina: il volume di viaggi del *China Railway Express* attraverso il Corridoio Centrale supera i 3.000 quest'anno

Il 12 agosto, il treno CRE n. 1295 è partito lentamente dal porto ferroviario di Erenhot, nella Regione Autonoma della Mongolia Interna, segnando il 3.000° viaggio del CRE attraverso il porto e dimostrando la costante crescita dell'efficienza del trasporto transfrontaliero.

Secondo quanto riportato da fonti ufficiali, il porto ferroviario di Erenhot è l'unico punto di transito per il Corridoio Centrale del CRE. Attualmente, 76 linee CRE transitano per il porto ferroviario di Erenhot, collegando oltre 70 stazioni hub in più di 10 paesi, tra cui Germania e Polonia, e coprendo la maggior parte delle città di partenza in tutta la Cina.

Il mix di merci del porto continua a migliorare: le spedizioni iniziali erano dominate da metalli, prodotti chimici e beni industriali leggeri, che hanno gradualmente lasciato il posto a prodotti ad alto valore aggiunto come veicoli a energia alternativa ed elettrodomestici.

Dal lancio del servizio CRE inaugurale nel 2013, il numero di treni CRE che hanno attraversato il porto ha superato i 25.000 (Da: *China Railways Express Group*, 20 agosto 2026).

China: volume of China Railway Express via the Middle Corridor Exceeds 3,000 trips this year

On August 12, CRE Train No.1295 slowly departed from the Erenhot Railway Port in the Inner Mongolia Autonomous Region, marking the 3,000th CRE trip to pass through the port and demonstrating steady growth in the port's crossborder transport efficiency.

It is reported that Erenhot Railway Port is the sole port for the CRE Middle Corridor. At present, 76 CRE routes pass through Erenhot Railway Port, connecting over 70 hub stations in more than 10 countries such as Germany and Poland, and covering most departure cities across China.

The port's cargo mix keeps improving early-stage shipments were dominated by metals, chemicals and light industrial goods, which have gradually given way to highvalue-added products such as newenergy vehicles and electronic appliances. Since the inaugural CRE service was launched in 2013, the number of CRE trains passing through the port has exceeded 25,000 (From: China Railways Express Group*, August 20th, 2026).*

Internazionale: MSC lancia *Afungi Shuttle*, aprendo una nuova porta d'accesso al *Mozambico del nord*

MSC è lieta di presentare *Afungi Shuttle*, un nuovo servizio marittimo che collega Afungi, in Mozambico, con collegamenti dedicati da Nacala e Maputo (Fig. 2).

Sviluppato per supportare la crescente attività economica nel nord del Mozambico, *Afungi Shuttle* faciliterà il trasporto di materiali da costruzione, macchinari, attrezzature industriali, pezzi di ricambio e altre merci necessarie per lo sviluppo del progetto GNL ad Afungi.

Il servizio offre:

- Accesso ad Afungi tramite collegamenti dalle principali rotte commerciali che servono Europa, Mediterraneo, America, Asia, Medio Oriente e Africa meridionale, supportati dall'ampia rete di origini di MSC e dalla sua forte presenza locale in Mozambico.
- Un'unica prenotazione MSC e un unico punto di contatto commerciale.
- Collegamenti dedicati tramite le rotte Nacala–Afungi–Nacala e Maputo–Afungi–Maputo.

Grazie all'inclusione del collegamento con la linea costiera nella prenotazione MSC, l'*Afungi Shuttle* aiuta i clienti a semplificare la pianificazione del carico e a migliorare il coordinamento delle spedizioni dirette ad Afungi (Fonte: *MSC Group*, 22 luglio 2026).

International: MSC launches Afungi Shuttle, opening a new gateway to northern Mozambique

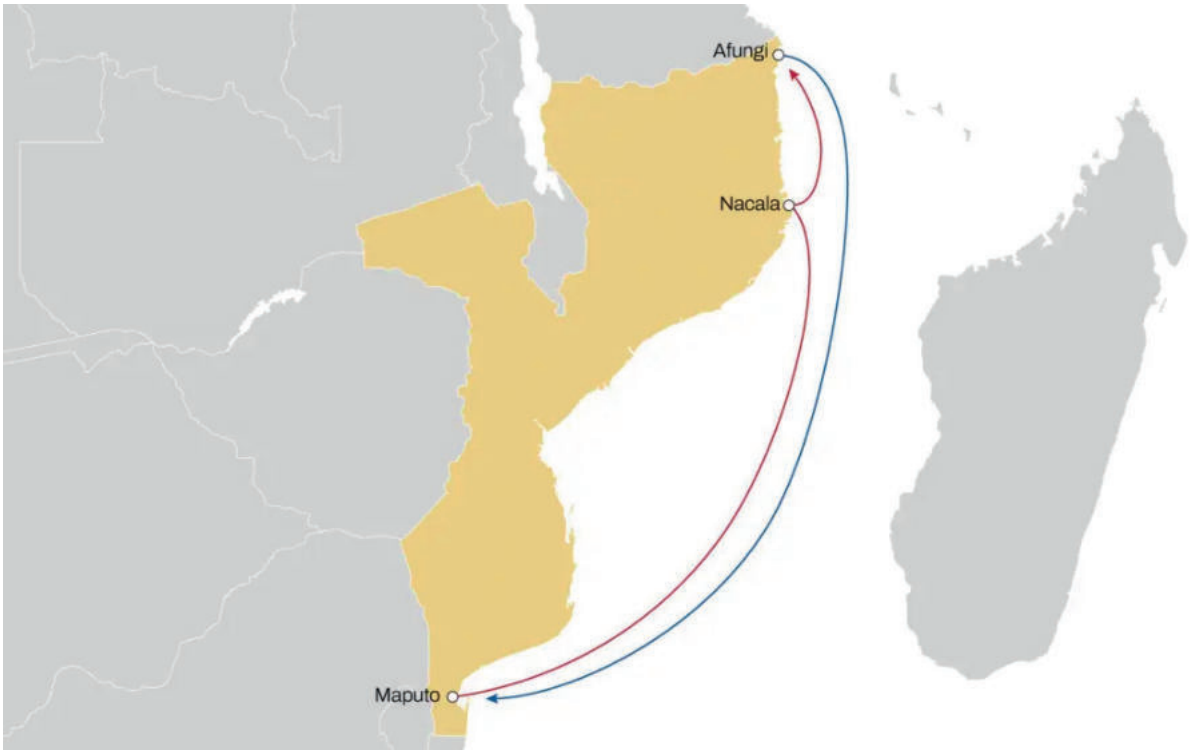
MSC is pleased to introduce the Afungi Shuttle, a new maritime service connecting Afungi, Mozambique, with dedicated feeder connections from Nacala and Maputo (Fig. 2).

Developed to support growing economic activity in northern Mozambique, the Afungi Shuttle will facilitate the transportation of construction materials, machinery, industrial equipment, spare parts and other cargo required for the development of the LNG project in Afungi.

The service offers:

- *Access to Afungi through connections from major trade routes serving Europe, the Mediterranean, America, Asia, the Middle East and Southern Africa, supported by MSC's broad origin coverage and strong local presence in Mozambique*
- *One MSC booking and a single commercial point of contact.*
- *Dedicated feeder connections via Nacala–Afungi–Nacala and Maputo–Afungi–Maputo rotations.*

By including the coastal feeder connection within the MSC booking, the Afungi Shuttle helps customers simplify cargo planning and improve coordi-



(Fonte - *Source:* Gruppo - MSC *MSC Group*)

Figura 2 – MSC lancia l'Afugi Shuttle, aprendo un nuovo corridoio verso il Mozambico settentrionale.
Figure 2 – MSC launches Afungi Shuttle, opening a new gateway to northern Mozambique.

nation for shipments moving to Afungi (From: MSC Group*, July 22nd, 2026).*

INDUSTRIA
MANUFACTURES

TANZANIA: *FS Engineering* propone il *know-how* italiano

FS Engineering rafforza il proprio percorso di crescita internazionale con la firma di un *Memorandum of Understanding* (MoU) con *Tanzania Railways Corporation* (TRC) e *ITS Engineering* finalizzato a esplorare opportunità di collaborazione per lo sviluppo di progetti infrastrutturali e di mobilità in Tanzania (Fig. 3).

L'intesa è stata sottoscritta nella sede del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti dall'AD e DG di *FS Engineering* D. Lo Bosco, dal DG delle Ferrovie della Tanzania M. Masanja Shiwa e dal Direttore Unico di *ITS Engineering* M. Titton. Presenti alla firma il Viceministro delle Infrastrutture e dei Trasporti E. Rixi e il Ministro dei Trasporti della Tanzania M. Mnyaa Mbarawa.

L'accordo definisce un quadro di cooperazione volto a favorire lo sviluppo di iniziative nei settori ferroviario, logistico e infrastrutturale, promuovendo il confronto tecnico e la condivisione di competenze in ambiti strategici in termini di sostenibilità, digitalizzazione, sicurezza e innovazione tecnologica. *FS Engineering* metterà a disposizione il proprio *know-how* multidisciplinare attraverso attività di consulenza specialistica, studi di fattibilità, progettazione e valutazioni tecnico-strategiche, contribuendo all'individuazione di soluzioni innovative e alla definizione di future progettualità di interesse comune.

Tra le eccellenze che *FS Engineering* metterà a disposizione figura la *Digital Control Room*, la cabina di regia sviluppata per il monitoraggio e la gestione integrata dei grandi progetti infrastrutturali. Basata su tecnologie avanzate, sistemi digitali, droni e strumenti di analisi dei dati, la piattaforma consente il controllo in tempo reale delle attività, migliorando sicurezza, efficienza operativa e capacità decisionale. Un modello che testimonia l'approccio innovativo della società di ingegneria del Gruppo FS e che favorirà il trasferimento di competenze e soluzioni tecnologiche.

"Con questo accordo confermiamo la volontà di *FS Engineering* di mettere a disposizione dei partner internazionali l'esperienza maturata nella progettazione digitale e "smart" e nella realizzazione di infrastrutture complesse con tecnologie avanzate, contribuendo allo sviluppo di sistemi di mobilità sempre più moderni, sostenibili e resilienti. La collaborazione con *Tanzania Railways Corporation* e ITS rappresenta un'opportunità per valorizzare l'eccellenza ingegneristica italiana e rafforzare il dialogo tra i nostri Paesi nell'ambito delle grandi sfide della mobilità del futuro", ha dichiarato l'AD e DG di *FS Engineering* D. Lo Bosco.

L'accordo si inserisce nel quadro delle iniziative di cooperazione pro-



(Fonte - *Source*: Gruppo FSI, *FS Engineering*)

Figura 3 - Intesa con Tanzania Railways Corporation e ITS Engineering per nuovi progetti ferroviari e infrastrutturali.
Figure 3 - Agreement with Tanzania Railways Corporation and ITS Engineering for new railway projects and infrastructure development.

mosse dal Sistema Paese nell'ambito del Piano Mattei, con l'obiettivo di sostenere lo sviluppo delle infrastrutture di trasporto e della logistica nei Paesi partner, favorendo crescita economica e integrazione territoriale.

La firma del Memorandum rappresenta l'avvio di un percorso di collaborazione che proseguirà attraverso un confronto operativo fra le parti finalizzato a individuare le priorità di intervento e le opportunità progettuali da sviluppare congiuntamente.

L'iniziativa conferma *FS Engineering* come partner di riferimento a livello internazionale per l'ingegneria, l'innovazione e la gestione di progetti infrastrutturali complessi, contribuendo parallelamente alla promozione delle eccellenze del Gruppo FS nei mercati strategici ad alto potenziale di crescita (Da: *Comunicato Stampa Gruppo FSI, FS Engineering*, 5 agosto 2026).

Tanzania: FS Engineering provides Italian know-how

FS Engineering is strengthening its international growth path through the signing of a Memorandum of Understanding (MoU) with Tanzania Railways Corporation (TRC) and ITS Engineering, aimed at exploring opportunities for collaboration in the development of infrastructure and mobility projects in Tanzania (Fig. 3).

The agreement was signed at the headquarters of the Italian Ministry of Infrastructure and Transport by D. Lo Bosco, CEO and GM of FS Engineering, M. Masanja Shiwa, Director General of Tanzania Railways Corporation, and M. Titton, Sole Director of ITS Engineering. The signing ceremony was attended by E. Rixi, Deputy Minister of Infrastructure and Transport of Italy, and M. Mnyaa Mbarawa, Tanzania's Minister of Transport.

The agreement establishes a framework for cooperation designed to foster the development of initiatives in the railway, logistics and infrastructure sectors, promoting technical dialogue and the exchange of expertise in strategic areas including sustainability, digitalisation, safety and technological innovation. FS Engineering will contribute its multidisciplinary know-how through specialised consultancy services, feasibility studies, design activities and technical-strategic assessments, supporting the identification of innovative solutions and the definition of future projects of mutual interest.

Among the areas of excellence that FS Engineering will make available is its Digital Control Room, the advanced command-and-control platform developed for the monitoring and integrated management of major infrastructure projects. Based on cutting-edge technologies, digital systems, drones and data analytics tools, the platform enables real-time project monitoring, enhancing safety, operational efficiency and decision-making capabilities. This model reflects the innovative approach of the FS Group's engineering company and will facilitate the transfer of expertise and technological solutions.

"Through this agreement, we reaffirm FS Engineering's commitment to making available to international partners the experience we have gained in digital and smart design, as well as in the delivery of complex infrastructure using advanced technologies, contributing to the development of increasingly modern, sustainable and resilient mobility systems. The collaboration with Tanzania Railways Corporation and ITS Engineering represents an opportunity to showcase Italian engineering excellence and strengthen the dialogue between our countries in addressing the major mobility challenges of the future," said D. Lo Bosco, CEO and GM of FS Engineering.

The agreement is part of the cooperation initiatives promoted by Italy's Country System within the framework of the Mattei Plan, with the aim of supporting the development of transport and logistics infrastructure in partner countries, fostering economic growth and territorial integration.

The signing of the Memorandum marks the beginning of a collaborative process that will continue through operational discussions among the parties to identify intervention priorities and project opportunities to be jointly developed.

The initiative further confirms FS Engineering as a leading international partner in engineering, innovation and the management of complex infrastructure projects, while promoting the excellence of the FS Group in strategic markets with significant growth potential (From: Gruppo FSI, *FS Engineering*, Press Release*, August 5th, 2026).*

Polonia: formitura di tre nuove TRAXX a Captrain Polska

Alstom ha consegnato tre locomotive multisistema Traxx Universal di terza generazione a Captrain Polska (Fig. 4), operatore ferroviario merci e membro del gruppo *Rail Logistics Europe*, che fornisce servizi di trasporto in tutta Europa. I veicoli sono omologati per l'uso in Polonia, Germania, Austria, Francia, Belgio e Lussemburgo. Le carrozzerie delle locomotive sono state prodotte nello stabilimento Alstom di Breslavia, in Polonia. Durante il periodo di garanzia, Alstom si occuperà anche della manutenzione e della revisione preventiva delle locomotive.

"Da oltre dieci anni, Captrain Polska noleggia locomotive Traxx nelle configurazioni MS2 e DC2. Tuttavia, queste locomotive Traxx Universal di terza generazione saranno le prime locomotive moderne acquistate dalla nostra azienda, in linea con la strategia di ampliamento della flotta con materiale rotabile di nostra proprietà. Il fatto che questa piattaforma sia omologata in tutti i paesi in cui operano le società Captrain del gruppo *Rail Logistics Europe* rappresenta un importante vantaggio competitivo sul corridoio Est-Ovest, identificato come priorità strategica del gruppo. A partire da settembre, le locomotive Traxx MS3 appena acquisite saranno operative in Polonia, Germania, Francia e Belgio su progetti coordinati da Captrain Polska. Il loro acquisto supporta quindi perfettamente sia la strategia di sviluppo locale dell'azienda sia la più ampia strategia del gruppo *Rail Logistics Europe*, volta a rafforzare la competitività sul mercato", ha dichiarato P. Szczapiński, CEO di Captrain Polska.

"Le locomotive Traxx Universal consegnate a Captrain Polska offrono una maggiore flessibilità per le operazioni di trasporto merci ferroviario internazionale, eliminando le barriere tecniche e la necessità di cambiare locomotiva alle frontiere. Grazie all'omologazione per l'esercizio in sei paesi europei, l'operatore si dota di una risorsa che aumenterà l'efficienza operativa e gli consentirà di rispondere in modo ancora più efficace alle aspettative dei clienti. Siamo orgogliosi che la competenza del nostro team polacco abbia contribuito al successo di questo progetto, con le carrozzerie delle locomotive prodotte a Breslavia. Questo è un ulteriore esempio di come il materiale rotabile moderno supporti lo sviluppo del trasporto ferroviario e contribuisca a costruire catene di approvvigionamento più sostenibili", ha dichiarato B. Rusinowicz, AD di Alstom Polonia.

Le locomotive multisistema Traxx di terza generazione possono raggiungere velocità fino a 160 km/h e sono in grado di trainare treni più pesanti rispetto ad altre locomotive della stessa classe. Il loro design si basa su una collaudata piattaforma modulare utilizzata sia nel trasporto passeggeri che merci, per operazioni nazionali e transfrontaliere, ed è disponibile nelle versioni AC, DC e multisistema.

Le locomotive acquistate da Captrain Polska sono equipaggiate con il sistema di segnalamento Onvia di Alstom, una soluzione ETCS di bordo che consente operazioni transfronta-



(Fonte - *Source*: Alstom)

Figura 4 – Alstom cosegna tre nuove locomotive della serie TRAXX a Captrain Polska.
Figure 4 – Alstom delivers three Traxx Universal locomotives to Captrain Polska.

liere senza interruzioni e la conformità agli standard di segnalamento europei.

Le locomotive Traxx Universal sono state omologate in 20 paesi, dove percorrono complessivamente oltre 300 milioni di km all'anno. Dal 2000, Alstom ha prodotto oltre 6.000 locomotive, entrate in servizio e utilizzate in molti paesi europei, nonché in Asia, Nord America e Africa. Alstom è leader nella fornitura di servizi per locomotive, con oltre 2.450 locomotive in manutenzione in tutto il mondo.

Alstom vanta una competenza di primo piano negli standard di segnalamento per le linee principali, avendo realizzato oltre 300 progetti ETCS in tutto il mondo utilizzando la sua collaudata tecnologia Onvia. Le soluzioni di segnalamento di Alstom includono oltre 25.000 unità di bordo e 23.000 km di linee ferroviarie equipaggiate (Da: *Comunicato Stampa Alstom*, 26 agosto 2026).

Poland: three new Traxx Universal locomotives to Captrain Polska

Alstom has delivered three third-generation Traxx Universal multi-system locomotives to Captrain Polska (Fig. 4), a rail freight operator and member of the Rail Logistics Europe group providing transport services across Europe. The vehicles are approved for use in Poland, Germany, Austria, France, Belgium and Luxembourg. The locomotives' car-body shells were manufactured at Alstom's site in Wrocław, Poland. During the warranty period, Alstom will also be responsible for the maintenance and preventive servicing of the locomotives.

"For more than ten years, Captrain Polska has leased Traxx locomotives in MS2 and DC2 configurations. However, these third-generation Traxx Universal locomotives will be the first modern locomotives purchased by our company, in line with the strategy of complementing the fleet with our own rolling stock. The fact that this platform is approved in all countries where Captrain companies within the Rail Logistics Europe group operate represents an important competitive advantage on the East-West corridor, which has been identified as a strategic priority within the group. Starting in September, the newly acquired Traxx MS3 locomotives will be seen operating in Poland, Germany, France and Belgium on projects coordinated by Captrain Polska. Their acquisition therefore perfectly supports both the company's local development strategy and the wider Rail Logistics Europe group strategy aimed at strengthening market competitiveness," said P. Szczapiński, CEO of Captrain Polska.

"The Traxx Universal locomotives delivered to Captrain Polska provide above greater flexibility for international rail freight operations, eliminating technical barriers and the need to change locomotives at borders. Thanks to their approval for operation in six European countries, the operator gains an asset that will increase operational efficiency and enable it to respond even more effectively to customer expectations. We are proud that the expertise of our Polish team contributed to the successful delivery of this project, with the locomotives' car-body shells manufactured in Wrocław. This is yet another example of how modern rolling stock supports the development of rail transport and helps build more sustainable supply chains," said B. Rusinowicz, Managing Director of Alstom Poland.

Third-generation Traxx multi-system locomotives can reach speeds of up to 160 km/h per hour and can handle heavier trains compared to other locomotives in the same class. Their design is based on a proven modular platform used in both passenger and freight transport, for domestic and cross-border operations, and available in AC, DC and multi-system versions.

The locomotives purchased by Captrain Polska are equipped with Alstom's Onvia signalling system, an onboard ETCS solution that enables seamless cross-border operations and compliance with European signalling standards.

The Traxx Universal locomotives have been approved in 20 countries, where they cover a total annual distance of more than 300 million km. Since 2000, Alstom has produced over 6,000 locomotives, that have started operation and have been used in many European countries, as well as in Asia, North America and Africa. Alstom is the leading locomotive services provider, maintaining more than 2,450 locomotives around the world.

Alstom has leading expertise in mainline signalling standards, having delivered more than 300 ETCS projects worldwide using its proven Onvia technology. Alstom's signalling solutions include more than 25,000 onboard units and 23,000 km of equipped railway lines (From: Alstom Press Release*, August 26th, 2026).*

NUOVA EDIZIONE DEL CIFI

La prima vera opera completa sull'edilizia delle Ferrovie dello Stato

Massimo Gerlini, Paolo Mori, Raffaello Paiella

ARCHITETTURA FERROVIARIA

Progetti di fabbricati civili e industriali in Italia ...dall'Ottocento all'Alta Velocità

Il CIFI presenta questa nuova opera editoriale, unica nel suo genere. Questo testo, che segue a distanza di pochi anni il volume "Architettura e progetti per le stazioni italiane dall'Ottocento …all'Alta Velocità." degli stessi autori, è ora rivolta al repertorio complessivo dell'edilizia civile e industriale delle Ferrovie dello Stato Italiane.
Oltre agli immancabili esempi di stazioni, vengono illustrati, cronologicamente (dal 1839 ai giorni nostri), complessi edilizi con diverse destinazioni d'uso, molti dei quali di interesse architettonico o funzionale e, nei casi più significativi, di "particolare interesse culturale".
Scopo della pubblicazione (edita in due volumi vista l'entità degli elementi raccolti), articolata in cinque capitoli e 30 schede di approfondimento, è catalogare e raccogliere in un'unica opera, attraverso la visuale del "progetto", cenni storici, caratteri funzionali, morfologici e tipologici nonché criteri di progettazione relativi ai periodi di realizzazione dei complessi edilizi rimandando alle pubblicazioni specialistiche esistenti per i necessari approfondimenti.

Nel primo volume, il Capitolo 1 è dedicato ai fabbricati di stazione -evoluzione e sviluppo di edifici e complessi edilizi localizzati nell'ambito delle stazioni e lungo le linee. Vengono definiti e classificati gli "Impianti ferroviari" comprese le stazioni, con considerazioni sugli aspetti tipologici e urbanistici. Vengono analizzati i "fabbricati" secondo le diverse funzioni d'uso originarie e attuali, tra cui: fabbricati viaggiatori e strutture connesse, fabbricati tecnologici e di servizio, cabine apparati.
Il Capitolo 2 è dedicato alle opere complementari e decorative nelle stazioni - elementi di arredo, design, finitura, segnaletica informativa e opere d'arte nelle stazioni. Si riportano qui anche note relative alle vicende del design in Italia tra gli anni '20 e '60.
Conclude il primo volume il Capitolo 3, dedicato ai fabbricati industriali - evoluzione e sviluppo di edifici e complessi edilizi annessi alle stazioni o ubicati in altri Impianti. Vengono esaminati scali e magazzini merci, terminali intermodali, depositi e officine per il materiale rotabile e per la manutenzione dell'Infrastruttura, fabbricati di sottostazioni elettriche ed altri fabbricati con caratteristiche tipologiche riconducibili all'edilizia industriale.

Nel secondo volume, al Capitolo 4, dedicato ai fabbricati civili - evoluzione e sviluppo di edifici e complessi edilizi con varie utilizzazioni in ambito ferroviario, vengono prese in esame le strutture edilizie di tipo civile, generalmente ubicate esternamente rispetto agli Impianti ferroviari e inserite in contesti urbani, secondo le diverse funzioni d'uso tradizionali e attuali, tra cui: sedi compartimentali e sedi centrali (edifici storici), uffici, fabbricati per il personale, strutture sanitarie, ferrotel, scuole professionali, caserme polizia ferroviaria ed altre funzioni.
Viene dato ampio spazio, come testimonianza storica, al vastissimo settore, un tempo considerato "fiore all'occhiello delle FS", costituito dall'edilizia socio – assistenziale per il personale ed i propri familiari, tra cui: case per ferrovieri, colonie, collegi e sedi per il dopolavoro.
Il Capitolo 5 è dedicato al "riuso" dei fabbricati ferroviari - esempi di trasformazione per nuovi usi di edifici e complessi edilizi civili e industriali) di alcuni complessi edilizi, non più strettamente funzionali all'esercizio ferroviario, tra cui gli Impianti utilizzati della Fondazione FS Italiane, come le sedi museali e i depositi officina per rotabili storici.



Viene riportata, a conclusione dell'opera, la bibliografia generale relativa agli argomenti trattati, per altro già citata in modo specifico, insieme alle numerose fonti di riferimento consultate, a chiusura dei singoli paragrafi.

Anche in questa occasione, come per il precedente volume, gli autori si sono posti l'obiettivo di raccontarne l'evoluzione che attraversa quasi due secoli di storia. Ne è risultata un'opera ampia e articolata (circa 900 pagine con circa 3000 illustrazioni) considerata l'eterogeneità degli argomenti trattati. Filo conduttore della ricerca è stato indagare l'aspetto progettuale, illustrandone, ove rintracciabili, le caratteristiche metodologiche e i dettagli. Particolare attenzione è stata posta dagli autori all'attività di progettazione interna alla Ferrovie, ed in particolare ad opera dell'Ufficio Architettura tra gli anni '20 e gli anni '70. Attività rivolta oltre che alla progettazione di specifici edifici, strutture connesse ed arredi, anche alla tipizzazione di alcuni di questi, in quanto funzionalmente ripetibili in diverse situazioni.

Per ciascuna di queste architetture selezionate gli autori hanno prodotto una documentazione, spesso inedita, resa possibile oltre che dalla loro specifica competenza di architetti che hanno operato a lungo nei settori tecnici e di architettura delle Ferrovie dello Stato, da un lungo e paziente lavoro di ricerca svolto anche come collaboratori nella cura e nell'organizzazione dell'Archivio Architettura che hanno contribuito a costituire all'interno della Fondazione FS Italiane.

L'augurio è che questa "ricerca" che raccoglie svariati argomenti e numerosi esempi relativi all'edilizia delle Ferrovie dello Stato difficilmente reperibili in una unica catalogazione, sia accolta con grande interesse da una estesa platea di lettori, così come è già avvenuto con il successo del precedente libro. Rivolta quindi a cultori della materia, ricercatori, studenti, professionisti, facoltà universitarie di architettura ed ingegneria, appassionati del mondo ferroviario, ma anche, come strumento base di formazione.

Cofanetto contenente 2 volumi
Formato 21x29,7 cm, 900 pagine, oltre 2700 figure in bianco e nero e a colori, 42 tabelle.
Prezzo di copertina Euro 120,00 (Sconto del 20% ai Soci CIFI).

IF Biblio

Arbra Bardhi, Massimiliano Bruner, Ivan Cufari

INDICE PER ARGOMENTO

1 – CORPO STRADALE, GALLERIE, PONTI, OPERE CIVILI
2 – ARMAMENTO E SUOI COMPONENTI
3 – MANUTENZIONE E CONTROLLO DELLA VIA

4 – VETTURE
5 – CARRI
6 – VEICOLI SPECIALI
7 – COMPONENTI DEI ROTABILI

8 – LOCOMOTIVE ELETTRICHE
9 – ELETTROTRENI DI LINEA
10 – ELETTROTRENI SUBURBANI E METRO
11 – AZIONAMENTI ELETTRICI E MOTORI DI TRAZIONE
12 – CAPTAZIONE DELLA CORRENTE E PANTOGRAFI
13 – TRENI, AUTOMOTRICI E LOCOMOTIVE DIESEL
14 – TRASMISSIONI MECCANICHE E IDRAULICHE
15 – DINAMICA, STABILITÀ DI MARCIA, PRESTAZIONI, SPERIMENTAZIONE

16 – MANUTENZIONE, AFFIDABILITÀ E GESTIONE DEL MATERIALE ROTABILE
17 – OFFICINE E DEPOSITI, IMPIANTI SPECIALI DEL MATERIALE ROTABILE

18 – IMPIANTI DI SEGNALAMENTO E CONTROLLO DELLA CIRCOLAZIONE - COMPONENTI
19 – SICUREZZA DELL'ESERCIZIO FERROVIARIO
20 – CIRCOLAZIONE DEI TRENI

21 – IMPIANTI DI STAZIONE, NODALI E LORO ESERCIZIO
22 – FABBRICATI VIAGGIATORI
23 – IMPIANTI PER SERVIZIO MERCI E LORO ESERCIZIO

24 – IMPIANTI DI TRAZIONE ELETTRICA

25 – METROPOLITANE, SUBURBANE
26 – TRAM E TRAMVIE

27 – POLITICA ED ECONOMIA DEI TRASPORTI, TARIFFE
28 – FERROVIE ITALIANE ED ESTERE
29 – TRASPORTI NON CONVENZIONALI
30 – TRASPORTI MERCI
31 – TRASPORTO VIAGGIATORI
32 – TRASPORTO LOCALE
33 – PERSONALE

34 – FRENI E FRENATURA
35 – TELECOMUNICAZIONI
36 – PROTEZIONE DELL'AMBIENTE
37 – CONVEGNI E CONGRESSI
38 – CIFI
39 – INCIDENTI FERROVIARI
40 – STORIA DELLE FERROVIE
41 – VARIE

I lettori che desiderano fotocopie delle pubblicazioni citate in questa rubrica, e per le quali è autorizzata la riproduzione, possono farne richiesta al *CIFI* - Via Giolitti, 48 - 00185 ROMA. Prezzo forfettario delle riproduzioni: - € 6,00 fino a quattro facciate e € 0,50 per facciata in più, oltre le spese postali ed IVA. Spedizione in porto assegnato. Si eseguono ricerche bibliografiche su argomenti a richiesta, al prezzo di € 6,00 per un articolo segnalato e € 2,00 per ogni copia in più dello stesso articolo, oltre le spese postali ed IVA.

Tutte le riviste citate in questa rubrica sono consultabili presso la Biblioteca del CIFI - Via Giolitti, 48 - 00185 ROMA - Tel. 0647306454; FS (970) 66454 – Segreteria: Tel. 064882129.

CONDIZIONI DI ABBONAMENTO A IF - INGEGNERIA FERROVIARIA ANNO 2027

(Gli Abbonati possono decidere di ricevere *IF - Ingegneria Ferroviaria* online)

Prezzi IVA inclusa [€/anno]	**Cartaceo**	**Online**
- ***Ordinari***	60,00	50,00
- Per il personale ***non ingegnere*** del Ministero delle Infrastrutture, e dei Trasporti, delle Ferrovie e Tranvie in concessione e Pensionati FS	45,00	35,00
- ***Studenti*** (allegare certificato di frequenza Università)(*) – (copia rivista solo online)		25,00
- ***Estero***	180,00	50,00

(*) Gli Studenti, dopo i 3 anni di iscrizione gratuita come nuovi associati, fino al compimento del 28° anno di età, possono iscriversi al CIFI quali Soci Juniores con una quota annua di € 25,00 che include l'invio online delle Riviste "IF – Ingegneria Ferroviaria" e "la Tecnica Professionale".

I pagamenti possono essere effettuati (specificando la causale del versamento) tramite:
- CCP **31569007** intestato al CIFI – Via G. Giolitti, 46 – 00185 Roma;
- bonifico bancario sul c/c n. 000101180047 – Unicredit Roma, Ag. Roma Orlando – Via Vittorio Emanuele Orlando, 70 – 00185 Roma. IBAN IT29U0200805203000101180047 - BIC: UNCRITM1704;
- pagamento online, collegandosi al sito www.cifi.it;
- in contanti o tramite Carta Bancomat.

Il rinnovo degli abbonamenti dovrà essere effettuato entro e non oltre il 31 marzo dell'annata richiesta. Se entro suddetta data non sarà pervenuto l'ordine di rinnovo, l'abbonamento verrà sospeso.
Per gli abbonamenti sottoscritti dopo tale data, le spese postali per la spedizione dei numeri arretrati saranno a carico del richiedente.

Per ulteriori informazioni: Redazione Ingegneria Ferroviaria – tel. 06.4827116 - E mail: redazioneif@cifi.it

---

RICHIESTA FASCICOLI ARRETRATI ED ESTRATTI

Prezzi IVA inclusa

Un fascicolo **€ 8,00;** doppio o speciale **€ 16,00;** un fascicolo arretrato: *Italia* **€ 16,00;** *Estero* **€ 20,00.**
Estratto di un singolo articolo apparso su un numero arretrato **€ 9,50** compreso di spedizione; formato cartaceo compreso di spedizione; **€ 7,50** formato PDF.
I versamenti, anticipati, potranno essere eseguiti nelle medesime modalità previste per gli abbonamenti.

TERMS OF SUBSCRIPTION TO IF - INGEGNERIA FERROVIARIA YEAR 2027

(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.

352 Valutazione delle prestazioni acustiche delle pareti di confine ferroviarie utilizzando un approccio di simulazione basato sulla dinamica computazionale dei fluidi

(Sudhir Kumar - Chowdary)

Acoustic performance evaluation of railway boundary walls using a computational fuid dynamics-based simulation approach

Environ Sci Pollut Res 31, 24344–24359, Marzo 2024, pagg.17, figg.13. Biblio 43 Titoli.

[...] Questo studio si propone di valutare l'efficacia di tali muri di confine per la riduzione del rumore e propone un'alternativa migliore attraverso simulazioni di fluidodinamica computazionale (CFD). Sono state simulate e convalidate diverse barriere antirumore con geometria, forma e materiali superficiali diversi con le condizioni di campo basate su un muro rettangolare di altezza pari a 2,75 m. L'attenuazione del rumore è stata valutata misurando gli spettri del rumore ferroviario in diverse posizioni, tra cui 0,5 m davanti e dietro la barriera e a la facciata dell'area residenziale. La perdita di inserzione basata sulle misurazioni sul campo per una barriera rettangolare di altezza 2,75 m è stata osservata pari a 5,2 dBA. I risultati della simulazione hanno indicato una correlazione positiva tra l'altezza della barriera e la perdita di inserzione, con un'attenuazione massima di 17 dBA ottenuta con una barriera di altezza pari a 6 m [...].

[...] This study aims to evaluate the effectiveness of such a boundary wall for reducing noise and proposes an improved alternative through computational fuid dynamics (CFD) simulations. Various noise barriers with diferent geometry, shape, and surface materials were simulated and validated with the feld conditions based on a rectangular wall of height 2.75 m. Noise attenuation was evaluated by measuring railway noise spectra at different positions, including 0.5 m in front and behind the barrier and at the facade of the residential area. The insertion loss based on feld measurements for a rectangular barrier of height 2.75 m was observed to be 5.2 dBA. The simulation results indicated a positive correlation between barrier height and insertion loss, with a maximum attenuation of 17 dBA achieved with a barrier of height 6 m [...].

40 Valutare l'impatto del rumore ferroviario sulla salute umana e sulla vita quotidiana: un approccio basato su un modello di equazione strutturale per la pianificazione dei trasporti e dell'ambiente

(Sudhir Kumar - Kadali – Chowdary)

Assessing the impact of railway noise on human health and daily life: a structural equation model approach for transportation and environmental planning

Environmental Monitoring and Assessment 197, Dicembre 2024, pagg.23, figg.9. Biblio 49 Titoli.

[...] Questo studio si concentra sul monitoraggio ambientale e sulla valutazione dell'inquinamento acustico ferroviario nelle aree urbane e sul suo impatto sulla salute umana e sulle attività quotidiane. I livelli di rumore sono stati quantificati in diverse zone residenziali utilizzando fonometri di precisione e un'indagine dettagliata sulla percezione umana è stata condotta per valutare la relazione tra esposizione al rumore, fastidio e disturbi della salute. Utilizzando il modello di equazione strutturale (SEM), lo studio integra i dati di monitoraggio ambientale con quelli epidemiologici e sanitari per valutare il rischio di inquinamento acustico per gli individui che risiedono vicino alle linee ferroviarie. I risultati indicano che il rumore ferroviario supera spesso i limiti normativi, con i treni passeggeri che contribuiscono in modo più significativo all'inquinamento rispetto ai treni merci. I risultati rivelano inoltre che l'esposizione al rumore è un fattore predittivo significativo di fastidio e di effetti sulla salute, con la vicinanza alla linea ferroviaria come fattore critico [...].

[...] During the implementation process of the CNOSSOS-EU noise model, many questions has been raised. There are inconsistencies in the directive, but most of the questions are related to acquisition of initial values and their validity. CNOSSOS-EU default rolling and propulsion noise factors are not usable in Nordic conditions and the national factors had to be defined. The Nordic A and B coefficients for rolling and propulsion noise are based on measurements in Sweden and Finland and already implemented in Nord2000 noise model. Also, Nord2000 road surface correction can be converted to CNOSSOS. CNOSSOS railway model implementation is more challenging and lots of work must be done before Finland has reasonable values for CNOSSOS source model. Without accurate and validated national source values only propagation was calculated with CNOSSOS and sound power levels had to be defined with current Nordic model [...].

Errata Corrige

Si informano i gentili lettori che nell'articolo: **"Giornata del CIFI 2026"**, pubblicato nella rubrica "Vita del CIFI", numero 7-8, Luglio-Agosto 2026, Ingegneria Ferroviaria, il nome di uno degli autori premiati non è quello riportato a pagina 583 ma il seguente:

- Adriano Gurrieri

◊

IF Editorial Board will inform our readers that in the paper ***"Giornata del CIFI 2026"****, published on "Vita del CIFI" Section, July-August 2026, 7/8th issue of IF - Ingegneria Ferroviaria, the name of one of the authors is not the one suggested at page 583 but the following:*

- Adriano Gurrieri

IF - Ingegneria Ferroviaria
La redazione
Editorial Board

COLLEGIO INGEGNERI
FERROVIARI ITALIANI

La rivoluzione con il ferro

Il tesoro nascosto per la rigenerazione delle città italiane

Claudio Cipollini - Giovanni Costa



Intero € 40,00
Sconto Soci CIFI 20%

PER INFO E PRENOTAZIONI

info@cifi.it
+39 - 064742986 - 064882129

COLLEGIO INGEGNERI
FERROVIARI ITALIANI

COLLEGIO INGEGNERI
FERROVIARI ITALIANI



Gian Piero Pavirani

LA MANUTENZIONE DELLA INFRASTRUTTURA



COSTO DELLA PUBBLICAZIONE

Intero € 35,00
Soci CIFI € 28,00

PER INFO E PRENOTAZIONI

info@cifi.it
+39 - 064742986 - 064882129

COLLEGIO INGEGNERI
FERROVIARI ITALIANI

Elenco di tutte le Pubblicazioni CIFI

1 – TESTI SPECIFICI DI CULTURA PROFESSIONALE

1.1 – Cultura Professionale - Trazione Ferroviaria

1.1.6 E. Principe – "Impianti di riscaldamento ad aria soffiata" (Vol. 1° e 2°) ..... € 20,00

1.1.10 A. Matricardi - A. Tagliaferri – "Nozioni sul freno ferroviario" ..... € 15,00

1.1.11 V. Malara – "Apparecchiature di sicurezza ..... per il personale di condotta" ..... € 30,00

1.1.12 G. Piro – "Cenni sui sistemi di trasporto terrestri a levitazione magnetica" ..... € 15,00

1.2 – Cultura Professionale - Armamento ferroviario

1.2.3 L. Corvino – "Riparazione delle rotaie ed apparecchi del binario mediante la saldatura elettrica ad arco" (Vol. 6°) ..... € 15,00

1.2.4 F. Schina "La Costruzione del Binario" ..... € 30,00

1.2.5 F. Natoni "Gli scambi ferroviari" ..... € 30,00

1.3 – Cultura Professionale - Impianti Elettrici Ferroviari

1.3.17 U. Zeppa – "Impianti di Sicurezza - Gestione guasti e lavori di manutenzione" ..... € 30,00

1.3.18 N. Tilli – C. Spalvieri – "Compendio di Trazione Elettrica Ferroviaria" ..... € 60,00

2 – TESTI GENERALI DI FORMAZIONE ED AGGIORNAMENTO

2.2 L. Mayer – "Impianti ferroviari - Tecnica ed Esercizio" (Nuova edizione a cura di P.L. Guida-E. Milizia) ..... € 50,00

2.5 G. Bono - C. Focacci - S. Lanni – "La Sovrastruttura Ferroviaria"..... € 50,00

2.7 L. Franceschini - A. Garofalo - R. Marini - V. Rizzo – "Elementi generali dell'esercizio ferroviario" 2a Edizione ..... € 40,00

2.8 P.L. Guida - E. Milizia – "Dizionario Ferroviario - Movimento, Circolazione, Impianti di Segnalamento e Sicurezza" ..... € 35,00

2.9 P. De Palatis – "L'avvenire della sicurezza - Esperienze e prospettive" ..... € 20,00

2.10 Autori Vari – "Principi ed applicazioni pratiche di Energy Management" ..... € 25,00

2.12 R. Panagin – "Costruzione del veicolo ferroviario" .... € 40,00

2.13 F. Senesi - E. Marzilli – "Sistema ETCS Sviluppo e messa in esercizio in Italia"..... € 40,00

2.14 Autori Vari – "Storia e Tecnica Ferroviaria - 100 anni di Ferrovie dello Stato" ..... € 50,00

2.15 F. Senesi - E. Marzilli – "ETCS, Development and implementation in Italy (English ed.)"..... € 60,00

2.16 E. Principe – "Il veicolo ferroviario - carrozze e carri" ..... € 20,00

2.18 B. Cirillo - L.C. Comastri - P.L. Guida - A. Ventimiglia – "L'Alta Velocità Ferroviaria" ..... € 40,00

2.19 E. Principe – "Il veicolo ferroviario - carri" ..... € 30,00

2.20 L. Luccini – "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. Occhiena "Le Protezioni da Doppi Contatti Ordinati e Separati Con Verifica Dimensionale dei Parametri di Linea" Formato Digitale PDF ..... € 34,00

2.38 M. Gerlini – P. Mori – R. Paiella "Architettura Ferroviaria" ..... € 120,00

2.39 C. Cipollini – G. Costa – "La Rivoluzione con il Ferro" ..... € 40,00

3 – TESTI DI CARATTERE STORICO

3.1. G. Pavone – "Riccardo Bianchi: una vita per le Ferrovie Italiane" ..... € 15,00

3.3. G. Palazzolo (in Cd-Rom) – "Cento Anni per la Sicilia" Omaggio per residenti Regione Sicilia .... € 6,00

3.5. Autori Vari – La Museografia Ferroviaria e il museo di Pietrarsa ..... € 12,00

3.6. Ristampa del volume a cura del CIFI "La Stazione Centrale di Milano" ed. 1931 ..... € 100,00

3.7. V. Guadagno – "Economia e Ferrovie Preunitarie fra "Ante Storia" e primo periodo (1839-1848)" ..... € 50,00

4 – ATTI CONVEGNI

4.4. ROMA – "Next Station", bilingue italo inglese (3-4 febbraio 2005) ..... € 40,00

4.8. ROMA – "Stazioni ferroviarie italiane - qualità, funzionalità" ..... € 40,00

4.9. BARI – DVD "Stato dell'arte e nuove progettualità per la rete ferroviaria pugliese" (6 giugno 2008) Omaggio per residenti Regione Puglia ..... € 15,00

4.10. BARI – DVD Convegno "Il sistema integrato dei trasporti nell'area del Mediterraneo" (18 giugno 2010) Omaggio per residenti Regione Puglia ..... € 25,00

4.11 Una Stagione Straordinaria – Atti Convegno Milano del 20 aprile 2021..... € 25,00

6 – TESTI ALTRI EDITORI

6.5. E. Principe (ed. Veneta) – "Treni italiani con Carrozze Media Distanza" ..... € 25,00

6.6. E. Principe (ed. Veneta) – "Treni italiani con carrozze a due piani" ..... € 28,00

6.7. E. Principe (ed. La Serenissima) – "Treni italiani Eurostar City Italia" ..... € 35,00

6.8. E. Principe – "Treni italiani - ETR 500 Frecciarossa" ..... € 25,00

6.9. V. Finzi (ed. Coedit) – "I miei 50 anni in ferrovia". € 20,00

6.10. E. Principe (ed. Veneta) – "Le carrozze dei nuovi treni di Trenitalia" ..... € 24,00

6.11. R. Marini (ed. Plasser & Theurer - Plasser Italiana) "Treni nel Mondo" ..... € 30,00

6.12 A. Bussi (ed. Luigi Pellegrini Editore) "Due Vite, Tante Vite (Storie di ferrovia e resistenza)" ..... € 16,00

6.61. M. Morziello "Sistema Ferroviario Italiano Alta Velocità" ..... € 34,00

6.64. G. Magenta (ed. Gaspari) – "Un Mondo su rotaia" ..... € 29,00

6.65. A. Carpignano – "La Locomotiva a vapore (Viaggio tra tecnica e condotta di un Mezzo di ieri)" 2° Edizione - L'Artistica Editrice Savigliano (CN) ..... € 70,00

6.66. P. Messina – "Ferrovie e Filobus nella Pubblicità" ... € 26,00

6.67. P. Messina – "Per Mare intorno all'Elba e verso il Continente – Traghetti, imbarcazioni e navi da crociera" ..... € 23,00

6.68. P. Messina – "I Trasporti all'Elba" ..... € 28,00

N.B.: I prezzi indicati sono comprensivi dell'I.V.A. Gli acquisti delle pubblicazioni, con pagamento anticipato, possono essere effettuati mediante versamento sul conto corrente postale 31569007 intestato al Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani, Via Giolitti, 46 – 00185 Roma o tramite bonifico bancario: UNICREDIT – AGENZIA ROMA ORLANDO – VIA V. EMANUELE, 70 – 00185 ROMA – IBAN: IT29U0200805203000101180047. Nella causale del versamento si prega indicare: "Acquisto pubblicazioni". La ricevuta del versamento dovrà essere inviata unitamente al modulo sottoindicato. Per spedizioni l'importo del versamento dovrà essere aumentato del 10% per spese postali.

Sconto del 20% per i soci CIFI (individuali, collettivi e loro dipendenti)

Sconto del 15% per gli studenti universitari - Sconto alle librerie: 25%

Sconto del 10% per gli abbonati alle riviste La Tecnica Professionale e Ingegneria Ferroviaria

(Solo tramite bonifico bancario o conto corrente postale; per informazioni contattare info@cifi.it)

Modulo per la richiesta dei volumi

I volumi possono essere acquistati on line tramite il sito www.cifi.it compilando e inviando per posta ordinaria o via e-mail il modulo allegato unitamente alla ricevuta di versamento.

Richiedente: (Cognome e Nome).....

Indirizzo: .....Telefono: .....

P. I.V.A./C.F.: ..... (l'inserimento di Partita IVA o C. Fiscale è obbligatorio)

Conferma con il presente l'ordine d'acquisto per:

n..... (in lettere.....) copie del volume: .....

n..... (in lettere.....) copie del volume: .....

n..... (in lettere.....) copie del volume: .....

La consegna dovrà avvenire al seguente indirizzo:

.....

Data ..... **Si allega la ricevuta del versamento**

Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (P.I. 00929941003)

Via Giolitti, 46 - 00185 Roma - Tel. 06/4882129-06/4742986 - Fs 970/66825 - Fax 06/4742987 e-mail: info@cifi.it

FORNITORI DI PRODOTTI E SERVIZI

Costruttori di materiale rotabile ed impianti ferroviari – Società di progettazione – Produttori di ricambi e prodotti vari per le ferrovie – Imprese appaltatrici di lavori di ogni genere per ferrovie nazionali, regionali, metropolitane e di trasporto pubblico urbano.

- **A** Lavori ferroviari, edili e stradali – Impianti di riscaldamento e sanitari – Lavori vari
- **B** Studi e indagini geologiche-palificazioni
- **C** Attrezzature e materiali da costruzione
- **D** Meccanica, 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 POGLIANO M.SE (MI), T. 02 93 54 01 95, info@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 protezio-

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: info@canavera.com - Sito web: www.canavera.com - Stampaggio a caldo particolari in acciaio fino a 200 kg - Lavorazioni meccaniche - Taglio laser, piega, saldatura e assemblaggio in acciaio e alluminio di serbatoi, componenti e strutture per carri, carrozze, tram e metropolitane.

CINEL OFFICINE MECCANICHE S.p.A. Via Sile, 29 – 31033 CASTELFRANCO VENETO (TV) – Tel. 0423/490471 – Fax 0423/498622 – E–mail: info@cinelspa.it – www.cinelspa.it – Stabilimenti: Via Sile, 29 – 31033 Castelfranco Veneto (TV) – Via Scalo Merci, 21 – 31030 Castello di Godego (TV) – Forniture per i settori ferroviario e tranviario: scambi ferroviari e tranviari, Kit cuscinetti elastici e autolubrificanti, Kit piastre per controrotaie 33C1, giunti isolanti incollati, piastre, piastrine, ganasce di giunzione, blocchi, caviglie, chiavarde, casse di manovra per deviatoio e accessori, tiranterie, zatteroni, traverse cave, fermascambi, immobilizzatori, dispositivi di bloccaggio, apparecchiature per segnalamento e sicurezza, passaggi a livello, materiali per rotabili.

G.C.F.E. S.p.A. – Via F. Fellini, 4 – 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) – Tel. 02/89536.100 – Fax 02/89536536 – www.colasrail.com – Impianti fissi di trazione elettrica chiavi in mano per trasporti ferroviari, metropolitane e tranvie – Studi di fattibilità, progettazione e realizzazione di linee di contatto, ferroviarie ed urbane – Sottostazioni elettriche per alimentazione in c.c. e c.a. – Linee primarie; impianti di telecomando – Impianti luce e forza motrice.

DOT SYSTEM S.r.l. – Via Marco Biagi, 34 – 23871 LOMAGNA (LC) – Tel. +39/039/92259202 – Fax +39/039/92259290 – E–mail: info@dotsystem.it – www.dotsystem.it – Monitor grafici LCD di banco per locomotive e carrozze pilota – Terminali grafici LCD per logica di treno e gestione dati diagnostici – Schede di comunicazione per Bus MVB classe 1, 2, 3 e 4 – Gateway MVB-Ethernet, MVB-CAN, MVB-RS485, MVB-Wireless – Moduli di ingresso/uscita digitali ed analogici per Bus MVB, CAN, ecc. – Cartelli indicatori grafici e tecnologia LED per interni ed esterni.

EBRebosio S.r.l. – Via Mercanti, 17 – 25018 MONTICHIARI (BS) – Tel. 030/9650304 – Fax 030/962349 – E–mail: info.eb@gruppo-bonomi.com – www.gruppo-bonomi.com – Progettazione linee ferroviarie e tranviarie – Produzione di componenti ed accessori per i settori trazione elettrica e segnalamento – Isolatori in silicone d'ormeggio, di sospensione, di sezione – Sospensioni per linee tradizionali ed Alta Velocità – Isolatori in resina epossidica per interno, scaricatori, sezionatori, interruttori (prodotti per linee da 1,5 kV a 500 kV).

ESIM S.r.l. – Via Degli Ebanisti, 1 – 70123 BARI – Tel. 080/5328425 – Fax +39/080/5368733 – E–mail: info@esimgroup.com – www.esimgroup.com – ***Sede di Roma:* Via Sallustiana, 1/A** – Tel. 06/4819671 – Fax 06/48977008 – Progettazione e messa in opera di impianti elettrici, di telecomunicazione, di segnalamento e di trazione elettrica – Realizzazione e installazione di sistemi di diagnostica ferroviaria.

FAIVELEY TRANSPORT ITALIA S.p.A. – Via Volvera, 51 – 10045 PIOSSASCO (TO) – Tel. 011/9044.1 – Fax 011/9064394 – www.faiveley.com
Sistemi e prodotti a marchio SAB WABCO: Impianti di frenatura pneumatici, elettropneumatici, elettromeccanici ed elettroidraulici, freni a pattino tradizionali e a magneti permanenti, per veicoli ferroviari, metropolitani e tranviari – Sistemi di frenatura per treni ad alta velocità – Sistemi di antipattinaggio e antislittamento – Attuatori pneumatici, unità frenanti, regolatori di timoneria, gamma completa dei dischi del freno in ghisa e in acciaio – Compressori a pistoni, compressori rotativi a vite, essiccatori d'aria, unità di produzione e trattamento dell'aria compressa – Sistemi diagnostici di bordo di manutenzione – Apparecchiature elettroniche di comando e controllo del freno. *Sistemi e prodotti a marchio Faiveley:* Convertitori statici di potenza e carica batterie – Impianti di riscaldamento e condizionamento – Porte e comandi porte – Sistemi di piattaforme – Porte di accesso treno – Pantografi – Interruttori di alta tensione – Sistemi di scatola nera – Registratori di eventi (DIS) – Sistemi diagnostici e telediagnostici di bordo – Sistemi di videosorveglianza.

FASE S.a.s. di Eugenio Di Gennaro & C. – Via del Lavoro, 41 – 20030 SENAGO (MI) – Tel. 02/9986557-02/9980622 – Fax 02/9986425 – E–mail: info@fase.it – www.fase.it – Strumentazione da quadro (indicatori analogici e digitali – TA e TV – Shunts e divisori di tensione) – Convertitori statici di misura – Strumentazione di bordo per mezzi rotabili (Treni A.V. – Locomotive elettriche e diesel-idrauliche – Veicoli ferroviari – Metropolitane e tranvie) – Apparecchiature elettroniche di misura e diagnostica costruite su specifica del Cliente – Fanali di coda e indicatori luminosi a led.

GALLOTTI 1881 S.r.l. – Via Codrignano, 57/a – 40026 IMOLA (BO) – Tel. 0542/690987 – Fax 0542/690987 – E–mail: gallotti@gallotti1881.com – www.gallotti1881.com – Costruzione con progettazione di strutture metalliche per il segnalamento ferroviario, strutture metalliche speciali, piantane ed attrezzature unifer, carpenterie metalliche e meccaniche.

GECO S.r.l. – Via Ugo Foscolo, 9 – 28066 GALLIATE (NO) – CF e P. Iva: IT01918320035 – Tel. 0321/806957 – E–mail: info@gecoitalia.biz – Progettazione, integrazione, prodotti, servizi ingegneristici e sviluppo software per applicazioni di informazione al pubblico, sincronizzazione oraria, videosorveglianza, diffusione audio, rilevazione incendio, sicurezza, antintrusione avvalendosi di

tecnologie innovative e partner altamente qualificati in ambito ferroviario.

GEOSEC S.r.l. – Via Mercalli 2/a, 43126 Parma – Tel. 0521/339323 - E-mail: commerciale@geosec.it - http://www.geosec.it - GEOSEC S.r.l. è specializzata nel consolidamento dei rilevati ferroviari attraverso iniezioni mirate di polimeri ad espansione controllata, con monitoraggio degli effetti tramite tomografia della resistività elettrica (ERT 3D), anche in configurazione wireless e senza interruzione del traffico ferroviario. Offriamo inoltre: Interventi di iniezione per la riduzione e il blocco delle infiltrazioni d'acqua nelle gallerie. Posa di pali presso-infissi per barriere antirumore. Iniezioni di polimeri espandenti per la mitigazione del rischio di liquefazione del terreno.

GOLDSCHMIDT ITALIA S.r.l. – Via Sirtori, 11 – 20017 RHO (MI) – Tel. 02/93180932 – Fax 02/93501212 – Materiali ed attrezzature per la saldatura alluminotermica delle rotaie.

ISOIL INDUSTRIA S.p.A. – Via F.lli Gracchi, 27 – 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) – Tel. 02/660271 – Fax 02/6123202 – E–mail: vendite@isoil.it – www.isoil.com – Strumentazione del materiale rotabile: Pick-up ad effetto Hall per misure di velocità anche multicanale – Generatori di velocità – Sensori Radar ad effetto doppler per velocità e distanza – Indicatori di velocità standard e applicazioni di sicurezza (SIL 2) – Juridical Recorder – MMI: Multifunctional Display per ERTMS – Videocamere – Passenger Information – Switch e Fotocellule di Sicurezza per porte – Livelli carburante – Pressostati e Termostati – Agente esclusivo di: DEUTA WERKE / JAQUET / GEORGIN / KAMERA & SYSTEM TECHNIK.

LA CELSIA SAS – Via A. Di Dio, 109 – 28877 ORNAVASSO (VB) – Tel. 0323/837368 – Fax 0323/836182 – Dal 1974 progettazione, produzione e vendita di contatti elettrici sinterizzati ed affini, materiali sinterizzati da metallurgia delle polveri, connessioni flessibili e particolari vari, annessi per interruttori, commutatori, sezionatori per tutte le apparecchiature elettromeccaniche di potenza e trasmissione dell'energia.

LUCCHINI RS S.p.A. – Via G. Paglia, 45 – 24065 LOVERE (BG) – Tel. 035/963562 – Fax 035/963552 – E–mail: rollingstock@lucchini.it – www.lucchini.it – Materiale rotabile per trasporti ferroviari urbani, suburbani e metropolitani; ruote cerchiate; ruote elastiche; ruote monoblocco; assili; cerchioni; boccole; sale montate da carro, carrozza e locomotiva completa di componenti; cuori fusi al manganese per scambi ferroviari – Riparazione e ripristino di sale montate con sostituzione di ruote e cerchioni – Revisione e collaudo di altri componenti.

M. PAVANI SEGNALAMENTO FERROVIARIO S.r.l. – Via Per Mirandola, 24 - 41033 Concordia sulla Secchia (MO) – Tel. 0386 565128 - E-mail: admin@mpavani.com - www.mpavani.com - Progettazione, installazione e messa in opera di impianti elettrici, di telecomunicazione e di segnalamento - Fornitura e installazione di Kit cavi RED, ADP e QDS -Installazione e messa in servizio di impianti di videosorveglianza e antintrusione - Realizzazione di impianti per la copertura radio, rilevamento e spegnimento incendi, diffusione sonora - Progettazione, produzione, fornitura e installazione di apparecchi illuminanti.

MARINI IMPIANTI INDUSTRIALI S.p.A. – Via A. Chiarucci, 1 – 04012 CISTERNA DI LATINA – Tel. 06/96871088 – Fax 06/96884109 – E–mail: info@mariniimpianti.it – www.mariniimpianti.it – Registratori Cronologici di Eventi (RCE) – Monitoraggio della temperatura delle rotaie (UMTR) – Apparecchiature di diagnostica centralizzate degli impianti di Segnalamento di linea e di stazione (SDC) – Sistemi di supervisione – Strumenti di misura per sotto stazioni – Rilevatore differenziale per segnali luminosi alti a commutazione statica SDO – Generatore di alimentazione 83 Hz PSK – Progettazione ed installazione degli impianti.

MATISA S.p.A. – Via Ardeatina, km. 21 – Loc. S. Palomba – 00040 POMEZIA (ROMA) – Tel. 06/918291 – Telefax 06/91984574 – E–mail: matisa@matisa.it – Vagliatrici, rincalzatrici, profilatrici, veicoli di servizio per infrastruttura e catenaria, drasine di misura della geometria del binario, treni di costruzione nuovo binario, incavigliatrici, foratraverse, forarotaie, apparecchiatura di controllo, segarotaie, gruppi rincalzatrici 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: – Contatori e Sezionatori fino a 4.000V ca/cc – Interruttori Extrarapidi in fino a 4.000V e 10.000A in cc – Relè di protezione ca/cc – Trasduttori e Sistema di Misura – Resistenze di frenatura, MAT del neutro, filtri e banchi di carico – Metering, Sistemi di misura in Tensione e Corrente, Misura dell'Energia a bordo veicolo secondo norma EN50463 – Unità Funzionali e Box integrati – Ventilatori Assiali e Ventilatori Centrifughi.

MONT-ELE S.r.l. – Via Cavera, 21 – 20034 GIUSSANO (MI) – Tel. 0362/850422 – Fax 0362/851555 – E–mail: mont-ele@mont-ele.it – www.mont-ele.it – Ingegneria di sottostazioni di conversione e di sottostazioni di alimentazione sistemi A.V. 25 kV – Produzione di quadri innovativi, alimentatori, raddrizzatori, sezionatori bipolari, quadri filtri, quadri misure – Produzione commutatori 3600 V 3000 A, sezionatori bipolari 3000 A, trasduttori di corrente, quadri di sezionamento 25 kV (52 kW) e sezionatori di alta tensione – Realizzazione di impianti, sottostazioni fisse e mobili lato alternata e continua.

MOSDORFER RAIL S.r.l. – Sede operativa: Via Achille Grandi, 46 – 20017 RHO (MI) – Tel. +39 02/64088142 – E–mail: inforail.it@mosdorfer.com – Sviluppo e produzione di componenti T.E. per la linea di contatto ferroviaria e tramviaria: TENSOREX C+, sospensioni in alluminio ed

acciaio, isolatori compositi, dispositivi di messa a terra, morsetti in CuNiSi, in bronzo/alluminio ed acciaio forgiato. MOSDORFER RAIL S.r.l. fa parte della Multinazionale austriaca KNILL GROUP, leader mondiale nella progettazione, produzione e fornitura di morsetteria per linee di trasmissione ad alta tensione.

ORA ELETTRICA S.r.l. a socio unico – Sede legale: Corso XXII Marzo, 4 – 20135 MILANO – Sede operativa: Via Filanda, 12 – 20010 CORNAREDO (MI) – Tel. +39/02/93563308 – Fax +39/02/93560033 – E–mail: info@ora-elettrica.com – www.ora-elettrica.com – Progettazione, produzione, commercializzazione, installazione e manutenzione di apparecchiature elettroniche specifiche per la gestione del tempo: centrali orarie controllate via DCF e GPS, NTP server, sistemi di supervisione, orologi analogici e digitali (per interni ed esterni), orologi da pensilina, orologi monumentali da facciata, RCE Registratori Cronologici di Eventi, sistemi integrati per il controllo degli accessi veicolari e pedonali, sistemi TVPL, TVCC, sistemi di rilevamento presenze certificati SAP.

PANDROL S.r.l. – Via De Capitani, 14/16 – 20864 AGRATE BRIANZA (MB) – Tel. +39/039/9080007/ +39/039/9153752 – E–mail: info.it@pandrol.com – www.pandrol.com – Sistemi di attacco ferroviari per traverse in calcestruzzo armato e precompresso.

PISANI S.r.l. – Via Vilfredo Pareto, 20 – 27058 VOGHERA (PV) – Tel. +39/347/4318990 – E–mail: giorgio@pisani.eu – Sistemi informatizzati, non invasivi di monitoraggio e certificazione dei processi di realizzazione e controllo in esercizio della lunga rotaia saldata e della posizione plano altimetrica del binario.

PLASSER ITALIANA S.r.l. – Via del Fontanaccio, 1 – 00049 VELLETRI (ROMA) – Tel. 06/9610111 – Fax 06/9626155 – E–mail: info@plasser.it – www.plasser.it – Commercializzazione, riparazione e manutenzione di macchine per la costruzione e la manutenzione del binario ferroviario – Risanatrici, rincalzatrici, profilatrici, stabilizzatrici dinamiche, vetture di rilevamento e sistemi per la diagnostica del binario e della linea di contatto, saldatrici mobili per rotaie, autocarrelli con gru e piattaforme, autocarrelli per tesatura frenata linee di contatto, carrelli portabobine, dispositivi per video-ispezione linee ferroviarie e binario, rappresentanza attrezzature Robel.

POSEICO S.p.A. – Via Pillea, 42-44 – 16153 GENOVA – Tel. 010/8599400 – Fax 010/8682006-010/8681180 – E–mail: semicond@poseico.com – www.poseico.com – Dispositivi a semiconduttori di potenza (Diodi, Tiristori, GTO's, IGBT Press-pack, ecc.) – Dissipatori ad acqua per il raffreddamento di dispositivi di potenza sia press-pack che moduli – Assiemati di potenza con raffreddamento in aria naturale, aria forzata ed acqua – Ponti raddrizzatori per applicazioni industriali e di trazione – Analisi di guasto e servizio di collaudo – Riparazioni di assiemati di potenza – Distribuzione e/o commercializzazione di componenti nel campo dell'elettronica di potenza.

PROJECT AUTOMATION S.p.A. – Viale Elvezia, 42 – 20052 MONZA (MI) – Tel. 039/2806233 – Fax 039/2806434 – www.p-a.it – Sistemi ed apparecchiature di segnalamento, controllo e supervisione del traffico per metrotranvie e tranvie – Radiocomando scambi, casse di manovra carrabili, sistemi di controllo semaforico – Priorità mezzi pubblici – Sistemi di controllo e gestione traffico stradale.

RAND ELECTRIC S.r.l. – Via Padova, 100 – 20131 MILANO – Tel. 02/26144204 – Fax 02/26146574 – Canaline, fascette, sistemi di identificazione, guaine corrugate, guaine metalliche ricoperte, tutte con caratteristiche di reazione al fuoco e tossicità entro i parametri della specifica FS 304142 – Connettori elettrici di potenza standard o custom.

SCHAEFFLER ITALIA S.r.l. – Via Dr. Georg Schaeffler, 7 – 28015 MOMO (NO) – Tel. 0321/929211 – Fax 0321/929300 – E–mail: info.it@schaeffler.com – www.schaeffler.it – Cuscinetti volventi a marchio FAG e INA, standard e speciali, boccole ferroviarie, snodi sferici, attrezzature di montaggio e smontaggio, diagnostica.

S.I.D.O.N.I.O. S.p.A. – Via IV Novembre, 51 – 27023 CASSOLNOVO (PV) – Tel. 0381/92197 – Fax 0381/928414 – E–mail: sidonio@sidonio.it – Impianti di sicurezza e segnalamento ferroviario – Impianti di elettrificazione ed illuminazione (linee BT/MT) – Opere stradali e ferroviarie – Scavi, demolizioni e costruzioni murarie – Impianti di telecomunicazione.

SITE S.p.A. – Divisione Trasporti – Via della Chimica, 3 – 40064 OZZANO DELL'EMILIA (BO) – Tel. 051/794820 – E–mail: site@sitespa.it – www.sitespa.it/railways – IMPIANTI DI SEGNALAMENTO FERROVIARIO: Progettazione e realizzazione di impianti di segnalamento per la sicurezza ferroviaria – Progettazione, fornitura, installazione, integrazione e messa in servizio di sistemi di segnalamento come il Blocco Automatico a Correnti Codificate, Sistemi di Controllo Marcia del Treno, Apparati Centrali Elettrici a Itinerari, etc. – Manutenzione, formazione e assistenza tecnica – RETI & SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI: Progettazione e realizzazione di reti Wireline e Wireless, di reti GSM-R e di sistemi SDH – Progettazione, fornitura, installazione, integrazione e messa in servizio di sistemi di: Informazione al Pubblico, Videosorveglianza, Supervisione per la sicurezza e la manutenzione, telefonia selettiva, Bigliettazione, etc. – Manutenzione, Formazione e assistenza tecnica – MESSA IN SICUREZZA GALLERIE: Progettazione layout impianti di Messa in Sicurezza delle Gallerie – Realizzazione di impianti per la copertura radio, il rilevamento e spegnimento incendi, la telefonia d'emergenza, diffusione sonora d'emergenza, illuminazione d'emergenza, etc.

SPII S.p.A. – Via Don Volpi, 37 angolo Via Montoli – 21047 SARONNO (VA) – Tel. 02/9622921 – Fax 02/9609611 – www.spii.it – info@spii.it – Temporizzatori elettromeccanici, multifunzione e digitali – Programmatori elettromec-

canici, 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 Pollaiolo, 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: vaiacar@vaiacar.it – Saldatrici mobili strada-rotaia per la saldatura elettrica a scintillio delle rotaie – Gru mobili/Escavatori strada-rotaia completi di accessori intercambiabili – Macchine operatrici mobili strada-rotaia con equipaggiamenti specifici – Macchine operatrici mobili ferroviarie e/o strada-rotaia per la manutenzione delle linee ferroviarie e delle linee elettriche aeree – Attrezzature speciali per il sollevamento, la movimentazione, la posa e la sostituzione di scambi ferroviari, campate, traverse e rotaie – Attrezzature speciali per il sollevamento, la movimentazione, la posa e la sostituzione di scambi e campate tranviari e/o metropolitani – Treni completi di sistemi per la costruzione delle linee ferroviarie ad alta velocità – Treni di sostituzione delle rotaie con sistemi per il carico e lo scarico delle rotaie – Unità di rincalzatura del binario e di compattamento della massicciata.

VOESTALPINE RAILWAY SYSTEMS ITALY S.r.l. - Via Alessandria, 91 – 00198 Roma – Tel. 06/84241106 – E-mail railwaysystems-italy@voestalpine.com – www.voestalpine.com/railway-systems – Progettazione, Consulenza, Produzione, Service e Logistica di Scambi ferroviari A.V., Apparecchi di binario convenzionali e tranviari, Rotaie Vignole e a gola, Casse di manovra ferroviarie e segnalamento completo tranviario – Sistemi diagnostici e monitoraggio per scambi e per materiale rotabile.

E Impianti di aspirazione e di depurazione aria

F Prodotti chimici ed affini

G Articoli di gomma, plastica e vari

FLUORTEN S.r.l. – Via Cercone, 34 – 24060 CASTELLI CALEPIO (BG) – Tel. 035/4425115 – Fax 035/848496 – E–mail: fluorten@fluorten.com – www.fluorten.com – Semilavorati e prodotti finiti in PTFE e RULON® per industria meccanica, chimica, elettrica ed elettronica – Progettazione, costruzione stampi e stampaggio tecnopolimeri – Esclusivista Du Pont per l'Italia di semilavorati e finiti in Du Pont™ VESPEL®. Produzione di piastre in PTFE Certificate dal Politecnico di Milano a norma EN 1337-2. Certificazione sistema di gestione qualità per il settore aerospaziale EN 9100:2009 Certificate n. 5695/0. Certificazione sistema di gestione qualità ISO 9001:2008 Certifica-

te n. 21. Certificazione sistema di gestione ambientale ISO 14001:2004 Certificate n. 27.

KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG, Goellstrasse 8, 84529 TITTMONING (Germania) – Tel. +49 (8683) 701-151 - http://www.strail.com - Fornitura di sistemi di attraversamento a raso per ogni tipo di traffico e armamento: STRAIL, innoSTRAIL, pedeSTRAIL, pontiSTRAIL, veloSTRAIL - Traverse polimeriche da linea, ponte e deviatoio: STRAILway - Soluzioni per l'isolamento acustico ed elettrico della rotaia: STRAILastic - Sistemi per la riduzione del rumore: STRAILwave. Area Manager Italia: tommaso.savi@strail.it - tel. +39 392 9503894 - Amministrazione Italia: jessica.romani@strail.it - tel. +39 0461 1413831.

PANTECNICA S.p.A. – Via Magenta, 77/14A – 20017 RHO (MI) – Tel. 02/93261020 – Fax 02/93261090 – E–mail: info@pantecnica.it – www.pantecnica.it – Sistemi antivibranti per materiale rotabile e per armamento ferrotranviario – Completa gamma di guarnizioni per tenuta fluidi – Certificata ISO 9001:2015 e EN 9120:2018 – Fornitore Trenitalia.

PLASTIROMA S.R.L. – VIA PALOMBARESE, km 19,100 – 00012 GUIDONIA MONTECELIO (ROMA) – Tel. 0774/367431-32 – Fax 0774/367433 – E–mail: info@plastiroma.it – www.plastiroma.it – Morsetterie, contropiastre, cassette per C.D.B., materiale isolante per C.D.B., segnali bassi di manovra, segnali alti di chiamata, shunt, componenti in materiale plastico per relè FS, progettazione di articoli tecnici.

H Rilievi e progettazione opere pubbliche

ABATE dott. ing. Giovanni – Via Piedicavallo, 14 – 10145 TORINO – Tel./Fax 011/755161 – Cell. 335/6270915 – E–mail: abateing@libero.it – Armamento ferroviario – Progettazione e direzione lavori di linee ferroviarie, metropolitane e tranviarie – Armamento ferroviario e linee per trazione elettrica – Redazione di progetti costruttivi preliminari e definitivi comprensivo dei piani di sicurezza e di coordinamento sia in fase di progettazione che in fase di esecuzione per raccordi industriali – Rilievi e tracciamenti finalizzati alla progettazione di linee ed impianti ferroviari.

ISiFer S.r.l. – Sede legale: Via Mazzini, 15 – 80053 CASTELLAMMARE DI STABIA (NA) – Sede operativa: Via Gorizia, 1 – CICCIANO (NA) – Tel. 081/5741055 – Fax 081/5746835 – E–mail: segreteria@isifer.com – info@isifer.com – www.isifer.com – Azienda di ingegneria specializzata nel settore ferroviario con particolare riferimento alle attività di Concezione, Progettazione, Realizzazione, Verifica, Validazione, Collaudo, Messa in Servizio, Diagnostica e Manutenzione.

PRISMA ENGINEERING S.r.l. – Via Villa Lidia, 45 – 16014 CERANESI (GE) – Tel./Fax 010/7172078 – E–mail: nadia.barbagelata@prismaengineering.net – www.prismaengineering.net – Impianti di segnalamento ferroviario – Realizzazione Progetti di Fattibilità, Definitivi, Esecutivi e Costruttivi di impianti IS (ACEI-ACC-ACCM-SCMT-ERTMS_L2) – Realizzazioni di Verifiche e Validazioni dei progetti comprese prove di campo.

I Trattamenti e depurazione delle acque

L Articoli e dispositivi per la sicurezza sul lavoro

SCHWEIZER ELECTRONIC S.r.l. (SEIT) – *Sede Centrale:* Via Santa Croce, 1 – 20122 MILANO – Tel. +39/02/89426332 – Fax +39/02/83242507 – E–mail: franco.pedrinazzi@schweizer-electronic.com – www.schweizer-electronic.com – ***Sede legale:* Via Gustavo Modena, 24 – 20129 Milano** – Sistemi di Sicurezza Protezione Cantieri (SAPC) e può fornire servizio chiavi in mano, di protezione cantieri con SAPC "Sistema Minimel 95", comprensivo di: Progettazione, istallazione, formazione del personale, disinstallazione, manutenzione ed a richiesta gestione del SAPC in cantiere con proprio personale – Sistemi di segnalamento fisso, Minimel, ISP, che integrano le parti mobili di SAPC Minimel 95 nel segnalamento esistente – Sistemi di comunicazione nell'ambito della sicurezza ad alto contenuto tecnologico.

M Tessuti, vestiario, copertoni impermeabili e manufatti vari

N Vetrofanie, targhette e decalcomanie

O Formazione

D&T srl – Largo Promessi Sposi - 20142 Milano – Tel. 3486979791 - E-mail: dt.marketing@databtech.net - http://www.databtech.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 (linee guida ANSF) – Organismo di ispezione di tipo A (norma EN 17020) per sottosistemi ferroviari e per la validazione di progetti civili – Laboratori accreditati per prove di componenti e sottosistemi ferroviari.

Q Società di progettazione e consulting

INTERLANGUAGE S.r.l. – Strada Scaglia Est 134 – 41126 MODENA – Tel. 059/344720 – Fax 059/344300 – E–mail: info@interlanguage.it – www.interlanguage.it – Traduzioni tecniche, giuridiche, finanziarie e pubblicitarie – Impaginazione grafica, localizzazione software e siti web. Qualificati nel settore ferroviario.

BONIFICA S.p.A. – Via della Camilluccia 67, 00135 Roma – Tel. 06 415391 – PEC: bonificaspa@legalmail.it. Società Italiana di ingegneria civile specializzata nella progettazione, direzione lavori e project management di infrastrutture di trasporto. Opera nei settori stradale, ferroviario, portuale, oltre che in ambito ambientale e idraulico. Fornisce servizi di ingegneria multidisciplinare dalla fattibilità alla progettazione esecutiva, supporto alle gare e controllo dei progetti. Dal 2015 BONIFICA S.p.A. adotta la metodologia BIM operando ai più elevati livelli di maturità del processo, con esperienze concrete nel 4d e 5d Modeling.

R Trasporto materiale ferroviario

FERRENTINO S.r.l. – Via Trieste, 25 – 17047 VADO LIGURE (SV) – Tel. 019/2160203 – Cell. +39/3402736228 – Fax 019/2042708 – E–mail: alessandroferrentino@gmail.com – www.ferrentinoconsulship.com – Consulenza e organizzazione trasporti, imbarchi, sbarchi per materiale ferroviario – Assistenza e consulenza per imballo, protezione e movimentazione pezzi eccezionali.

S Servizi assicurativi

ASSIFIDI SPA – Piazza del Sole 81 – 00144 Roma – tel.06.87652053 – E-mail: info@assifidi.it - http://www.assifidi.it - Broker di Assicurazioni specializzato nel settore degli appalti, delle costruzioni e professioni tecniche. Assistenza nella partecipazione a gare d'appalto, affidamenti cauzioni, analisi dei bandi di gara, per quanto attiene aspetti fideiussori ed assicurativi, collocamento delle garanzie e coperture previste in caso di aggiudicazione. Responsabilità Civile Professionale, RC Progettista "ex Merloni", Responsabilità Civile verso Terzi e Dipendenti, All Risks studio professionale, Tutela Legale, Cyber Risk, Piani Sanitari.

Prof. Ing. Stefano Ricci, *direttore responsabile*
Registrazione del Trib. di Roma 16 marzo 1951, n. 2035 del Reg. della Stampa

Stab. Tipolit. Ugo Quintily S.p.A. - Roma
Finito di stampare nel mese di Settembre 2026
Printed in September 2026

ESSEN ITALIA

Sistemi integrati per il sostegno provvisorio del binario

Ponti ESSEN

Modularità e Flessibilità



Maggiore velocità in sicurezza



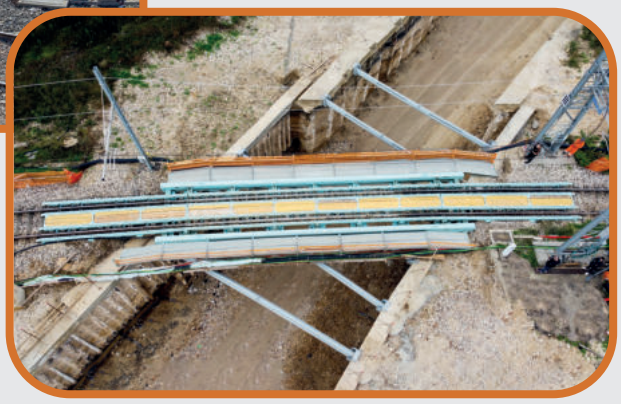
ESSEN ITALIA promuove, sviluppa e impiega la tecnologia **"Ponti ESSEN"** per il sostegno provvisorio del binario in esercizio.

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



© Gardon Lorenzo

SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ - ISO 9001:2008
CERTIFICATO N. 3608

ESSEN ITALIA S.r.l.

Viale Ettore Franceschini, 91 - 00155 Roma
Tel: 06 83085711 - Fax: 06 56561441
www.essenitalia.it - info@essenitalia.it

Titolare tecnologia:

Ponti ESSEN®
www.pontiessen.it

IL CIFI PRESENTA UNA NUOVA PUBBLICAZIONE

La rivoluzione con il ferro

Il tesoro nascosto per la rigenerazione delle città italiane

Claudio Cipollini - Giovanni Costa



Intero € 40,00
Sconto Soci CIFI 20%

PER INFO E PRENOTAZIONI

info@cifi.it
+39 - 064742986 - 064882129

COLLEGIO INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI