

PER SVILUPPARE LA CULTURA DEI TRASPORTI SCEGLI I CORSI SU



<https://www.ferrovie.academy/corsi/>
<https://www.cifi.it/cifi-servizi/acquisto-corsi/>



FORMAZIONE SPECIALISTICA

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

FORMAZIONE TECNICO AMMINISTRATIVA

- Codice appalti, gestione progetti e lavori di ferrovie
- Codice appalti 2023 gestione progetti e lavori ferrovie, strade e aeroporti
- Esperto tecnico gare d'appalto di ferrovie
- Gare d'appalto e criteri di aggiudicazione
- Direzione lavori negli appalti di ferrovie
- Subappalto ferroviario
- Computo metrico ferroviario e contabilità Lavori
- Modifiche e varianti, appalti di ferrovie e impianti fissi
- Riserve dell'appaltatore
- CCT Collegio Consultivo Tecnico
- Esperto collaudo tecnico amministrativo di ferrovie, strade e impianti fissi

SCARICA IL PROGRAMMA COMPLETO DEI CORSI



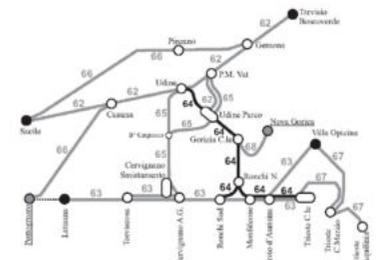
✉ cifiservizi@cifi.it
 segreteria.cifiservizi@cifi.it

☎ 06 4742987

In questo numero
In this issue



Monitoraggio di deviatoi su una linea ad alta velocità
Monitoring of turnouts on a high-speed line



Quantum computing nel settore ferroviario
Quantum computing in the railway sector

MATISA



PRECISIONE IN MOVIMENTO



iaf 29th International Exhibition
for Track Technology
20th - 22nd May 2025 in Münster / DE

LA VAGLIATRICE C 75

La vagliatrice C 75 garantisce un rinnovo continuo ed efficiente del ballast. Grazie al suo design compatto, alla tecnologia di vagliatura avanzata e alle eccellenti prestazioni dimostrate sia su linee AV che su linee convenzionali, assicura una manutenzione ferroviaria precisa, affidabile ed economicamente vantaggiosa.



MATISA S.p.A | Via Ardeatina km. 21 | IT 00071 Pomezia/Santa Palomba (Roma)
Tel.: +39-06-918 291 | Email: matisa@matisa.it



I SOCI COLLETTIVI DEL COLLEGIO INGEGNERI FERROVIARI ITALIANI

A.M.T. - GENOVA
 A.T.M. S.p.A. - MILANO
 AET S.r.l. - NAPOLI
 AI2 S.r.l. - APPLICAZIONI DI INGEGNERIA S.r.l. - BARI
 AIAS - ASS.NE ITALIANA AMBIENTE E SICUREZZA - SESTO SAN GIOVANNI (MI)
 AKKODIS ITALY S.r.l. - BOLOGNA
 ALSTOM FERROVIARIA S.p.A. - SAVIGLIANO (CN)
 ALTEN ITALIA SPA - MILANO
 ANCEFERR - ROMA
 ANGELSTAR S.r.l. - MOLA DI BARI (BA)
 ANIAF - ASSOCIAZIONE NAZIONALE IMPRESE ARMAMENTO FERROVIARIO - ROMA
 ANSFISA - FIRENZE
 ANTIFERR - ASS.NE NAZIONALE TECNOLOG. DEL SETTORE FERROVIARIO - ROMA
 ARMAFER S.r.l. - LECCE
 ARST S.p.A. TRASPORTI REGIONALI DELLA SARDEGNA - CAGLIARI
 ASS.TRA - ASSOCIAZIONE TRASPORTI - ROMA
 ASSIFER - ASSOCIAZIONE INDUSTRIE FERROVIARIE - MILANO
 ASSIFIDI S.p.A. - ROMA
 ASTRAL S.p.A. - ROMA
 ATAC S.p.A. - ROMA
 AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO ORIENTALE - TRIESTE
 B. & C. PROJECT S.r.l. - SAN DONATO MILANESE (MI)
 BITECNO S.r.l. - BOLOGNA
 BONOMI EUGENIO S.p.A. - MONTICHIARI (BS)
 BOSCH SECURITY SYSTEMS S.p.A. - MILANO
 BRESCIA INFRASTRUTTURE S.r.l. - BRESCIA
 BRUNO S.r.l. - BRESCIA
 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
 CAPTRAIN ITALIA S.r.l. - PIOSSASCO (TO)
 CARROZZERIA NUOVA S. LEONARDO S.r.l. - SALERNO
 CAVUOTO INGEGNERIA DELLE STRUTTURE S.p.A. - NAPOLI
 CEMBRE S.p.A. - BRESCIA
 CEPRI COSTRUZIONI S.r.l. - ORVIETO (TR)
 CIRCET ITALIA S.p.A. - SAN GIOVANNI TEATINO (CH)
 COET S.r.l. - SAN DONATO MILANESE (MI)
 COMESVIL S.p.A. - VILLARICCA (NA)
 COMMEL S.r.l. - ROMA
 CONSORZIO SATURNO - ROMA
 COSTRUIRE ENERGIE S.r.l. - GUIDONIA MONTECELIO (RM)
 CZ LOKO ITALIA S.r.l. - PORTO MANTOVANO (MN)
 D&T S.r.l. - MILANO
 D'ADDETTA S.p.A. - BERCETO (PR)
 D'ADIUTORIO COSTRUZIONI S.p.A. - MONTORIO AL VOMANO (TE)
 DINAZZANO PO - REGGIO NELL'EMILIA
 DITECFER - PISTOIA
 DUCATI ENERGIA S.p.A. - BOLOGNA
 DYNASTES S.r.l. - ROMA
 EAGLE PROJECTS - PERUGIA
 ELEN MACHINES S.r.l. - ALBANO LAZIALE (RM)
 EMMEFER SRL - MONTEMILETTO (AV)
 ENTE AUTONOMO VOLTURNO S.r.l. - NAPOLI
 EREDI GIUSEPPE MERCURI S.p.A. - NAPOLI
 ESERCIZIO RACCORDI FERROVIARI - VENEZIA
 ESIM S.r.l. - BARI
 ETS SRL SOCIETÀ DI INGEGNERIA - LATINA
 EUROS S.r.l. - QUAGLIANO (NA)
 FAIVELEY TRANSPORT ITALIA S.p.A. - PIOSSASCO (TO)
 FEDEP S.r.l. - NAPOLI
 FER S.r.l. - FERROVIE EMILIA ROMAGNA - FERRARA
 FERONE PIETRO & C. S.r.l. - NAPOLI
 FERRETTI PROGETTAZIONI - GENOVA
 FERROTRAMVIARIA S.p.A. - BARI
 FERROTRAMVIARIA ENGINEERING S.p.A. - NAPOLI
 FERROVIE APPULO LUCANE S.r.l. - BARI
 FERROVIE DEL GARGANO S.r.l. - BARI
 FERROVIE DEL SUD EST - BARI
 FERROVIE DELLO STATO S.p.A. - ROMA
 FERROVIENORD S.p.A. - MILANO
 FONDAZIONE FS ITALIANE - ROMA
 FOR.FER S.r.l. - ROMA
 G.C.F. GEN.LE COSTRUZIONI FERROVIARIE S.p.A. - ROMA
 G.C.F.E. S.p.A. - SAN DONATO MILANESE (MI)
 GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO BBT SE - BOLZANO
 GECO S.r.l. - GALLIATE (NO)
 GEISMAR ITALIA S.p.A. - POVIGLIO (RE)
 GEOSINTESI S.p.A. - GOZZANO (NO)
 GEOTEC S.r.l. - BOLOGNA
 GESTIONE GOVERNATIVA FERROVIA CIRCUMETNEA - ROMA
 GILARDONI S.p.A. - MANDELLO DEL LARIO (LC)
 GRANDI STAZIONI RAIL S.p.A. - ROMA
 GROUND TRANSPORTATION SYSTEMS ITALIA S.r.l. - SESTO FIORENTINO (FI)
 HARPACEAS S.r.l. - MILANO
 HILTI ITALIA S.r.l. - SESTO SAN GIOVANNI (MI)
 HIMA ITALIA - MILANO
 HITACHI RAIL STS S.p.A. - NAPOLI
 HUPAC S.p.A. - BUSTO ARSIZIO (VA)
 IKOS CONSULTING ITALIA S.r.l. - MILANO
 IMAF S.r.l. - NAPOLI
 IMPRESA LUIGI NOTARI S.p.A. - MILANO
 IMPRESA SILVIO PIEROBON S.r.l. - BELLUNO
 IMPRESA SIMEONE E FIGLI SRL - (NA)
 INFRARAIL FIRENZE S.r.l. - FIRENZE
 INFRASTRUTTURE VENETE S.r.l. - PIOVE DI SACCO (PD)
 INTECS S.p.A. - ROMA
 ITALCERTIFER S.p.A. - FIRENZE
 ITALFERR S.p.A. - ROMA
 ITALO - N.T.V. S.p.A. - MILANO
 IVECOS S.p.A. - COLLE UMBERTO (TV)
 KNORR-BREMSE RAIL SYSTEMS ITALIA S.r.l. - CAMPI BISENZIO (FI)
 KNOUX GmbH - MONACO DI BAVIERA
 KRAIBURG STRAIL GMBH & CO KG - TITTMONING (GERMANIA)
 LA FERROVIARIA ITALIANA S.p.A. - AREZZO
 LATERLITE S.p.A. - MILANO
 LEF S.r.l. - FIRENZE
 LOTRAS S.r.l. - FOGGIA
 LUCCHINI RS S.p.A. - LOVERE (BG)
 M2 RAILTECH S.r.l. - LA VALLE - BOLZANO
 M. PAVANI SEGNALEMENTO FERROVIARIO S.r.l. - CONCORDIA SULLA SECCHIA (MO)
 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)
 MER MEC S.p.A. - MONOPOLI (BA)
 MERCITALIA SHUNTING & TERMINAL S.r.l. - GENOVA
 MICOS S.p.A. - LATINA
 MM METROPOLITANA MILANESE S.p.A. - MILANO
 MONT-ELE S.r.l. - GIUSSANO (MI)
 MOSDORFER RAIL S.r.l. - RHO (MI)
 NET ENGINEERING S.r.l. - VERONA
 NICCHERI TITO S.r.l. - AREZZO
 NIER INGEGNERIA S.p.A. SOCIETÀ BENEFIT - CASTEL MAGGIORE (BO)
 NORD ING S.r.l. - MILANO
 OPTOTEC S.p.A. - GARBAGNATE MILANESE (MI)
 PLASSER ITALIANA S.r.l. - VELLETRI (RM)
 POLISTUDIO S.p.A. - MOSCHETTO (VE)
 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
 RAVA - REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA - POLLEIN (AO)
 R.F.I. S.p.A. - RETE FERROVIARIA ITALIANA - ROMA
 RINA CONSULTING S.p.A. - GENOVA
 S.I.C.E. - CHIUSI (PI)
 S.I.I.P. S.r.l. - NAPOLI
 S.T.A. S.p.A. - STRUTTURE TRASPORTO ALTO ADIGE - BOLZANO
 SADEL S.p.A. - CASTEL MAGGIORE (BO)
 SAFECERTIFIEDSTRUCTURE INGEGNERIA S.r.l. - ROMA
 SAGA S.r.l. - RAVENNA (RA)
 SALCEF GROUP S.p.A. - ROMA
 SATFERR S.r.l. - FIDENZA (PR)
 SCALA VIRGILIO & FIGLI S.p.A. - MONTEVARCHI (AR)
 SCHAEFFLER ITALIA S.r.l. - NOVARA
 SENAF S.r.l. - SAIE - GLE - MECSPE - CASTEL MAGGIORE (BO)
 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)
 SPEKTRA S.r.l. A TRIMBLE COMPANY - VIMERCATE (MB)
 SPERI S.p.A. - ROMA
 SPII S.p.A. - SARONNO (MI)
 SPITEK S.r.l. - PRATO
 STAMPERIA CARCANO GIUSEPPE S.p.A. - ALBESE CON CASSANO (CO)
 STUDIO LEGALE ASS.TO LANIANCA & LOIACONO - BARI
 STUDIO TECHNE' S.r.l. - FIRENZE
 SVECO S.p.A. - BORGIO PIAVE (LT)
 T&T S.r.l. - NAPOLI
 T.M.C. S.r.l. - TRANSPORTATION MANAGEMENT CONSULTANT - POMPEI (NA)
 TE.SI.FER. S.r.l. - FIRENZE
 TEAM ENGINEERING S.p.A. - ROMA
 TECNOLOGIE MECCANICHE S.r.l. - ARICCIA (RM)
 TECNOSISTEM S.p.A. - NAPOLI
 TECNOTEAM ITALIA S.r.l.s. - MERCATALE DI OZZANO DELL'EMILIA (BO)
 TEKFER S.r.l. - BEINASCO (TO)
 TEKNO KONS INNOVATION S.r.l. - AVERSA (CE)
 TELEFIN S.p.A. - VERONA
 TERMINALI ITALIA - VERONA
 TESMEC S.p.A. - GRASSOBBIO (BG)
 THERMIT ITALIANA S.r.l. - RHO (MI)
 TITAGARH FIREMA S.p.A. - CASERTA
 TPER S.p.A. - TRASP. PASS.RI EMILIA ROMAGNA - BOLOGNA
 TRAINING S.r.l. - VERONA
 TRENITALIA S.p.A. - ROMA
 TRENITALIA TPER - BOLOGNA
 TRENORD S.r.l. - MILANO
 TRENINO TRASPORTI S.p.A. - TRENTO
 TUA - SOCIETÀ UNICA ABRUZZESE DI TRASPORTO S.p.A. - CHIETI
 TX LOGISTIK TRANSALPINE GMBH - BOLZANO
 ULIXES S.r.l. UNIPERSONALE - FROSINONE
 URETEK ITALIA S.p.A. - BOSCO CHIESANUOVA (VR)
 VALTELLINA S.p.A. - GORLE (BE)
 VERICERT S.r.l. - FORNACE ZARATTINI (RA)
 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)
 Z LAB S.r.l. - VERONA

INDICE DEGLI ANNUNZI PUBBLICITARI

CIFI Servizi S.r.l. – Roma	I copertina
MATISA S.p.A. – Santa Palomba – Pomezia (RM)	II copertina
KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. – Tittmoning (Germania)	pagina 110
PLASTIROMA S.r.l. – Guidonia Montecelio (RM)	pagina 177
PLASSER Italiana S.r.l. – Velletri (RM)	III copertina
"Architettura ferroviaria" - Massimo Gerlini - Paolo Mori - Raffaello Paiella	IV copertina

CONDIZIONI DI ASSOCIAZIONE AL CIFI QUOTE SOCIALI ANNO 2025

- Soci Ordinari e Aggregati con distribuzione di entrambe le riviste periodiche (cartaceo oppure online)	€/anno	85,00
- Soci Ordinari e Aggregati under 35 con distribuzione di entrambe le riviste periodiche (cartaceo oppure online). <i>I nuovi soci under 35 (neolaureati oppure neoassunti nell'anno in corso di soci collettivi) beneficeranno per 3 anni o fino al compimento del 35° anno di età della quota dei Soci Juniores</i>	€/anno	60,00
- Soci Juniores con distribuzione di entrambe le riviste periodiche (solo online)	€/anno	25,00

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.

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 al Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani – Via Giolitti Giovanni, 46 – 00185 Roma.

- Bonifico bancario sul conto: **Codice IBAN: IT29 U 02008 05203 000101180047** – Codice BIC/SWIFT: UNCRITM 1704, intestato a Collegio Ferroviari Italiani, presso UNICREDIT BANCA – Ag. 704 – ROMA ORLANDO.

- Carta di credito/prepagata sul sito www.cifi/shop/.

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

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

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

Contatti - Contacts

Tel. 06.4742987

E-mail: 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
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 LAGANA
Emilio MAESTRINI
Mauro MORETTI
Silvio RIZZOTTI
Giuseppe SCIUTTO

Redazione - Editorial Staff

Massimiliano BRUNER
Ivan CUFARI
Francesca PISANO

COLLEGIO INGEGNERI
FERROVIARI ITALIANI

Associazione NO PROFIT con personalità giuridica (n. 645/2009)
iscritta al Registro Nazionale degli Operatori della Comunicazione
(ROC) n. 33553 - Poste Italiane SpA - Spedizione in abbonamento
postale - d.l. 353/2003

(conv. In l. 27/02/2004 n. 46) art. 1 - DBC Roma

Via Giovanni Giolitti, 46 - 00185 Roma

E-mail: info@cifi.it - u.r.l.: www.cifi.it

Tel. 06.4742986

Partita IVA 00929941003

Orario Uffici: lun.-ven. 8.30-13.00 / 13.30-17.00

Biblioteca: lun.-ven. 9.00-13.00 / 13.30-16.00

Indice

Anno LXXX | **Febbraio 2025** | 2**Condizioni di Associazione al CIFI****94****I LABORATORI DI RFI A SUPPORTO DELLA
MANUTENZIONE: MONITORAGGIO DI QUATTRO
DEVIATOI SU UN TRATTO DI LINEA AD ALTA VELOCITÀ
RFI LABORATORIES SUPPORTING MAINTENANCE:
MONITORING OF FOUR TURNOUTS ON A SECTION
OF A HIGH-SPEED LINE**

Fabio SENESI

Riccardo EUSEPI

Brenda DI FILIPPO

Cristian FERRANTE

Luca RICCIARDI

97**QUANTUM COMPUTING NEL SETTORE FERROVIARIO
QUANTUM COMPUTING IN THE RAILWAY SECTOR**

Marzia DE BARTOLOMEO

Giuseppe CAVALLERI

Antonio DE NICOLA

111**Notizie dall'interno****149****Notizie dall'estero***News from foreign countries***161****Vita del CIFI - Visita tecnica al deposito della metropolitana M4
del 25 novembre 2024****173****IF Biblio****175****Condizioni di Abbonamento a IF - Ingegneria Ferroviaria***Terms of subscription to IF - Ingegneria Ferroviaria***176****Elenco di tutte le Pubblicazioni CIFI****178****Fornitori di prodotti e servizi****182**

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



I Laboratori di RFI a supporto della manutenzione: monitoraggio di quattro deviatori su un tratto di linea ad alta velocità

RFI laboratories supporting maintenance: monitoring of four turnouts on a section of a high-speed line

Fabio SENESI (*)

Riccardo EUSEPI (**)

Brenda Di FILIPPO (**)

Cristian FERRANTE (**)

Luca RICCIARDI (**)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.02.2025.ART.1>)

Sommario - L'innovazione tecnologica ed il monitoraggio costante dello "stato di salute" della rete sono due pilastri essenziali per garantire la sicurezza e la sostenibilità delle infrastrutture ferroviarie moderne. In questo contesto, i Laboratori di Innovazione, Prove e Sperimentazioni di Ricerca e Sviluppo di RFI, rappresentano un punto di riferimento per la ricerca, la sperimentazione e le misure sui componenti ferroviari. Nell'impianto vengono svolte attività riguardanti prove su materiali, misure su opere civili e ferroviarie, misure elettriche, prove ATP, misure per la sicurezza dei lavoratori, tarature certificate e analisi di impatto ambientale, secondo lo standard di qualità previsto dagli Standard Internazionali. Grazie anche alle collaborazioni con università ed enti di ricerca, ed ereditando il prezioso *know-how* dell'Istituto Sperimentale, i Laboratori si distinguono per le attività di monitoraggio e analisi, fornendo un importante contributo al miglioramento continuo delle prestazioni dell'infrastruttura ferroviaria nazionale. Recentemente, la struttura di Ambienti di Prove e Sperimentazioni, Infrastruttura e Ambiente dei Laboratori ha condotto una campagna di misura su quattro deviatori di ingresso e uscita di una stazione situata su una linea AV/AC al fine di osservare ed analizzare i fenomeni che si verificano, lato infrastruttura, al transito di un convoglio ferroviario. Questo articolo descrive l'attività svolta, le tecnologie utilizzate ed i risultati emersi dal monitoraggio.

Acronimi e abbreviazioni

AGV Automotrice à Grande Vitesse (Automotrice ad Alta Velocità)

Summary - Technological innovation and constant monitoring of the "conditions of health" of the network are two essential pillars to guarantee the safety and sustainability of modern railway infrastructures. In this context, RFI's Innovation, Research and Development Testing and Experimentation Laboratories represent a reference point for research, experimentation and measurements on railway components. In the plant located in the heart of Rome, in Via di Portonaccio, activities are carried out regarding tests on materials, measurements on civil and railway works, electrical measurements, ATP tests, measures for the safety of workers, certified calibrations and environmental impact analysis, according to the quality standard provided by the International Standards. The Laboratories stand out for their monitoring and analysis activities, thanks also to collaborations with universities and research institutions, and inheriting the valuable *know-how* of the Experimental Institute thus providing an important contribution to the continuous improvement of the performance of the national railway infrastructure. Recently, the Testing and Experimentation Environments, Infrastructure and Laboratory Environment organisation conducted a measurement campaign on four entry and exit turnouts of a station located on an HS/HC line in order to observe and analyse the phenomena that occur, on the infrastructure side, at the transit of a railway convoy. This article describes the activity carried out, the technologies used and the results of the monitoring.

Acronyms and abbreviations

AGV (Automotrice à Grande Vitesse) High Speed Railcar

(*) Ricerca e Sviluppo / RFI S.p.A.

(**) Laboratori di Innovazione, Prove e Sperimentazioni / Ricerca e Sviluppo / RFI S.p.A.

(*) Research and Development / RFI S.p.A.

(**) Innovation, Testing and Experimentation Laboratories / Research and Development / RFI S.p.A.

ATP	<i>Accord Transport Perissable</i> (Accordo di Trasporto Deperibile)
AV/AC	Alta Velocità/Alta Capacità
ETR	Elettrotreno
MOT	Manovra Oleodinamica in Traversa
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
SO	Sistema Oleodinamico

ATP	<i>(Accord Transport Perissable) Agreement for Transport of Perishable products,</i>
AV/AC	<i>High Speed/High Capacity</i>
ETR	<i>Electric train</i>
MOT	<i>Hydraulic actuator in Sleeper</i>
RFI	<i>Italian Railway Network</i>
SO	<i>Hydraulic System</i>

1. Introduzione

Il deviatoio rappresenta uno degli elementi più critici all'interno dell'infrastruttura ferroviaria, in quanto sottoposto a carichi dinamici considerevoli dovuti al transito dei treni ed esposto ad un'usura accentuata a causa della geometria dei suoi componenti [1][2] (ad esempio, la sezione ridotta degli aghi in punta, la presenza di vari componenti della cassa di manovra ecc...). Per tale motivo, può essere oggetto di consumo rapido, come si è verificato per il sito oggetto delle misure, in cui è stata registrata un'usura anomala della punta dell'ago accosto in deviata in due deviatoi di uscita dai binari di stazionamento impegnati di calcio [4] (evidenziati in Fig. 1). Per analizzare il comportamento dell'infrastruttura durante il traffico commerciale e valutare la risposta dei deviatoi agli interventi manutentivi, è stato condotto un monitoraggio mirato degli spostamenti e delle accelerazioni degli aghi accosti in deviata e dei contraghi, di quattro deviatoi in ingresso e/o uscita dalla stazione. I dati raccolti possono essere utili per le unità manutentive di RFI, consentendo di verificare l'efficacia degli interventi effettuati. Per avere un quadro generale dello stato dell'infrastruttura ed elementi di riferimento per successivi confronti, oltre ai due deviatoi in uscita dalla stazione, sono stati monitorati anche i due deviatoi di immissione ai binari di stazionamento.

2. Descrizione del sito di misura

I quattro deviatoi monitorati si trovano su un tratto di linea ferroviaria AV/AC e sono di tipo S 60 UNI/400/0.074, cioè presentano uno scambio semplice (S), un tipo di rotaia 60UNI (con un peso lineare di 60 kg al metro) e caratterizzati da un raggio di 400 m e tangente 0.074. In particolare, con lo scopo sopra indicato, sono stati monitorati i seguenti deviatoi:

- Deviatoio "a": impegnato di calcio, per uscire dalla stazione ed immettersi sul binario di corsa dispari della linea AV.
- Deviatoio "b": impegnato di calcio, per uscire dalla stazione ed immettersi sul binario di corsa pari della linea AV.
- Deviatoio "c": impegnato di punta per immettersi dal binario di corsa pari a quello di stazionamento (n.1).
- Deviatoio "d": impegnato di calcio per immettersi dal binario di corsa pari (deviatoio 14) a quello di stazionamento (n.1).

1. Introduction

The turnout represents one of the most critical elements within the railway infrastructure, as it is subjected to considerable dynamic loads due to the transit of trains and exposed to accentuated wear due to the geometry of its components [1][2] (for example, the reduced section of the switch toe, the presence of various components of the point machine, etc.). For this reason, it can be subject to rapid consumption, as occurred for the site subject to the measurements, in which abnormal wear of the toe of the curved switch blade in two outlet switch from the stabling tracks trailing the point [4] (highlighted in Fig. 1) was recorded. To analyse the behaviour of the infrastructure during commercial traffic and evaluate the response of the turnouts to maintenance interventions, a targeted monitoring of the displacements and accelerations of the curved switch blades and of the stock rails, of four turnouts entering and/or exiting the station was carried out. The data collected can be useful for RFI maintenance units, allowing them to verify the effectiveness of the interventions carried out. In order to have a general picture of the condition of the infrastructure and reference elements for subsequent comparisons, in addition to the two turnouts exiting the station, the two entry turnouts to the stabling tracks were also monitored.

2. Description of the measuring site

The four turnouts monitored are located on a section of HS/HC railway line and are type S 60 UNI/400/0.074, that is, they have a simple turnout (S), a 60UNI rail type (with a linear weight of 60 kg per metre) and are characterised by a radius of 400 m and tangent of 0.074. In particular, the following turnouts were monitored with the purpose indicated above:

- Turnout "a": trailing the point, to exit the station and enter the down line of the HS line.
- Turnout "b": trailing the point, to exit the station and enter the up line of the HS line.
- Turnout "c": taking a set of facing points to enter from the up main track to the stabling track (no.1).
- Turnout "d": trailing the point to enter from the down main track (turnout 14) to the stabling track (no.1).

The generic diagram of the turnouts considered is shown in Fig. 1.

Si riporta nella Fig. 1 lo schema generico dei deviatori in oggetto.

Tre dei deviatori monitorati (“a”, “b” e “c”) sono attrezzati con sistema di manovra oleodinamica SO6 e primo punto di manovra in traversa (MOT) come visibile in Fig. 2, mentre il deviatore “d” è attrezzato con manovra elettrica di tipo P80 (Fig. 3). Le misure sono state eseguite sia in corretto tracciato che in deviata, monitorando la risposta dell’infrastruttura alle sollecitazioni generate dal transito di diverse tipologie di treni ad alta velocità: ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 675 e ETR AGV 575.

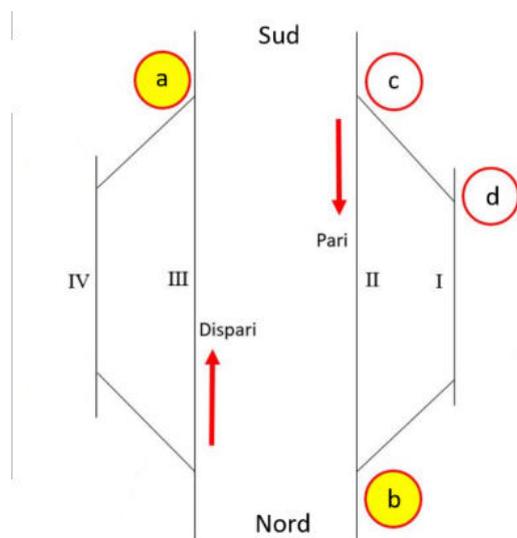


Figura 1 - Schema deviatori.
Figure 1 - Turnouts diagram.

3. Strumentazione tecnologica utilizzata

Uno dei punti di forza dei Laboratori di Ricerca e Sviluppo è l’uso di strumenti di misura ad alta precisione per l’acquisizione dei dati. Nel dettaglio, per monitorare il comportamento dinamico degli aghi e dei contraghi durante il passaggio dei treni, sono stati utilizzati:

1. accelerometri triassiali capaci di rilevare accelerazioni di aghi e contraghi nelle tre direzioni principali: longitudinale, trasversale e verticale e caratterizzati da sensibilità 1.02 mV/(m/s²), range di misura ±4905 m/s² pk e range di frequenza (±5%) da 1 a 9000 Hz;
2. trasduttori di spostamento laser a triangolazione utilizzati per monitorare gli spostamenti verticali e trasversali degli aghi e dei contraghi. Questi trasduttori sono caratterizzati da un’elevata precisione, con una

Three of the monitored turnouts (“a”, “b” and “c”) are equipped with SO6 hydraulic actuated system and first sleeper actuating point (MOT) as shown in Fig. 2, while turnout “d” is equipped with type P80 electric actuator (Fig. 3). The measurements were carried out both on the main track and on the diverging track, monitoring the response of the infrastructure to the stresses generated by the transit of different types of high-speed trains: ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 675 and ETR AGV 575.

3. Technological instrumentation used

One of the strengths of the Research and Development Laboratories is the use of high-precision measuring instruments for data acquisition. In detail, the following were used to monitor the dynamic behaviour of the switch blades and stock rails during the transit of the trains:

1. triaxial accelerometers capable of detecting accelerations of switch blades and stock rails in the three main directions: longitudinal, transverse and vertical and characterised by a sensitivity of 1.02 mV/(m/s²), a measurement range of ±4905 m/s² pk and a frequency range (±5%) from 1 to 9000 Hz;
2. triangulation laser displacement transducers used to monitor the vertical and transverse displacements of the switch blades and stock rails. These transducers are characterised by high precision, with a linearity of ±20 µm and a repeatability of up to 1 µm;
3. data acquisition system consisting of a data acquisition device and two amplifiers, one for accelerometric signals and one for displacement signals.

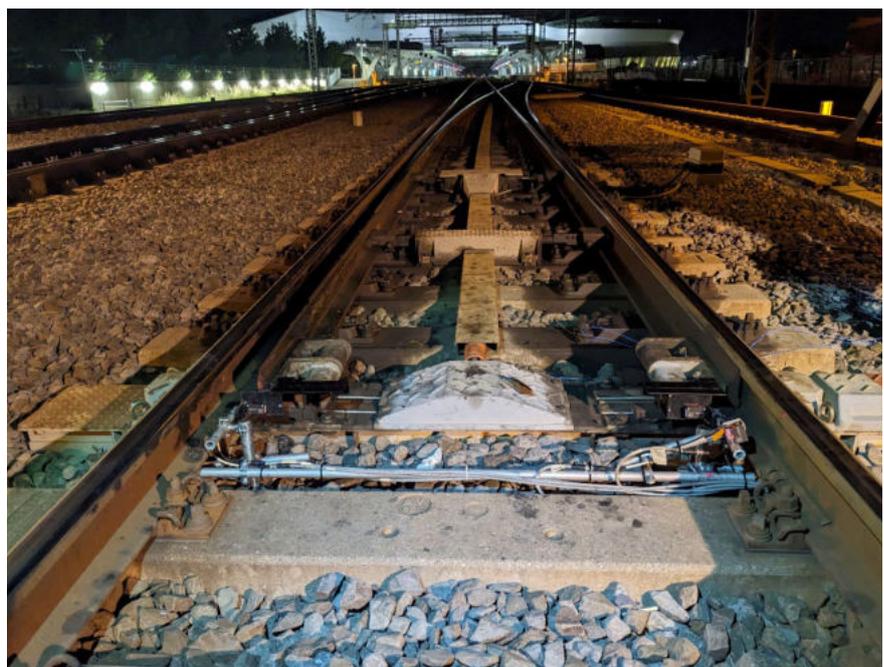


Figura 2 – Deviatore strumentato e attrezzato con sistema di manovra MOT.
Figure 2 – Turnout instrumented and equipped with MOT manoeuvring system.

linearità di $\pm 20 \mu\text{m}$ e una ripetibilità fino a $1 \mu\text{m}$;

3. sistema di acquisizione dati composto da un acquisitore e due amplificatori, di cui uno per i segnali accelerometrici ed uno per quelli di spostamento.

Come sintetizzato in Fig. 4 ogni deviatoio è stato strumentato con:

- un accelerometro triassiale su ciascuna zampa del primo punto di manovra, per monitorare le accelerazioni sulla punta degli aghi;
- due laser per ciascun ago, posizionati in punta, per monitorarne lo spostamento verticale e trasversale (vedi Fig. 5);
- un accelerometro triassiale sul contrago ed uno sull'ago lato accosto in deviata, a 3 m dalla punta (vedi Fig. 6a);
- due laser per monitorare lo sposta-



Figura 3 – Deviatoio strumentato e attrezzato con sistema di manovra P80.
Figure 3 – Turnout instrumented and equipped with P80 manoeuvring system.

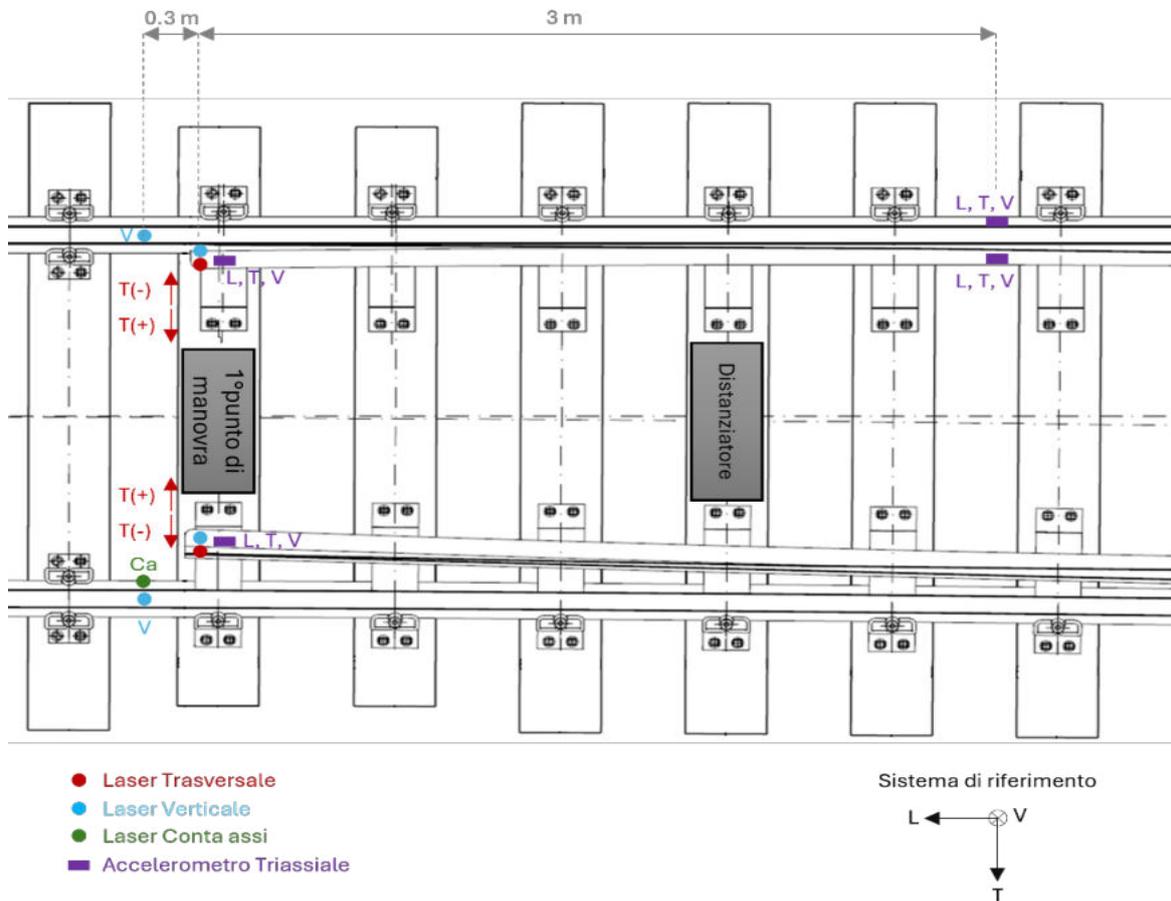


Figura 4 – Schema sensori installati
Figure 4 – Installed sensors diagram.

mento verticale dei contraghi in prossimità della punta (vedi Fig. 6b).

4. Metodologia di Acquisizione ed Elaborazione dei Dati

Il sistema di acquisizione è stato programmato per rilevare i dati con una frequenza di campionamento di 2400 Hz, utilizzando un filtro anti-aliasing passa-basso da 500 Hz. Le acquisizioni, aventi una durata di 40 secondi ognuna, sono attivate automaticamente al passaggio del treno mediante un trigger impostato al superamento di una soglia minima di accelerazione.

Per ogni deviatoio, il monitoraggio ha avuto una durata minima di 24 ore. Successivamente, per ogni singolo deviatoio e per tipologia di treno (ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 675, ETR AGV 575) sono stati scelti dieci transiti, di cui cinque in corretto tracciato e cinque in deviata. La scelta è stata effettuata selezionando, tra tutti quelli acquisiti, i transiti con meno disturbi esterni del segnale. Successivamente, i dati grezzi registrati dal sistema di acquisizione sono stati elaborati per isolare l'evento del transito del treno, azzerando il segnale e rimuovendo eventuali disturbi esterni.

4.1. Elaborazione dei segnali accelerometrici.

Partendo dal dato grezzo, di cui si riporta una *time-history* di esempio in Fig. 7, i segnali accelerometrici sono stati processati con il duplice obiettivo di individuare sia il valore assoluto del picco del segnale grezzo sia il picco di RMS (*Root Mean Square*).

Per ogni segnale accelerometrico analizzato è stato calcolato il modulo, portando quindi la curva del segnale in positivo, ed individuato il picco di accelerazione assoluta (vedi Fig. 8).

Al fine di ottenere una curva che sia rappresentativa del valore medio del segnale, limitando l'influenza di eventuali picchi isolati ma non trascurando l'effetto di picchi ripetuti, è stato calcolato il valore quadratico medio mobile (RMS mobile) con finestra temporale e riduzione di 0.1 s, ritenuto più indicativo rispetto alla semplice media aritmetica.

Da questa curva, sono stati calcolati i picchi di RMS (vedi Fig. 9) utilizzati in fase di analisi come valori di confronto.

4.2. Elaborazione dei segnali di spostamento

I segnali acquisiti sono stati elaborati con il fine di identificare picchi po-

As summarised in Fig. 4 each turnout was set up with:

- a triaxial accelerometer on each pad of the first actuating point, to monitor accelerations on the point of the needles;
- two lasers for each switch blade, positioned at the point, to monitor their vertical and transverse displacement (see Fig. 6a);
- a triaxial accelerometer on the stock rail and one on the curved switch blade, 3 m from the point (see Fig. 6a);
- two lasers to monitor the vertical displacement of the stock rails near the point (see Fig. 6b).

4. Data Acquisition and Processing Methodology

The acquisition system was programmed to detect data with a sampling frequency of 2400 Hz, using a 500 Hz low-pass anti-aliasing filter. The acquisitions, each lasting 40 seconds, are automatically activated when the train transits by means of a trigger set upon exceeding a minimum acceleration threshold.

For each turnout, the monitoring had a minimum duration of 24 hours. Subsequently, ten transits were chosen for each individual turnout and by type of train (ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 675, ETR AGV 575), of which five on the main track and five on the diverging track. The choice was made by selecting the transits with the least external signal disturbances among all those acquired. Subsequently,



Figura 5 – Sensori laser per il monitoraggio degli spostamenti in punta
Figure 5 – Laser sensors for monitoring point movements.



Figura 6 – Accelerometri (6a) e sensori laser (6b) installati per il monitoraggio.
 Figure 6 – Accelerometers (6a) and laser sensors (6b) installed for monitoring.

sitivi e negativi rappresentativi di un movimento degli aghi e dei contraghi.

Per ogni singolo segnale di spostamento verticale e trasversale, di cui si riporta un esempio in Fig. 10, è stato calcolato:

- il picco di spostamento positivo, che:
 - per i laser verticali, indica uno spostamento verso l'alto dell'ago e/o del contrago;
 - per i laser trasversali, indica che l'ago si discosta dal contrago;
- il picco di spostamento negativo, che:
 - per i laser verticali, indica uno spostamento verso il basso dell'ago e/o del contrago;
 - per i laser trasversali, indica che l'ago si accosta al contrago.

5. Risultati delle Misurazioni

I dati raccolti durante il monitoraggio hanno fornito informazioni importanti sul comportamento dei deviatori sottoposti a diversi carichi dinamici.

5.1. Accelerazioni

Le misurazioni accelerometriche hanno mostrato che le accelerazioni verticali sono generalmente più alte rispetto a quelle trasversali e longitudinali, con picchi di intensità maggiore in corretto tracciato. Questo comportamento è correlato alla velocità dei treni e alle caratteristiche del corretto tracciato rispetto alla deviata. In generale, è emerso che i convogli più lunghi e con carico per asse maggiore, generano i picchi di accelerazione più alti sia in corretto tracciato che in deviata.

Nessuno dei valori di picco assoluto registrato supera il

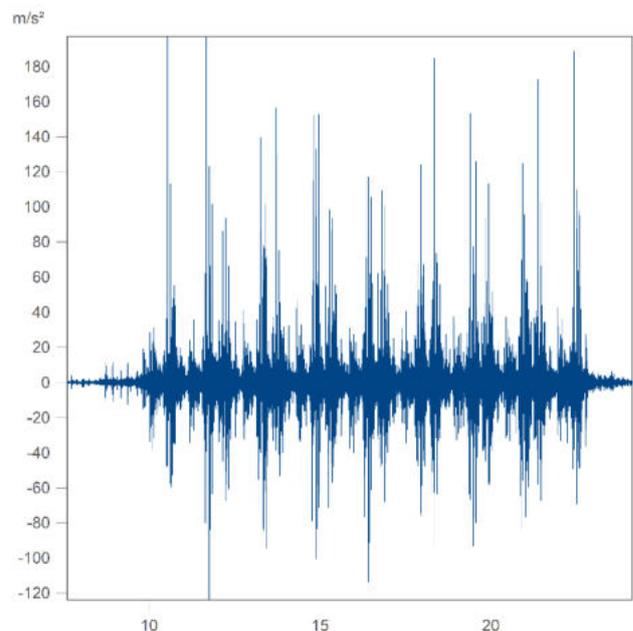


Figura 7 – Componente verticale del segnale accelerometrico nel tempo.
 Figure 7 – Vertical component of the accelerometric signal over time.

the raw data recorded by the acquisition system was processed to isolate the train transit event, zeroing the signal and removing any external disturbances.

4.1. Processing of accelerometric signals.

Starting from the raw data, of which an example time-history is reported in Fig. 7, the accelerometric signals were processed with the dual objective of identifying both the

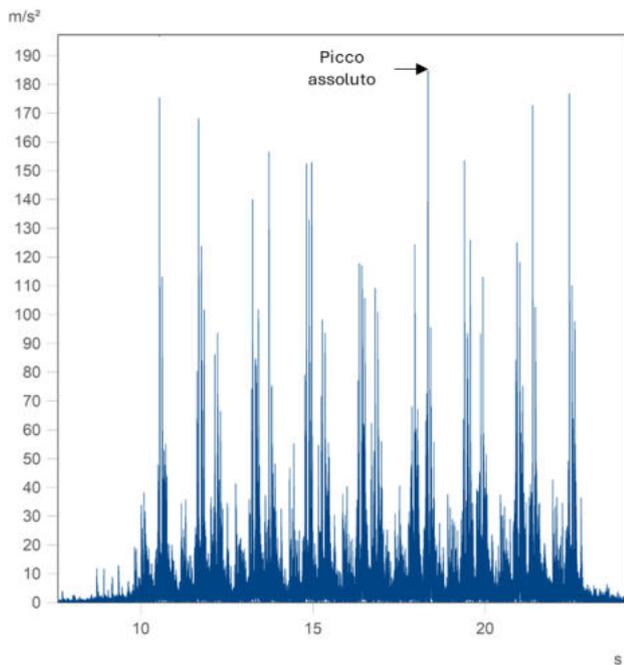


Figura 8 – Esempio di segnale per calcolo del picco di accelerazione massima assoluta
 Figure 8 – Example of signal for calculation of the maximum absolute acceleration peak.

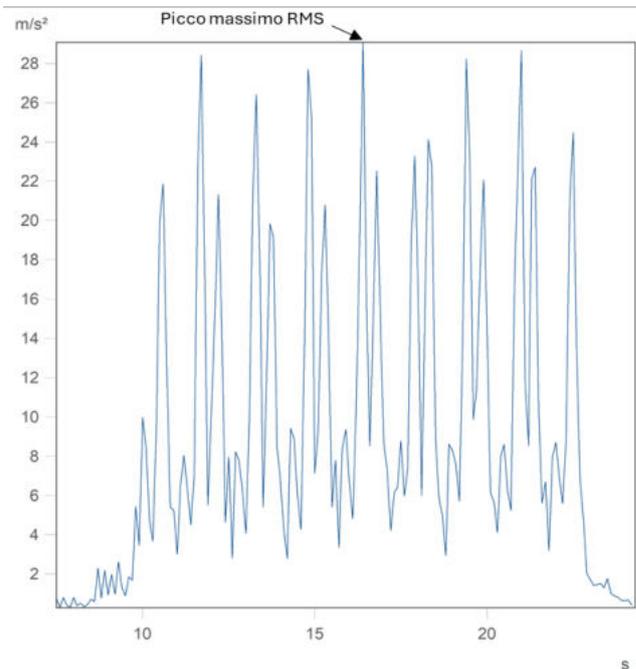


Figura 9 – Esempio di curva RMS da cui sono stati calcolati i picchi massimi di RMS.
 Figure 9 – Example of RMS curve from which the maximum RMS peaks were calculated.

valore di riferimento per gli urti verticali riportati nella normativa CEI EN 50125-3:2004 [5] in cui si definiscono le condizioni ambientali che possono essere incontrate in linea.

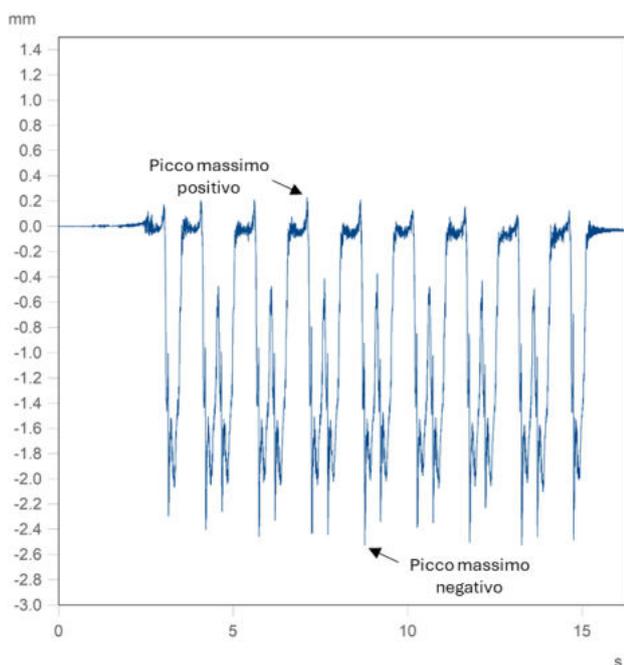


Figura 10 – Esempio della time-history di un segnale laser.
 Figure 10 – Example of the time-history of a laser signal.

absolute value of the peak of the raw signal and the peak in RMS (Root Mean Square).

The modulus was calculated for each accelerometric signal analysed, thus bringing the signal curve to positive, and identifying the absolute acceleration peak (see Fig. 8).

In order to obtain a curve that is representative of the average value of the signal, limiting the influence of any isolated peaks but not neglecting the effect of repeated peaks, the moving mean square value (moving RMS) was calculated with time frame and reduction of 0.1 s, considered more indicative than the simple arithmetic average.

The RMS peaks (see Fig. 9) used in the analysis phase as comparison values were calculated from this curve.

4.2. Processing of displacement signals.

The acquired signals were processed in order to identify positive and negative peaks representative of a displacement of the switch blades and stock rails.

The following has been calculated for each individual vertical and transverse displacement signal, an example of which is given in Fig. 10:

- the positive displacement peak, which:
 - for vertical lasers, indicates an upward movement of the switch blade and/or stock rail;
 - for transverse lasers, indicates that the switch blade deviates from the stock rail;

5.2. Spostamenti

Gli spostamenti degli aghi e dei contraghi hanno rivelato alcune differenze nella risposta dell'infrastruttura al transito in corretto tracciato o in deviata. Nei grafici sottostanti si riportano mediante istogrammi, le medie degli spostamenti verticali e trasversali degli aghi accosti sia in corretto tracciato (Fig. 11 e Fig. 12) che in deviata (Fig. 13 e Fig. 14) e le medie degli spostamenti verticali dei contraghi per i quattro deviatoi monitorati (Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 e Fig. 14). Da quanto osservato sperimentalmente, emerge che:

- in direzione trasversale, l'ago accosto in deviata si sposta di più rispetto a quando lo stesso deviatoio viene percorso in corretto tracciato, suggerendo una maggiore sollecitazione della struttura durante i transiti in deviata, conseguente anche alla geometria del tracciato;
- riguardo gli spostamenti in direzione verticale si può notare che, sebbene siano nell'ordine di pochi mm, la punta dell'ago accosto in deviata del deviatoio "a" si sposta verso l'alto circa tre volte in più rispetto a quanto avviene in corretto tracciato ed in generale, questo movimento risulta più marcato anche in confronto con gli altri due deviatoi dotati dello stesso sistema di manovra oleodinamico (deviatoio "b" e deviatoio "c");
- il deviatoio "d", che viene percorso solamente in deviata, evidenzia nel complesso una mobilità maggiore rispetto agli altri deviatoi.

6. Considerazioni emerse dall'analisi dei dati

Focalizzandoci sull'ago accosto in deviata, che è oggetto di attenzione maggiore a causa della sua usura precoce, i risultati sperimentali hanno evidenziato un comportamento differente tra i vari deviatoi analizzati. Si ricorda che, mentre il deviatoio "d" ha un sistema di manovra di tipo P80, gli altri tre (deviatoio "a", "b" e "c") hanno sistema di manovra oleodinamica SO6 con primo punto di manovra in traversa (MOT). Inoltre, i deviatoi "a" e "b" vengono impegnati di calcio, mentre il deviatoio "c" viene impegnato di punta. Tenendo conto di queste differenze emergono le seguenti osservazioni.

6.1. Comportamento del deviatoio "d"

Sebbene nel deviatoio "d" sono stati registrati spostamenti maggiori dell'ago accosto in deviata rispetto agli altri tre deviatoi analizzati, probabilmente la differente architettura del sistema di manovra elettrico P80 è tale da generare una rigidità del sistema complessivo che sembra tollerare meglio movimenti più ampi senza degenerare in un'usura rapida ed eccessiva all'ago. Inoltre, c'è da considerare come variabile anche la rigidità della sottostruttura ferroviaria che può influenzare la risposta dinamica del deviatoio. Se il deviatoio "d" è installato su un'infrastruttura con una maggiore capacità di dissipare

- *the negative displacement peak, which:*
 - *for vertical lasers, indicates a downward movement of the switch blade and/or stock rail;*
 - *for transverse lasers, indicates that the switch blade approaches the stock rail.*

5. Results of measurements

The data collected during monitoring provided important information on the behaviour of turnouts subjected to different dynamic loads.

5.1. Accelerations

Accelerometric measurements showed that vertical accelerations are generally higher than transverse and longitudinal ones, with peaks of greater intensity in the main track. This behaviour is related to the speed of the trains and the characteristics of the main track compared to the diverted track. In general, it was found that longer convoys with greater axle load generate the highest acceleration peaks both on the main track and in diverted track.

None of the absolute peak values recorded exceeds the reference value for vertical impacts reported in the CEI EN 50125-3:2004, [5], which defines the environmental conditions that can be encountered online.

5.2. Displacements

The displacements of the switch blades and stock rails revealed some differences in the response of the infrastructure to transit in the main track or in diverted track. The graphs below show, by means of histograms, the averages of the vertical and transverse displacements of the curved switch blades both on the straight position (Fig. 11 and Fig. 12) and on the diverging position (Fig. 13 and Fig. 14) and the averages of the vertical displacements of the stock rails for the four monitored turnouts (Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 and Fig. 14). From what has been observed experimentally, it emerges that:

- *in the transverse direction, the curved switch blade moves more than when the turnout itself is trailed in the straight position, suggesting greater stress on the structure during the diverging transits, also consequent to the geometry of the route;*
- *regarding the displacements in the vertical direction, it can be noted that, although they are in the order of a few mm, the toe of the curved switch blade of turnout "a" moves upwards about three times more than what occurs in the straight position and in general, this displacement is also more pronounced in comparison with the other two turnouts equipped with the same hydraulic actuated system (turnout "b" and turnout "c");*
- *turnout "d", which is only trailed in diverging position, overall shows greater mobility than the other turnouts.*

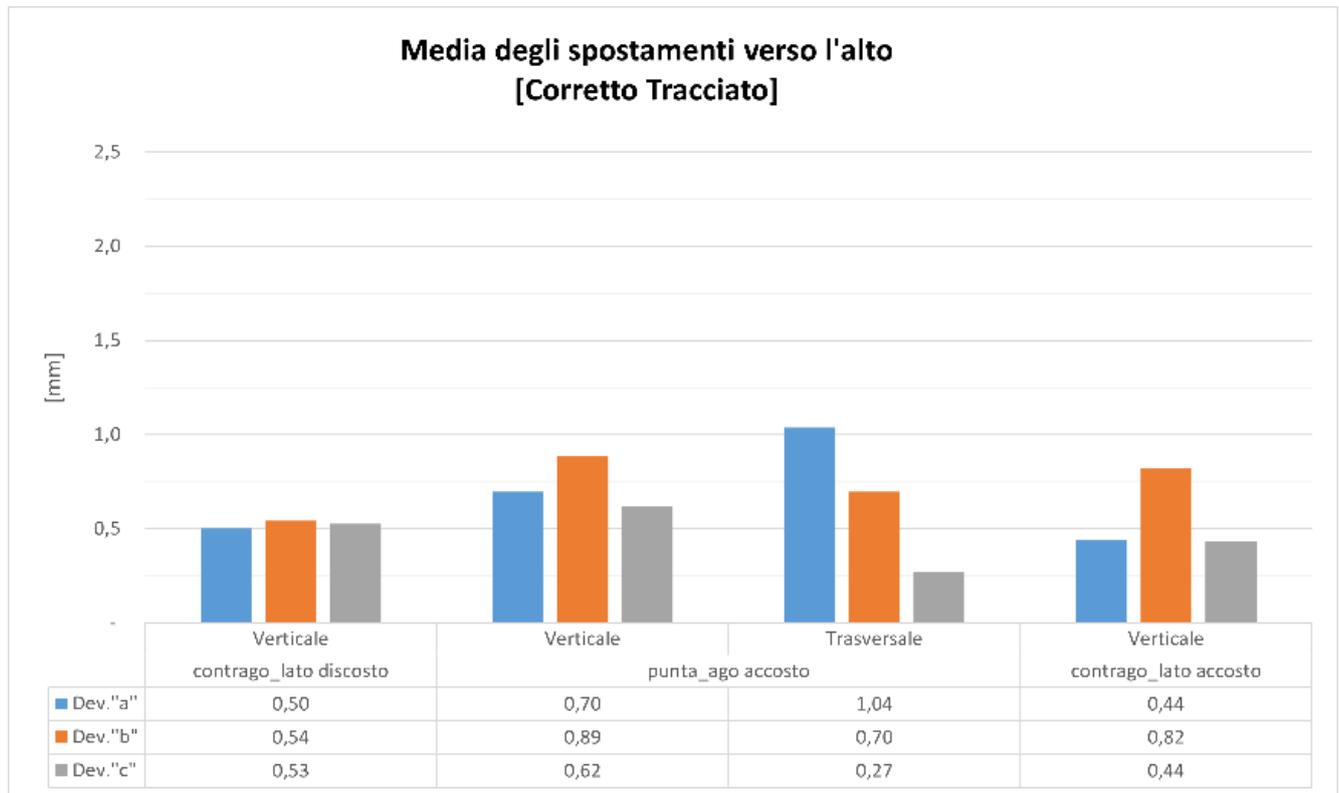


Figura 11 – Medie dei massimi spostamenti verso l'alto in corretto tracciato.
Figure 11 – Averages of the maximum upward movements in the straight position.

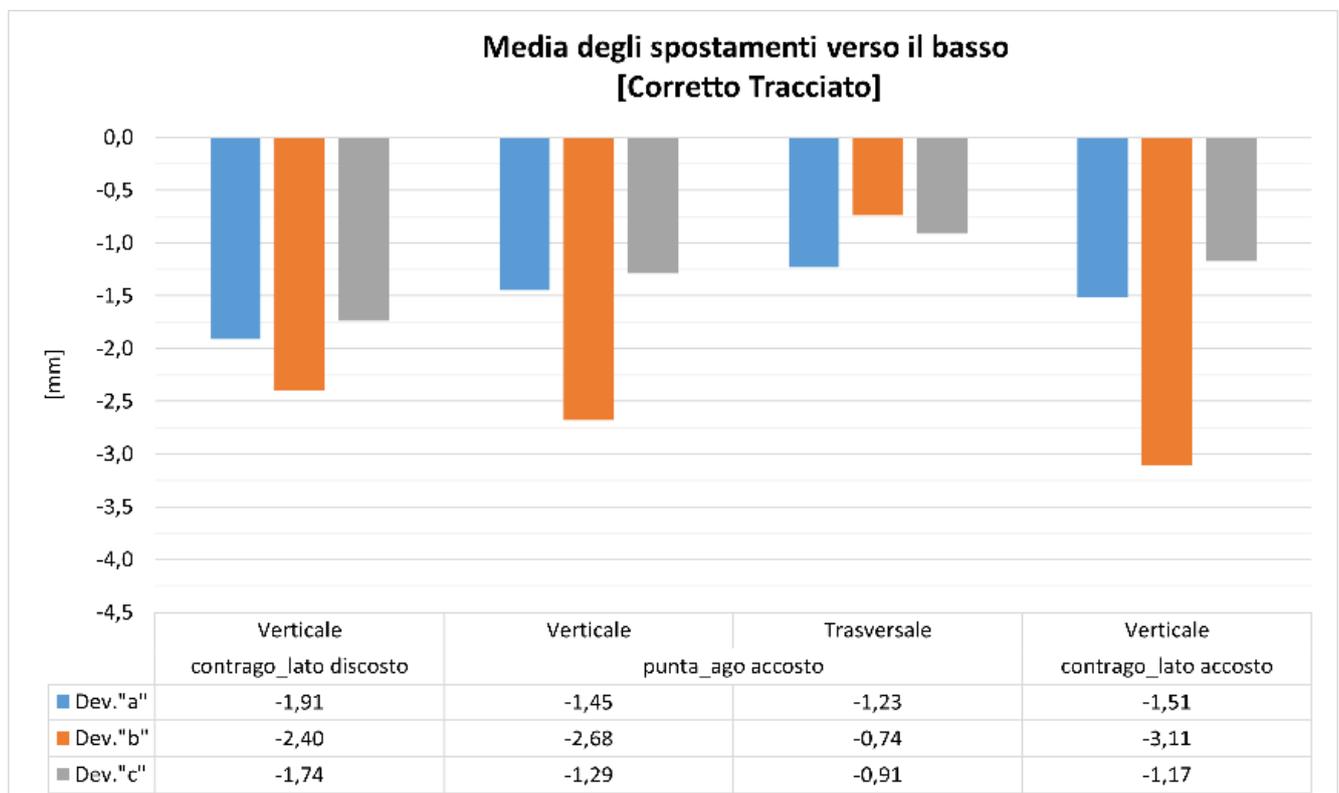


Figura 12 – Medie dei massimi spostamenti verso il basso in corretto tracciato.
Figure 12 – Averages of the maximum downward movements in the straight position.

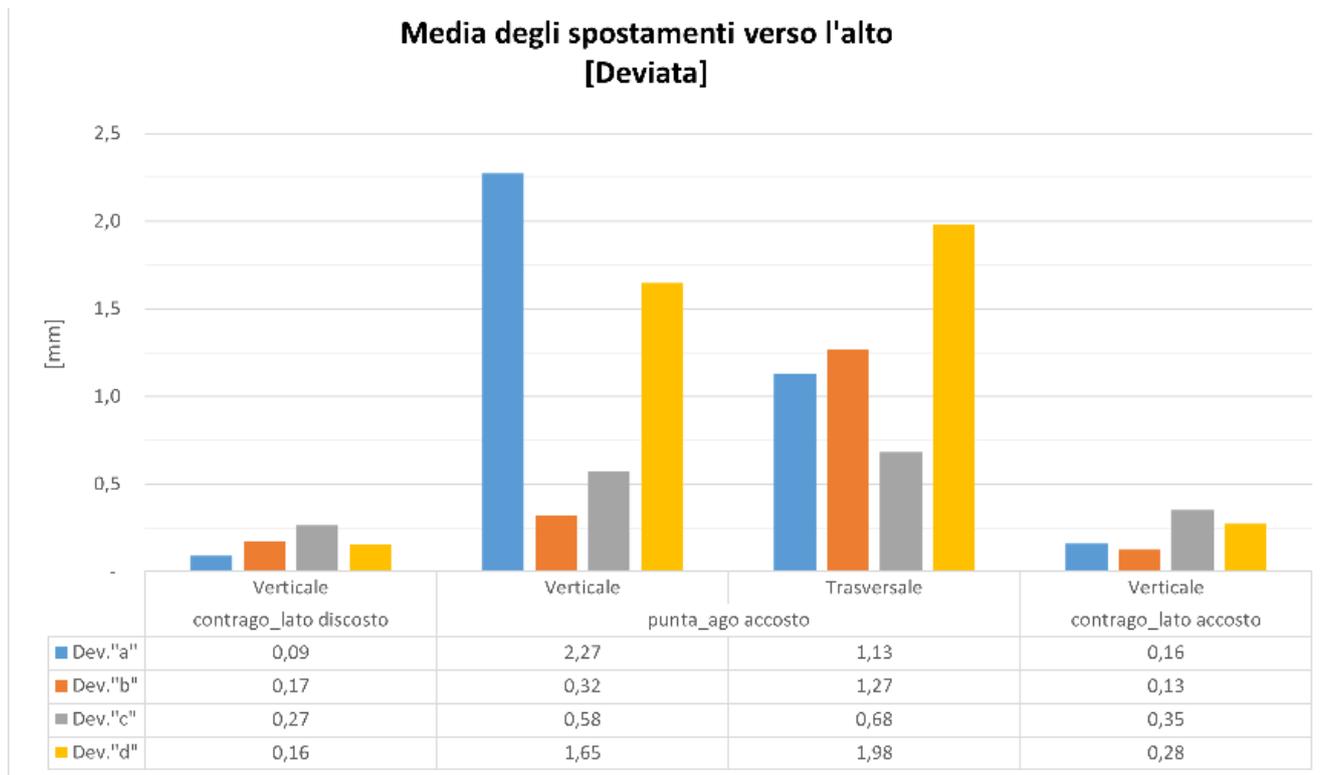


Figura 13 – Medie dei massimi spostamenti verso l'alto in deviata.
Figure 13 – Averages of the maximum upward movements in diverging position.

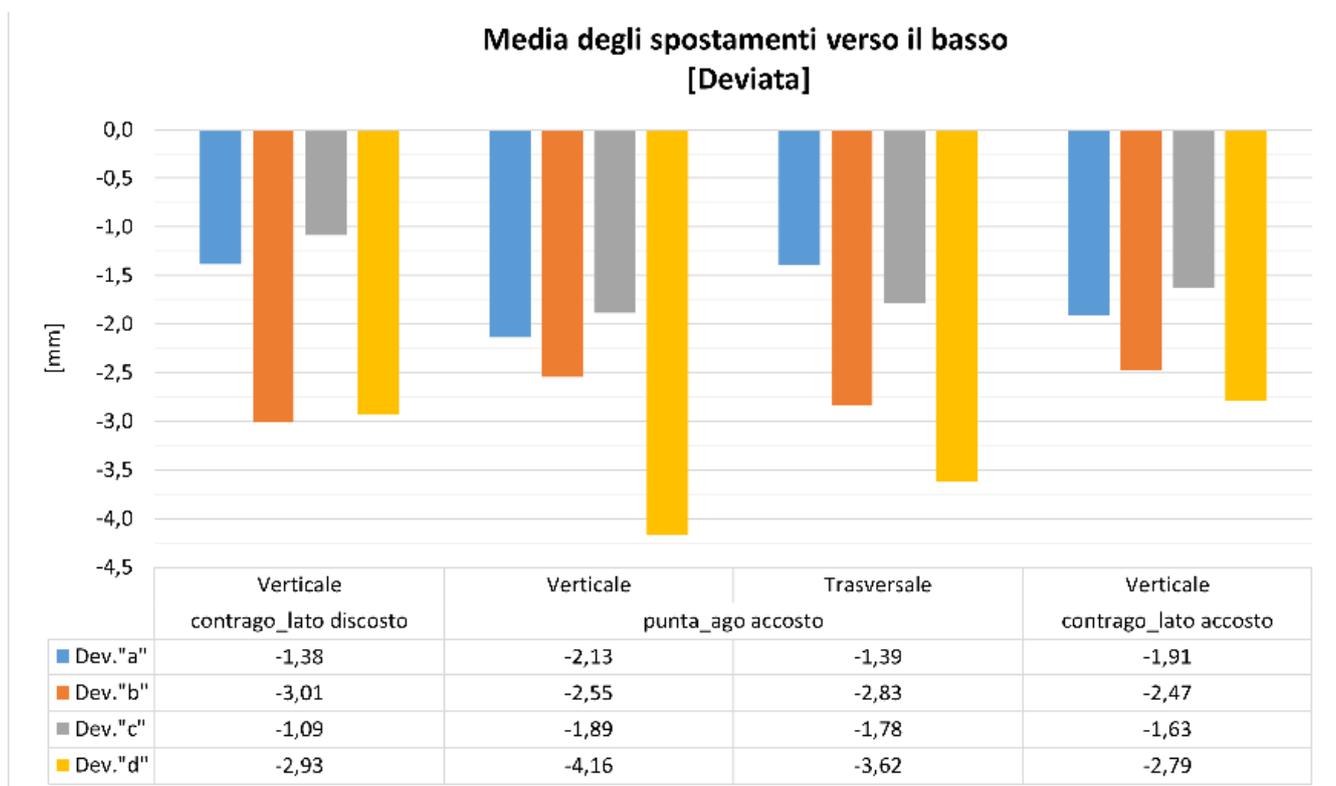


Figura 14 – Medie dei massimi spostamenti verso il basso in deviata.
Figure 14 – Averages of the maximum downward movements in diverging position.

le forze dinamiche, i movimenti più marcati non necessariamente sono la causa diretta di un'usura accelerata dell'ago. Per tale ragione, queste risultanze sperimentali possono essere utilizzate per mettere in relazione la risposta della sovrastruttura con le proprietà meccaniche della sottostruttura sottostante e quindi fornire informazioni ai manutentori sull'attività di rinalzata.

6.2. Confronto tra deviatoio "a" ed il deviatoio "b"

Dei tre deviatoi con sistema di manovra oleodinamica SO6, ci si è concentrati sul confronto tra il comportamento dei deviatoi "a" e "b" in quanto, sebbene siano entrambi in uscita dai binari di stazionamento e vengono percorsi di calcio circa alla stessa velocità, mostrano un comportamento diverso.

Una delle osservazioni più rilevanti emerse dal monitoraggio riguarda il diverso comportamento della punta dell'ago accosto in deviata, che nel deviatoio "a" subisce spostamenti verso l'alto più importanti rispetto al deviatoio "b". In Fig. 15 si riporta, a titolo di esempio, un estratto della *time-history* degli spostamenti verticali dell'ago accosto in deviata al transito di un ETR 1000 sui deviatoi "a" e "b". Durante il transito in deviata del convoglio ferroviario, l'ago accosto tende ad alzarsi e contemporaneamente ad allontanarsi dal contrago prima che l'asse del carrello arrivi sulla punta del deviatoio, mentre al transito dell'asse sulla punta l'ago tende ad abbassarsi e ad accostarsi al contrago.

Si è osservato che questo comportamento si ripete per ogni carrello e per ogni tipologia di treno.

6.3. Sincronizzazione con la posizione del treno

Per comprendere il comportamento dell'ago durante il transito del treno, i dati di spostamento ottenuti dalla *time-history* sono stati correlati alla posizione degli assi. Per individuare la posizione esatta del treno nel momento in cui si registra l'innalzamento massimo della punta dell'ago accosto in deviata, si è calcolato:

- il tempo trascorso tra il picco dello spostamento verso l'alto dell'ago ed il transito dell'asse del carrello sulla punta (individuato nella *time-history* riportata in Fig. 15 come il picco di spostamento negativo);
- la velocità puntuale dei carrelli (noto il passo), al momento del transito sulla punta dell'ago.

L'analisi dei dati ha rivelato che i picchi di spostamento verticale dell'ago accosto in deviata si verificano quando gli assi del treno si trovano circa 1,90 m prima dalla punta. Per validare questa osservazione, sono stati analizzati i dati relativi a diverse tipologie di treni (ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 575, ETR AGV 675) e si è notato che, indipendentemente da questa variabile, la *time-history* ha un comportamento simile, confermando la tendenza dell'ago accosto in deviata a raggiungere il picco di spostamento verticale quando l'asse del treno è situato a circa 1,90 m dalla punta.

6. Considerations arising from data analysis

Focusing on the curved switch blade, which is the subject of greater attention due to its premature wear, the experimental results showed a different behaviour between the various turnouts analysed. It should be remembered that, while turnout "d" has a P80 type actuating system, the other three (turnout "a", "b" and "c") have a SO6 hydraulic actuated system with first sleeper actuating point (MOT). Furthermore, turnouts "a" and "b" are trailing the point, while turnout "c" is taking a set of facing points. Taking these differences into account, the following observations emerge.

6.1. Behaviour of turnout "d"

Although in turnout "d" greater displacements of the curved switch blade have been recorded compared to the other three turnouts analysed, the different architecture of the P80 electrical actuating system is probably such as to generate rigidity of the overall system that seems to better tolerate broader movements without degenerating into rapid and excessive wear on the switch blade. Furthermore, the stiffness of the railway substructure that can affect the dynamic response of the turnout must also be considered as a variable. If turnout "d" is installed on an infrastructure with greater capacity to dissipate dynamic forces, the most pronounced movements are not necessarily the direct cause of accelerated switch blade wear. For this reason, these experimental results can be used to relate the response of the superstructure to the mechanical properties of the underlying substructure and thus provide information to maintainers on the tamping activity.

6.2. Comparison between turnout "a" and turnout "b"

Of the three turnouts with the SO6 hydraulic actuated system, the focus was on comparing the behaviour of turnouts "a" and "b" since they show a different behaviour, although they are both exiting the stabling tracks and are trailing the point at about the same speed.

One of the most important observations that emerged from the monitoring concerns the different behaviour of the toe of the curved switch blade, which in turnout "a" undergoes more important upward displacements than turnout "b". By way of example, Fig. 15 shows an extract of the time-history of the vertical displacements of the curved switch blade upon transit of an ETR 1000 on turnouts "a" and "b". During the transit on the diverging track of the railway convoy, the curved switch blade tends to rise and at the same time move away from the stock rail before the axis of the bogie arrives at the point of the turnout, while at the transit of the axis on the point the switch blade tends to lower and approach the stock rail.

It was observed that this behaviour is repeated for each bogie and for each type of train.

6.3. Synchronisation with the position of the train

To understand the behaviour of the switch blade during train transit, the displacement data obtained from the time-history was related to the position of the axes. To identify the exact

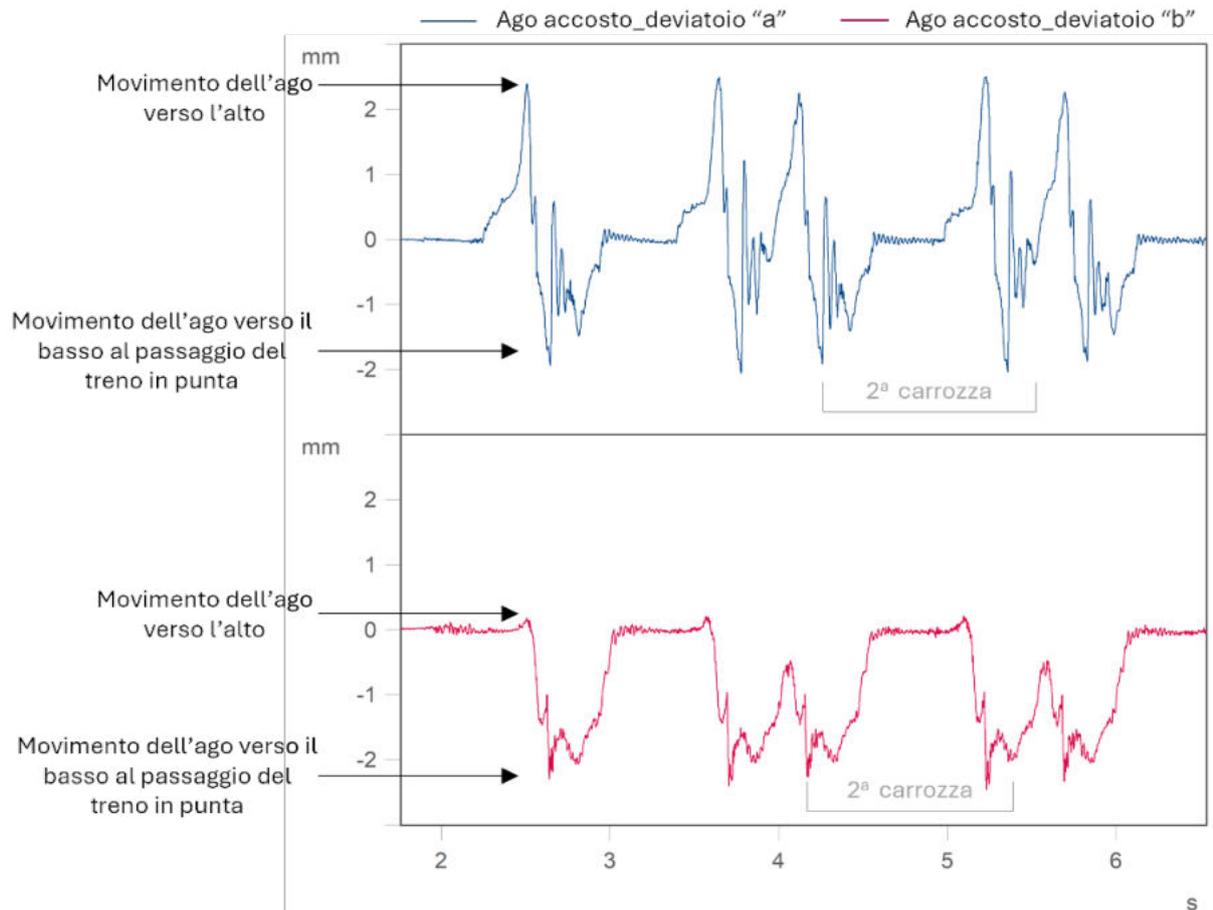


Figura 15 – Confronto spostamenti verticali in punta - ago accosto in deviata.
 Figure 15 – Comparison of vertical displacements at the point – curved switch blade.

7. Osservazioni finali

L'attività di monitoraggio, svolta con la finalità di supportare il committente nella valutazione degli interventi effettuati sull'infrastruttura, ha fornito informazioni in merito alle diverse risposte sotto carico delle due tipologie di deviatori studiati. Come evidenziato nel paragrafo 6.1, spostamenti maggiori non necessariamente sono sinonimo un'usura accelerata dell'ago, ma queste risultanze sperimentali possono essere utilizzate per relazionare la risposta di un certo tipo di sovrastruttura con la rigidità della sottostruttura ferroviaria. Queste informazioni potranno essere utilizzate dalle unità manutentive come indicazioni in merito all'efficacia delle azioni eseguite, fornendo evidenze utili all'ottimizzazione delle strategie manutentive future.

8. Sperimentazione in linea e modelli dinamici: un nuovo approccio alla manutenzione ferroviaria

La manutenzione dell'infrastruttura ferroviaria è un elemento cruciale per garantire efficienza, sicurezza e continu-

position of the train when the maximum elevation of the point of the curved switch blade is recorded, we calculated:

- the time elapsed between the peak of the switch blade upward displacement and the transit of the bogie axis on the point (identified in the time-history shown in Fig. 15 as the negative displacement peak);
- the punctual speed of the bogies (knowing the pitch), at the time of transit on the point of the switch blade.

The analysis of the data revealed that the vertical displacement peaks of the curved switch blade occur when the axes of the train are about 1.90 m before the point. To validate this observation, data relating to different types of trains were analysed (ETR 1000, ETR 500, ETR AGV 575, ETR AGV 675) and it was noted that, regardless of this variable, the time-history has a similar behaviour, confirming the trend of the curved switch blade to reach the vertical displacement peak when the train axis is located about 1.90 m from the point.

7. Final remarks

The monitoring activity, carried out with the aim of supporting the client in the evaluation of the interventions carried



(Fonte – Source: immagine generata con IA - image generated with AI)

Figura 16 – Un nuovo approccio alla manutenzione ferroviaria.
Figure 16 – A new approach to railway maintenance.

ità operativa del sistema ferroviario. Negli ultimi anni, l'uso dei treni diagnostici ha permesso di raccogliere una mole significativa di dati riguardanti lo stato della rete osservata "da bordo treno" [3]. Unire queste informazioni con i dati sperimentali raccolti mediante monitoraggi diretti sull'armamento ferroviario, con una visuale "da terra", potrebbe consentire di studiare la risposta dei componenti dell'infrastruttura da una prospettiva complementare a quella tradizionale (vedi Fig. 16, riportata a solo scopo illustrativo). Utilizzare queste informazioni come input per analisi dinamiche realizzabili tramite modelli avanzati potrebbe portare alla definizione di un quadro complessivo e sinergico delle condizioni operative dell'infrastruttura, permettendo di pianificare interventi di manutenzione più mirati, riducendone tempi e costi.

L'esperienza acquisita dai Laboratori di Innovazione, Prove e Sperimentazioni di RFI in questo tipo di attività in linea costituisce una base solida per estendere questo nuovo approccio di monitoraggio ad altre tratte ferroviarie, contribuendo a ottimizzare le attività di manutenzione su scala nazionale.

out on the infrastructure, provided information on the different responses under load of the two types of turnouts studied. As highlighted in paragraph 7.1, greater displacements are not necessarily synonymous with accelerated switch blade wear, but these experimental results can be used to relate the response of a certain type of superstructure to the stiffness of the railway substructure. This information can be used by the maintenance units as an indication of the effectiveness of the actions performed, providing useful evidence for the optimisation of future maintenance strategies.

8. Online experimentation and dynamic models: a new approach to railway maintenance

The maintenance of the railway infrastructure is a crucial element to ensure the efficiency, safety and operational continuity of the railway system. In recent years, the use of diagnostic trains has allowed collecting a significant amount of data regarding the conditions of the network observed "from the train" [3]. Combining this information with experimental data collected through direct monitoring of railway equipment, with a "ground" view, could allow us to study the response of the infrastructure components from a perspective complementary to the traditional one (see Fig. 16, reported for illustrative purposes only). Using this information as input for dynamic analyses achievable through advanced models could lead to the definition of an overall and synergistic picture of the operating conditions of the infrastructure, allowing more targeted maintenance interventions to be planned, reducing time and costs.

The experience gained by RFI's Innovation, Testing and Experimentation Laboratories in this type of online activity provides a solid basis for extending this new monitoring approach to other railway sections, helping to optimise maintenance activities on a national scale.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

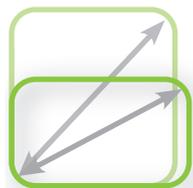
- [1] G. BONO, C. FOCACCI, S. LANNI - *La Sovrastruttura Ferroviaria* - CIFI Editore
- [2] L. MAYER - *Impianti ferroviari. Tecnica ed esercizio* - CIFI Editore
- [3] V. FINZI - *Apparecchiature e impianti di sicurezza* - CIFI Editore
- [4] Rete Ferroviaria Italiana - *Istruzione per il Servizio dei Deviatori in uso sull'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale*, su epodweb.rfi.it
- [5] CEI EN 50125-3:2004, Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Condizioni ambientali per le apparecchiature. Parte 3: Apparecchiature per il segnalamento e le telecomunicazioni



Guarda al futuro! SI alla traversa "green"



carico per asse
max. 22,5 to



traverse per binario e
traversoni & deviatoio



possibili modifiche con
attrezzi ordinari



durata in servizio
> 50 anni



Quantum computing nel settore ferroviario

Quantum computing in the railway sector

Marzia DE BARTOLOMEO^(*)
Giuseppe CAVALLERI^(**)
Antonio DE NICOLA^(***)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.02.2025.ART.2>)

Sommario - Il settore ferroviario, essenziale per il trasporto globale, affronta problematiche tecniche e gestionali di crescente complessità. Il quantum computing, tecnologia basata sui principi della meccanica quantistica, sta emergendo come una soluzione avanzata per migliorare l'efficienza operativa, grazie alla capacità di eseguire calcoli paralleli e risolvere problemi NP-hard (*non-deterministic polynomial-time hardness*). Algoritmi come il Quantum Annealing e il QAOA (*Quantum Approximate Optimization Algorithm*) consentono di ottimizzare processi critici, tra cui la pianificazione oraria e l'allocazione delle risorse, riducendo drasticamente i tempi di calcolo rispetto ai metodi tradizionali. Il modello QUBO (*Quadratic Unconstrained Binary Optimization*) rappresenta un approccio efficace per minimizzare ritardi e costi, ottimizzando la gestione operativa. L'integrazione con tecnologie IoT abilita un monitoraggio continuo delle infrastrutture, migliorando sicurezza e affidabilità. Questo lavoro delinea il potenziale del quantum computing per ottimizzare il settore ferroviario, aprendo la strada a un futuro più efficiente e sostenibile.

1. Introduzione

Nel settore ferroviario, l'ottimizzazione delle operazioni rappresenta una sfida continua, data la complessità dei problemi NP-hard, *non-deterministic polynomial-time hardness*, come la pianificazione degli orari e l'allocazione delle risorse. Tradizionalmente, questi problemi sono stati affrontati con metodi euristici e algoritmi di ottimizzazione classica, i quali, sebbene efficaci in molti casi, non riescono sempre a fornire soluzioni ottimali in tempi ragionevoli, specialmente con l'aumento della complessità delle reti ferroviarie.

Il *quantum computing* si propone come una tecnologia rivoluzionaria in questo contesto, grazie alla sua capacità di eseguire calcoli in parallelo e di esplorare simultanea-

Summary - The rail sector, which is essential to global transport, faces technical and management challenges of increasing complexity. Quantum computing, a technology based on the principles of quantum mechanics, is emerging as an advanced solution to improve operational efficiency, thanks to the ability to perform parallel calculations and solve NP-hard (*non-deterministic polynomial-time hardness*) problems. Algorithms such as Quantum Annealing and QAOA (*Quantum Approximate Optimization Algorithm*) make it possible to optimize critical processes, including time planning and resource allocation, drastically reducing computational times compared to traditional methods. The QUBO (*Quadratic Unconstrained Binary Optimization*) model represents an effective approach to minimize delays and costs, optimizing operational management. Integration with IoT technologies enables continuous monitoring of infrastructures, improving safety and reliability. This work outlines the potential of quantum computing to optimize the rail sector, paving the way for a more efficient and sustainable future.

1. Introduction

In the rail sector, optimizing operations is an ongoing challenge, given the complexity of NP-hard, *non-deterministic polynomial-time hardness* issues, such as timetable planning and resource allocation. Traditionally, these problems have been addressed with heuristic methods and classical optimization algorithms, which, although effective in many cases, do not always fail to provide optimal solutions in a reasonable time, especially with the increasing complexity of railway networks.

Quantum computing is proposed as a revolutionary technology in this context, thanks to its ability to perform calculations in parallel and to simultaneously explore a large number of possible solutions. This feature makes it

^(*) Dott.ssa in Ingegneria Informatica, Università Guglielmo Marconi, Roma.

^(**) Siemens Mobility, Milano.

^(***) Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Roma

^(*) Dott.ssa in Computer Engineering, Università Guglielmo Marconi, Roma.

^(**) Siemens Mobility, Milan.

^(***) Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Rome.

mente un numero elevato di soluzioni possibili. Questa caratteristica lo rende particolarmente adatto per affrontare i problemi NP-hard, riducendo significativamente i tempi di calcolo e migliorando la qualità delle soluzioni ottenute [1][2]. Nel contesto della pianificazione ferroviaria, il *quantum computing* può essere utilizzato per ottimizzare la gestione dei ritardi, l'allocazione dei binari, e la distribuzione del traffico, contribuendo a creare reti ferroviarie più efficienti e resilienti.

Oltre all'ottimizzazione operativa, l'integrazione del *quantum computing* con l'*Internet of Things* (IoT) sta aprendo nuove frontiere nella manutenzione predittiva delle infrastrutture ferroviarie. A. LUGARÀ, nel suo lavoro "La manutenzione predittiva ferroviaria ed il ruolo abilitante dell'*Internet of Things*" [14], ha evidenziato come l'adozione dell'IoT possa abilitare un monitoraggio continuo e interventi tempestivi, riducendo il rischio di guasti e ottimizzando i costi operativi. Inoltre, nello studio "La manutenzione predittiva dei ponti ferroviari attraverso un framework basato sull'*Internet of Things*. Una proposta di implementazione" [15], LUGARÀ e BRUCIAFREDDO hanno esplorato come un framework IoT specificamente progettato per i ponti ferroviari possa ulteriormente migliorare la sicurezza e l'affidabilità delle infrastrutture. L'integrazione del *quantum computing* con l'*Internet of Things* rappresenta una sinergia che può trasformare radicalmente la manutenzione delle infrastrutture ferroviarie. L'IoT, con i suoi sensori distribuiti su tutta la rete ferroviaria, raccoglie continuamente dati dettagliati sulle condizioni dei binari, dei ponti e di altri elementi critici. Tuttavia, l'analisi di questi dati in tempo reale può essere un compito arduo e complesso, specialmente quando si tratta di enormi volumi di informazioni. Occorrerebbe indagare sui dati che si influenzano reciprocamente perché sono essi che danno luogo a crescita esponenziale delle computazioni. In caso contrario, se c'è indipendenza, la crescita lineare non dovrebbe creare grosse criticità di elaborazione. Ecco dove il *quantum computing* fa la differenza. La sua capacità di elaborare e analizzare dati in modo estremamente veloce consente di trarre conclusioni più rapide dalle informazioni fornite dall'IoT. Utilizzando algoritmi quantistici avanzati, è possibile identificare schemi complessi e anomalie che potrebbero sfuggire ai computer tradizionali. Questo non solo migliora la precisione delle previsioni sui guasti, ma accelera anche il processo di diagnosi e intervento. La sinergia tra IoT e *quantum computing* si manifesta concretamente nella capacità di ottimizzare la pianificazione della manutenzione. Mentre i sensori IoT monitorano continuamente le condizioni delle infrastrutture, i computer quantistici possono elaborare questi dati per generare modelli predittivi molto più sofisticati. Questo approccio integrato consente di prevedere guasti con una maggiore accuratezza e di pianificare interventi mirati che riducono al minimo i costi e i disagi operativi.

Inoltre, la combinazione di IoT e *quantum computing* migliora significativamente la sicurezza. Modelli complessi per l'analisi predittiva supportati dal *quantum computing* possono rilevare anche segni minimi di usura o potenziali problemi, permettendo interventi tempestivi e prevenendo incidenti prima che si verifichino. L'unione

particularly suitable for dealing with NP-hard problems, significantly reducing computational times and improving the quality of the solutions obtained [1][2]. In the context of rail planning, quantum computing can be used to optimize delay management, track allocation, and traffic distribution, helping to create more efficient and resilient rail networks.

In addition to operational optimization, the integration of quantum computing with the Internet of Things (IoT) is opening up new frontiers in the predictive maintenance of railway infrastructure. A. LUGARÀ, in his work "La manutenzione predittiva ferroviaria ed il ruolo abilitante dell'Internet of Things" [14], highlighted how the adoption of IoT can enable continuous monitoring and timely interventions, reducing the risk of failures and optimizing operating costs. In addition, in the study "La manutenzione predittiva dei ponti ferroviari attraverso un framework basato sull'Internet of Things. Una proposta di implementazione" [15], LUGARÀ and BRUCIAFREDDO explored how an IoT framework specifically designed for railway bridges can further improve the safety and reliability of infrastructures. The integration of quantum computing with the Internet of Things represents a synergy that can radically transform the maintenance of railway infrastructure. The IoT, with its sensors distributed throughout the railway network, continuously collects detailed data on the condition of tracks, bridges and other critical elements. However, analysing this data in real-time can be a daunting and complex task, especially when it comes to huge volumes of information. It would be necessary to investigate the data that influence each other because they are the ones that give rise to exponential growth of computations. Otherwise, if there is independence, linear growth should not create major processing criticalities. That's where quantum computing makes the difference. Its ability to process and analyse data extremely fast allows conclusions to be drawn faster from the information provided by the IoT. Using advanced quantum algorithms, complex patterns and anomalies can be identified that could be missed by traditional computers. This not only improves the accuracy of fault predictions, but also speeds up the diagnosis and intervention process. The synergy between IoT and quantum computing is concretely manifested in the ability to optimize maintenance planning. While IoT sensors continuously monitor the condition of infrastructure, quantum computers can process this data to generate much more sophisticated predictive models. This integrated approach allows you to predict failures with greater accuracy and plan targeted interventions that minimize costs and operational disruption.

In addition, the combination of IoT and quantum computing significantly improves safety. Complex models for predictive analytics supported by quantum computing can detect even the slightest signs of wear or potential problems, enabling timely intervention and preventing accidents before they occur. Combining these technologies with quantum

di queste tecnologie con il *quantum computing* potrebbe potenziare ulteriormente le capacità di previsione e reazione, garantendo una maggiore affidabilità e sicurezza del sistema ferroviario.

Un altro ambito di grande rilevanza è quello dei meccanismi di pedaggio ferroviario. S. RICCI e P. ASMARI, nel loro lavoro “Confronto tra i meccanismi di pedaggio e loro impatto sull’uso dell’infrastruttura ferroviaria” [16], hanno esaminato come diverse strutture tariffarie possano influenzare l’efficienza dell’uso dell’infrastruttura. Con il *quantum computing*, è possibile sviluppare modelli più sofisticati per simulare l’impatto di vari scenari tariffari e ottimizzare la distribuzione del traffico, bilanciando l’uso delle infrastrutture e minimizzando i colli di bottiglia.

In questo contesto, il *quantum computing* potrebbe rivoluzionare la capacità di risolvere problemi complessi legati alla gestione e ottimizzazione delle infrastrutture ferroviarie, grazie al suo approccio che sfrutta la sovrapposizione e l’entanglement quantistico per esplorare simultaneamente molteplici soluzioni. Attualmente, i modelli classici utilizzati per valutare l’impatto dei meccanismi di pedaggio richiedono una grande quantità di calcoli per analizzare le variabili coinvolte, come la domanda di trasporto, la capacità delle infrastrutture e i costi operativi. Tuttavia, questi modelli tendono a essere limitati nella capacità di gestire situazioni complesse e dinamiche, come la distribuzione del traffico su larga scala e in tempo reale.

Con l’uso del *quantum computing*, è possibile simulare una vasta gamma di scenari tariffari in modo molto più rapido ed efficiente rispetto ai modelli classici. Ad esempio, algoritmi quantistici potrebbero essere utilizzati per ottimizzare la distribuzione dei flussi di traffico su diverse tratte ferroviarie, evitando la congestione e riducendo i tempi di attesa per i treni. Inoltre, questi algoritmi potrebbero aiutare a bilanciare in modo più preciso la domanda e l’offerta, consentendo alle infrastrutture ferroviarie di essere sfruttate al massimo delle loro potenzialità senza compromettere l’efficienza. Un ulteriore vantaggio del *quantum computing* in questo ambito è la possibilità di modellare in modo più accurato le interazioni tra diversi operatori ferroviari e i gestori delle infrastrutture. Questo permetterebbe una migliore pianificazione dei percorsi, una distribuzione più equa delle risorse e una maggiore flessibilità nell’introduzione di nuove politiche tariffarie. In sostanza, l’integrazione del *quantum computing* potrebbe rendere i sistemi di pedaggio ferroviario più reattivi e adattabili alle esigenze del traffico, migliorando l’efficienza complessiva del settore.

Con l’evoluzione continua del *quantum computing*, potremmo assistere a una trasformazione significativa nella gestione delle infrastrutture ferroviarie, con soluzioni sempre più ottimizzate e sostenibili per garantire un uso efficiente delle risorse, riducendo al contempo i costi operativi e l’impatto ambientale.

Infine, nello studio condotto da U. PETRUCCELLI e P. VUONO “Il Fondo Nazionale e le politiche del trasporto pubblico locale tra obiettivi di efficienza ed equità” [17],

computing could further enhance prediction and reaction capabilities, ensuring greater reliability and safety of the railway system.

Another area of great importance is that of rail toll mechanisms. S. RICCI and P. ASMARI, in their paper “Confronto tra i meccanismi di pedaggio e loro impatto sull’uso dell’infrastruttura ferroviaria” [16], examined how different charging structures can affect the efficiency of infrastructure use. With quantum computing, more sophisticated models can be developed to simulate the impact of various fare scenarios and optimize traffic distribution, balancing infrastructure usage and minimizing bottlenecks.

In this context, quantum computing could revolutionize the ability to solve complex problems related to the management and optimization of railway infrastructures, thanks to its approach that exploits quantum superposition and entanglement to simultaneously explore multiple solutions. Currently, the classical models used to assess the impact of tolling mechanisms require a large number of calculations to analyse the variables involved, such as transport demand, infrastructure capacity and operating costs. However, these models tend to be limited in their ability to handle complex and dynamic situations, such as large-scale, real-time traffic distribution.

With the use of quantum computing, a wide range of tariff scenarios can be simulated much faster and more efficiently than classical models. For example, quantum algorithms could be used to optimise the distribution of traffic flows across different rail routes, avoiding congestion and reducing waiting times for trains. In addition, these algorithms could help to more precisely balance supply and demand, allowing rail infrastructure to be exploited to its full potential without compromising efficiency. A further advantage of quantum computing in this area is the ability to more accurately model the interactions between different rail operators and infrastructure managers. This would allow for better route planning, a fairer distribution of resources and greater flexibility in the introduction of new pricing policies. In essence, the integration of quantum computing could make rail toll systems more responsive and adaptable to traffic needs, improving the overall efficiency of the sector.

As quantum computing continues to evolve, we could see a significant transformation in rail infrastructure management, with increasingly optimized and sustainable solutions to ensure efficient use of resources while reducing operating costs and environmental impact.

Finally, in the study conducted by U. PETRUCCELLI and P. VUONO “Il Fondo Nazionale e le politiche del trasporto pubblico locale tra obiettivi di efficienza ed equità” [17], the application of quantum computing could revolutionize the way regional inequalities in the distribution of resources are addressed. Currently, the complexity of demographic, economic, and geographic data makes it difficult for traditional tools to create a model that accu-

l'applicazione del *quantum computing* potrebbe rivoluzionare il modo in cui vengono affrontate le disuguaglianze regionali nella distribuzione delle risorse. Attualmente, la complessità dei dati demografici, economici e geografici rende difficile per gli strumenti tradizionali creare un modello che rifletta accuratamente le necessità di ciascuna regione. I computer quantistici, grazie alla loro capacità di gestire problemi con un numero elevato di variabili interdipendenti, potrebbero consentire lo sviluppo di modelli che considerino simultaneamente diversi fattori critici, come densità di popolazione, estensione territoriale, livello di urbanizzazione e condizioni infrastrutturali. Questo approccio permetterebbe non solo di ottenere una distribuzione più equa delle risorse, ma anche di creare piani di finanziamento adattivi che possano rispondere in tempo reale ai cambiamenti nelle condizioni regionali. Ad esempio, in caso di variazioni improvvise della domanda di trasporto pubblico in una determinata area, i modelli quantistici potrebbero suggerire riallocazioni dinamiche delle risorse, garantendo una risposta più rapida ed efficiente.

Inoltre, il *quantum computing* potrebbe essere utilizzato per simulare e prevedere scenari futuri riguardanti la domanda e l'offerta di trasporto pubblico, aiutando i responsabili politici a prendere decisioni informate riguardo alla pianificazione a lungo termine. Ciò potrebbe includere previsioni sull'impatto delle politiche di trasporto, dei cambiamenti climatici, o delle migrazioni interne sulle necessità regionali, permettendo al FNT, Fondo Nazionale Trasporti, di adattarsi proattivamente alle nuove sfide.

Nonostante il *quantum computing* sia ancora una tecnologia emergente, il suo potenziale per migliorare l'efficienza e l'equità nella ripartizione delle risorse è significativo. Tuttavia, per sfruttare appieno queste possibilità, sarà necessario un impegno continuo nella ricerca e nello sviluppo di algoritmi quantistici specifici per il settore del trasporto pubblico. La collaborazione tra istituti di ricerca, enti governativi e operatori del settore sarà nodale per trasformare queste potenzialità in strumenti pratici e affidabili. Sebbene le attuali conoscenze non offrano ancora strumenti adeguati per una quantificazione precisa delle necessità finanziarie regionali, il *quantum computing* rappresenta una strada promettente per colmare queste lacune. Con ulteriori studi e applicazioni, potrebbe diventare un elemento chiave per una gestione più efficiente e giusta delle risorse del Fondo Nazionale Trasporti, contribuendo a un sistema di trasporto pubblico locale che risponda meglio alle esigenze di tutte le regioni italiane. La combinazione di politiche ben strutturate con le capacità del *quantum computing* potrebbe garantire un sistema di trasporto ferroviario non solo efficiente, ma anche equo e sostenibile.

1.1. Parallelismo quantistico e pianificazione dinamica

Il parallelismo quantistico è una caratteristica dei computer quantistici che consente di eseguire in modo simultaneo molteplici operazioni. Questo è particolar-

rately reflects the needs of each region. Quantum computers, thanks to their ability to handle problems with a large number of interdependent variables, could allow the development of models that simultaneously consider several critical factors, such as population density, territorial extension, level of urbanization and infrastructural conditions. This approach would not only allow for a fairer distribution of resources, but also for the creation of adaptive financing plans that can respond in real time to changes in regional conditions. For example, in the event of sudden changes in public transport demand assigned area, quantum models could suggest dynamic reallocation of resources, ensuring a faster and more efficient response.

In addition, quantum computing could be used to simulate and predict future scenarios regarding public transport supply and demand, helping policymakers make informed decisions regarding long-term planning. This could include forecasts on the impact of transport policies, climate change, or internal migration on regional needs, allowing the FNT, Fondo Nazionale Trasporti, to proactively adapt to new challenges.

Although quantum computing is still an emerging technology, its potential to improve efficiency and equity in the allocation of resources is significant. However, to fully exploit these possibilities, continued efforts will be needed in the research and development of quantum algorithms specific to the public transport sector. Collaboration between research institutes, government bodies and operators in the sector will be crucial to transform this potential into practical and reliable tools. Although current knowledge does not yet offer adequate tools for a precise quantification of regional financial needs, quantum computing represents a promising way to fill these gaps. With further studies and applications, it could become a key element for a more efficient and fair management of the resources of the Fondo Nazionale Trasporti, contributing to a local public transport system that better meets the needs of all Italian regions. The combination of well-structured policies with the capabilities of quantum computing could ensure a rail transport system that is not only efficient, but also fair and sustainable.

1.1. Quantum parallelism and dynamic planning

Quantum parallelism is a feature of quantum computers that allows multiple operations to be performed simultaneously. This is particularly useful in dynamic planning of rail operations, where it is necessary to respond quickly to changes in operating conditions, such as unexpected delays, breakdowns, or changes in passenger demand.

For example, in a situation where one train is delayed, the rail network must quickly reschedule other trains to minimize the domino effect of delays and optimize track and resource utilization. Using quantum algorithms, multiple rescheduling scenarios can be evaluated simultaneously,

mente utile nella pianificazione dinamica delle operazioni ferroviarie, dove è necessario rispondere rapidamente ai cambiamenti delle condizioni operative, come ritardi imprevisti, guasti o variazioni della domanda dei passeggeri.

Ad esempio, in una situazione di ritardo di un treno, la rete ferroviaria deve ripianificare rapidamente gli orari di altri treni per minimizzare l'effetto domino dei ritardi e ottimizzare l'utilizzo dei binari e delle risorse. Utilizzando algoritmi quantistici, è possibile valutare contemporaneamente molteplici scenari di ripianificazione, identificando la soluzione ottimale in pochi secondi o minuti, rispetto ai tempi molto più lunghi richiesti dai metodi classici [1][2].

1.2. Quantum Computing e ottimizzazione delle risorse

Un altro ambito in cui il *quantum computing* può avere un impatto significativo è l'ottimizzazione delle risorse. Questo include la gestione efficiente dei treni, del personale e delle infrastrutture come i binari e le stazioni. Ad esempio, l'ottimizzazione dell'allocazione dei binari è un problema complesso che coinvolge la sincronizzazione degli arrivi e delle partenze dei treni, il bilanciamento della domanda e l'evitabilità di conflitti nell'uso dei binari [1].

Il *quantum computing* può affrontare questo problema utilizzando approcci come il *European Rail Traffic Management System* [1][5][6] che permette di trovare soluzioni ottimali riducendo il costo complessivo (energia del sistema), in un paesaggio di soluzioni complesse; ad es. le simulazioni chimiche, piuttosto che l'identificazione di sottili schemi di frode nelle transazioni finanziarie [1][3][4]. Tuttavia, i risultati preliminari mostrano che le istanze ferroviarie reali pongono sfide significative per la tecnologia attuale di quantum annealing. Anche i sistemi di nuova generazione, come l'Advantage System, non riescono ancora a gestire efficacemente tali problemi. Un'alternativa promettente potrebbe essere rappresentata dalle implementazioni "Europea" [23] o "gate-based" [22], che si basano sull'uso di porte logiche quantistiche per progettare algoritmi in grado di affrontare una più ampia gamma di problemi complessi, sfruttando la flessibilità del modello a circuiti.

2. Cos'è il Quantum Computing?

La meccanica quantistica è una teoria fondamentale della fisica che descrive il comportamento della materia e dell'energia su scala atomica e subatomica. Uno dei suoi principi cardine è la quantizzazione dell'energia, secondo cui l'energia in un sistema non è continua, ma suddivisa in livelli discreti detti "quanti". Le particelle quantistiche sono caratterizzate dalla dualità onda-particella, che implica che esse possano manifestare proprietà sia corpuscolari sia ondulatorie a seconda del contesto sperimentale.

Il principio di sovrapposizione afferma che un sistema quantistico può trovarsi in una combinazione simultanea

identifying the optimal solution in seconds or minutes, compared to the much longer time required by classical methods [1][2].

1.2. Quantum Computing and optimization of the resources

Another area where quantum computing can have a significant impact is resource optimization. This includes the efficient management of trains, personnel and infrastructure such as tracks and stations. For example, the optimization of track allocation is a complex problem involving the synchronization of train arrivals and departures, the balancing of demand, and the avoidability of conflicts in track use [1].

Quantum computing can address this problem by using approaches such as Quantum Annealing [1][5][6] which allows to find optimal solutions by reducing the overall cost (energy of the system), in a landscape of complex solutions: e.g. chemical simulations, rather than the identification of subtle fraud patterns in financial transactions [1][3][4]. However, preliminary results show that real-world railway instances pose significant challenges for current quantum annealing technology. Even next-generation systems, such as the Advantage System, still fail to effectively handle such issues. A promising alternative could be represented by "circuit-model" [23] or "gate-based" [22] implementations, which rely on the use of quantum logic gates to design algorithms capable of addressing a wider range of complex problems, taking advantage of the flexibility of the circuit model.

2. What is Quantum Computing?

Quantum mechanics is a fundamental theory of physics that describes the behaviour of matter and energy at the atomic and subatomic scales. One of its key principles is the quantization of energy, according to which the energy in a system is not continuous, but divided into discrete levels called "quantum". Quantum particles are characterized by wave-particle duality, which implies that they can manifest both corpuscular and wave properties depending on the experimental context.

The superposition principle states that a quantum system can be in a simultaneous combination of multiple states until a measurement determines its final state, causing the wave function to collapse. This state is mathematically described by a wave function, whose square modulus represents the probability of finding the particle in a given place or with a certain energy.

A distinctive aspect of quantum mechanics is Heisenberg's uncertainty principle, according to which it is not possible to simultaneously measure the position and momentum of a particle with arbitrary precision. Furthermore, the phenomenon of quantum entanglement reveals how two particles can maintain an instantaneous correlation with

di più stati fino a quando una misurazione non ne determina lo stato definitivo, provocando il collasso della funzione d'onda. Questo stato è descritto matematicamente da una funzione d'onda, il cui modulo quadro rappresenta la probabilità di trovare la particella in un dato luogo o con una certa energia.

Un aspetto distintivo della meccanica quantistica è il principio di indeterminazione di Heisenberg, secondo cui non è possibile misurare simultaneamente con precisione arbitraria la posizione e la quantità di moto di una particella. Inoltre, il fenomeno dell'entanglement quantistico rivela come due particelle possano mantenere una correlazione istantanea tra loro, indipendentemente dalla distanza che le separa, sfidando l'intuizione classica.

La teoria spiega anche fenomeni come l'effetto tunnel, per cui una particella può attraversare una barriera energetica che, secondo la fisica classica, sarebbe insormontabile. Infine, il principio di esclusione di Pauli stabilisce che due fermioni identici non possono occupare lo stesso stato quantico contemporaneamente, fornendo una base teorica essenziale per comprendere la struttura della materia.

Questi principi non sono solo fondamentali per la comprensione teorica dell'universo microscopico, ma hanno anche trovato applicazioni rivoluzionarie in campi come l'elettronica, la chimica, la crittografia e il *quantum computing*.

Il *quantum computing* adopera i principi della meccanica quantistica per elaborare informazioni in modo radicalmente diverso rispetto ai computer classici. Nei sistemi classici, i dati vengono processati usando bit, che possono essere in uno stato di 0 o 1. In un computer quantistico, invece, vengono utilizzati qubit (*quantum bits*), che possono esistere simultaneamente in stati sovrapposti di 0 e 1 grazie alla sovrapposizione quantistica [3].

Questa capacità di eseguire calcoli in parallelo con molteplici stati sovrapposti permette ai computer quantistici di esplorare una vasta gamma di soluzioni in modo molto più efficiente rispetto ai sistemi tradizionali [4]. Inoltre, il fenomeno dell'entanglement quantistico consente ai qubit di essere correlati in modi che permettono di risolvere problemi complessi in modo estremamente rapido, cosa impossibile per i computer classici.

2.1. Differenze tra Quantum Computing e calcolo classico

2.1.1. Sovrapposizione quantistica

Mentre i sistemi classici devono valutare ogni possibile soluzione sequenzialmente, un computer quantistico può esplorare simultaneamente molte configurazioni diverse. Ad esempio, nella pianificazione degli orari orario ferroviari (*timetabling*), dove ci sono milioni di possibili combinazioni di orari e assegnazioni di binari, un computer quantistico può valutare queste combinazioni in parallelo, riducendo drasticamente il tempo necessario per trovare una soluzione ottimale [3].

each other, regardless of the distance that separates them, challenging classical intuition.

The theory also explains phenomena such as the tunneling effect, whereby a particle can cross an energy barrier that, according to classical physics, would be insurmountable. Finally, Pauli's exclusion principle states that two identical fermions cannot occupy the same quantum state at the same time, providing an essential theoretical basis for understanding the structure of matter.

These principles are not only fundamental to the theoretical understanding of the microscopic universe, but have also found revolutionary applications in fields such as electronics, chemistry, cryptography, and quantum computing.

Quantum computing uses the principles of quantum mechanics to process information in a radically different way than classical computers. In classical systems, data is processed using bits, which can be in a state of 0 or 1. In a quantum computer, on the other hand, qubits (quantum bits) are used, which can exist simultaneously in superimposed states of 0 and 1 thanks to quantum superposition [3].

This ability to perform parallel computations with multiple overlapping states allows quantum computers to explore a wide range of solutions much more efficiently than traditional systems [4]. In addition, the phenomenon of quantum entanglement allows qubits to be correlated in ways that allow complex problems to be solved extremely quickly, which is impossible for classical computers.

2.1. Differences Between Quantum Computing and Classical Computing

2.1.1. Quantum superposition

While classical systems must evaluate every possible solution sequentially, a quantum computer can simultaneously explore many different configurations. For example, in timetabling train timetables, where there are millions of possible combinations of timetables and track assignments, a quantum computer can evaluate these combinations in parallel, dramatically reducing the time it takes to find an optimal solution [3].

2.1.2. Quantum entanglement

Entanglement allows different parts of a problem to be interconnected in such a way that an optimal solution for one part positively affects the rest of the system. This is particularly useful in managing conflicts between trains for track or platform use, where decisions must be synchronized to avoid delays and optimize operational efficiency [4].

Quantum entanglement and parallelism are considered central elements that give Quantum Computing the ability to tackle complex problems with a speed and efficiency inaccessible to traditional methods. Entanglement is a unique

2.1.2. Entanglement quantistico

L'entanglement permette a diverse parti di un problema di essere interconnesse in modo tale che una soluzione ottimale per una parte influenzi positivamente il resto del sistema. Questo è particolarmente utile nella gestione dei conflitti tra treni per l'uso di binari o piattaforme, dove le decisioni devono essere sincronizzate per evitare ritardi e ottimizzare l'efficienza operativa [4].

L'entanglement e il parallelismo quantistico sono considerati elementi centrali che conferiscono al *Quantum Computing* la capacità di affrontare problemi complessi con una rapidità e un'efficienza inaccessibili ai metodi tradizionali. L'entanglement è un fenomeno unico della meccanica quantistica in cui due o più qubit diventano correlati in modo tale che lo stato di uno dipende istantaneamente dallo stato degli altri, indipendentemente dalla distanza che li separa. Questo fenomeno consente di condividere e processare informazioni tra qubit in modo intrinsecamente non-classico, offrendo nuove possibilità per risolvere problemi di ottimizzazione e simulazione. Il parallelismo quantistico, invece, deriva dalla capacità dei qubit di esistere in una sovrapposizione di stati, consentendo di esplorare simultaneamente un numero esponenziale di configurazioni.

Tuttavia, le limitazioni tecniche attuali pongono significative sfide. Non tutte le architetture quantistiche disponibili oggi sono in grado di sfruttare pienamente l'entanglement o il parallelismo quantistico. Inoltre, la gestione del parallelismo quantistico è fortemente vincolata dalla capacità di mantenere la coerenza quantistica, ovvero la stabilità degli stati quantistici dei qubit durante i calcoli. La perdita di coerenza, dovuta al rumore o all'interazione con l'ambiente esterno, è un problema critico che limita la durata e l'affidabilità delle operazioni quantistiche.

Un esempio significativo di queste difficoltà è rappresentato dal requisito di error correction, essenziale per garantire calcoli quantistici su larga scala. Gli algoritmi di correzione degli errori richiedono un numero elevato di qubit fisici per rappresentare un singolo qubit logico stabile, aumentando drasticamente le risorse hardware necessarie. Inoltre, la costruzione di schemi di correzione efficienti è ancora un campo di ricerca attiva.

Oltre alla correzione degli errori, un altro esempio significativo delle sfide tecniche nel *Quantum Computing* è la scalabilità delle architetture quantistiche, in particolare la gestione dell'entanglement su larga scala. Sebbene l'entanglement sia fondamentale per il funzionamento di molti algoritmi quantistici, come l'algoritmo di Shor o quello di Grover [19], mantenerlo su un numero crescente di qubit rappresenta un problema tecnico complesso. La difficoltà principale risiede nella decoerenza, ovvero la tendenza degli stati quantistici entangled a perdere la loro correlazione a causa delle interazioni con l'ambiente esterno. Man mano che il numero di qubit aumenta, il sistema diventa più vulnerabile al rumore e agli errori, rendendo estremamente difficile mantenere l'entanglement stabile

phenomenon in quantum mechanics in which two or more qubits become correlated in such a way that the state of one is instantaneously dependent on the state of the others, regardless of the distance that separates them. This phenomenon allows information to be shared and processed between qubits in an inherently non-classical way, offering new possibilities for solving optimization and simulation problems. Quantum parallelism, on the other hand, derives from the ability of qubits to exist in a superposition of states, allowing an exponential number of configurations to be explored simultaneously.

However, current technical limitations pose significant challenges. Not all quantum architectures available today are able to fully exploit quantum entanglement or parallelism. In addition, the management of quantum parallelism is strongly constrained by the ability to maintain quantum coherence, i.e. the stability of the quantum states of qubits during calculations. Loss of coherence, whether due to noise or interaction with the external environment, is a critical issue that limits the duration and reliability of quantum operations.

A significant example of these difficulties is the error correction requirement, which is essential to ensure large-scale quantum computing. Error-correcting algorithms require a large number of physical qubits to represent a single, stable logical qubit, dramatically increasing the hardware resources needed. In addition, building efficient correction schemes is still an active field of research.

In addition to error correction, another significant example of the technical challenges in Quantum Computing is the scalability of quantum architectures, particularly the management of large-scale entanglement. Although entanglement is critical to the functioning of many quantum algorithms, such as Shor's or Grover's algorithms, maintaining it on an increasing number of qubits is a complex technical problem. The main difficulty lies in decoherence, i.e. the tendency of entangled quantum states to lose their correlation due to interactions with the external environment. As the number of qubits increases, the system becomes more vulnerable to noise and errors, making it extremely difficult to maintain stable and functional entanglement. This limitation directly impacts the ability to perform calculations on a significant scale, reducing the efficiency of theoretical quantum parallelism. In addition, the complexity of scalability is accentuated by the need to physically connect qubits through technologies that ensure sufficient connectivity to implement advanced algorithms. Many current platforms, such as quantum processors based on superconducting or trapped qubits, are limited in their ability to directly connect all qubits to each other, forcing the use of intermediate mapping and optimization schemes. This adds further complexity to the calculations and can reduce the expected computational advantage [19].

2.1.3. Quantum interference and error handling

In quantum computing, interference is used to increase the probability of getting the correct solutions and

e funzionale. Questo limite impatta direttamente la capacità di eseguire calcoli su scala significativa, riducendo l'efficienza del parallelismo quantistico teorico. Inoltre, la complessità della scalabilità è accentuata dalla necessità di collegare fisicamente i qubit attraverso tecnologie che garantiscano una connettività sufficiente per implementare algoritmi avanzati. Molte piattaforme attuali, come i processori quantistici basati su qubit superconduttori o intrappolati, sono limitate nella capacità di connettere direttamente tutti i qubit tra loro, costringendo a utilizzare schemi intermedi di mappatura e ottimizzazione. Questo aggiunge ulteriore complessità ai calcoli e può ridurre il vantaggio computazionale previsto.

2.1.3. Interferenza quantistica e gestione degli errori

Nei calcoli quantistici, l'interferenza viene usata per aumentare la probabilità di ottenere le soluzioni corrette e ridurre quella delle soluzioni errate. L'interferenza è utilizzata nei calcoli quantistici per amplificare le soluzioni corrette e sopprimere quelle non ottimali. In ambito ferroviario, questo potrebbe essere impiegato per migliorare l'affidabilità dei sistemi di controllo del traffico, riducendo il rischio di errori e aumentando la precisione della gestione delle risorse ferroviarie [5]. L'interferenza quantistica è una delle proprietà fondamentali della meccanica quantistica e costituisce un vantaggio chiave nel *quantum computing*. Essa consente di amplificare le soluzioni corrette di un problema, interferendo costruttivamente sui percorsi computazionali ottimali e sopprimendo quelli subottimali. Questo meccanismo è alla base di molti algoritmi quantistici, come l'algoritmo di Grover, e rappresenta un elemento cruciale per il miglioramento dell'efficienza computazionale. Tuttavia, nella pratica, l'efficacia di questo vantaggio teorico è fortemente condizionata dalla capacità di gestire gli errori quantistici. Per applicazioni critiche come il trasporto ferroviario, dove la precisione e l'affidabilità sono requisiti essenziali, questi limiti rappresentano un compito impegnativo. La gestione degli errori, attraverso tecniche come la correzione degli errori quantistici o la progettazione di algoritmi tolleranti agli errori, è ancora un'area di ricerca attiva e complessa. Inoltre, l'hardware quantistico attuale spesso non è sufficientemente stabile per garantire prestazioni affidabili in scenari operativi reali, rendendo i metodi classici, più maturi e stabili, spesso una scelta preferibile nel breve termine.

2.2. Benefici nel settore ferroviario

Il quantum computing rappresenta una nuova tecnologia che potrebbe apportare miglioramenti al settore ferroviario in vari modi. Alcuni esempi di benefici sono descritti nel seguito.

2.2.1. Ottimizzazione delle risorse

Il settore ferroviario richiede una gestione estremamente efficiente delle risorse, come i binari, i treni e il personale. Il *quantum computing* può fornire soluzioni ottimizzate per la pianificazione dei turni, l'allocazione dei

reduce the probability of wrong solutions. Interference is used in quantum calculations to amplify correct solutions and suppress suboptimal ones. In the railway sector, this could be used to improve the reliability of traffic control systems, reducing the risk of errors and increasing the accuracy of railway resource management [5]. Quantum interference is one of the fundamental properties of quantum mechanics and constitutes a key advantage in quantum computing. It allows you to amplify the correct solutions to a problem, constructively interfering with optimal computational paths and suppressing suboptimal ones. This mechanism underpins many quantum algorithms, such as Grover's algorithm, and is a crucial element in improving computational efficiency. However, in practice, the effectiveness of this theoretical advantage is strongly conditioned by the ability to handle quantum errors. For critical applications such as rail transport, where precision and reliability are essential requirements, these limitations are a challenging task. Error handling, through techniques such as quantum error correction or the design of error-tolerant algorithms, is still an active and complex area of research. In addition, current quantum hardware is often not stable enough to ensure reliable performance in real-world operating scenarios, making classical methods, which are more mature and stable, often a preferable choice in the short term.

2.2. Benefits in the railway sector

Quantum computing represents a new technology that could bring improvements to the railway sector in several ways. Some examples of benefits are described below.

2.2.1. Optimising resources

The railway sector requires extremely efficient management of resources, such as tracks, trains and personnel. Quantum computing can provide optimized solutions for shift planning, track allocation, and fleet management, reducing operational costs and improving punctuality.

2.2.2. Resolution of NP-Hard problems

Problems such as the schedule and sequence of operations in a railway terminal are classified as NP-hard, which means that their complexity increases exponentially with the number of variables. Quantum computers can address these problems more efficiently than traditional methods, allowing complex rail networks to be managed more effectively.

2.2.3. Simulation and prevision

Quantum computers can be used to simulate complex operational scenarios, such as the impact of unexpected delays or emergency management. This can help railway companies predict and mitigate problems before they occur, improving the resilience of the system [9].

Quantum computational technology is making rapid progress, with the development of hardware based on dif-

binari e la gestione delle flotte, riducendo i costi operativi e migliorando la puntualità.

2.2.2. Risoluzione di problemi NP-Hard

Problemi come la pianificazione oraria e la sequenza delle operazioni in un terminal ferroviario sono classificati come NP-hard, il che significa che la loro complessità aumenta esponenzialmente con il numero di variabili. I computer quantistici possono affrontare questi problemi con maggiore efficienza rispetto ai metodi tradizionali, consentendo di gestire reti ferroviarie complesse in modo più efficace.

2.2.3. Simulazione e previsione

I computer quantistici possono essere utilizzati per simulare scenari operativi complessi, come l'impatto di ritardi imprevisti o la gestione delle emergenze. Questo può aiutare le aziende ferroviarie a prevedere e mitigare i problemi prima che si verifichino, migliorando la resilienza del sistema [9].

La tecnologia computazionale quantistica sta compiendo progressi rapidi, con lo sviluppo di hardware basato su diverse piattaforme, come qubit superconduttori, ioni intrappolati e qubit fotonici, e la progettazione di algoritmi avanzati, tra cui quelli di Shor e Grover. Un punto critico è l'integrazione tra hardware e software. La progettazione di algoritmi che sfruttino appieno le potenzialità dei computer quantistici deve confrontarsi con le limitazioni tecniche degli attuali dispositivi. Inoltre, queste macchine richiedono infrastrutture costose e condizioni operative particolari, come il raffreddamento criogenico, che ne limitano l'adozione su larga scala. Infine, sebbene si intravedano potenziali applicazioni in campi come l'ottimizzazione, la chimica computazionale e la crittografia, resta ancora aperta la questione di identificare problemi reali in cui il *quantum computing* superi in modo rilevante le tecnologie classiche.

Come anticipato nell'introduzione, in un contesto applicativo, uno degli ambiti più promettenti in cui il *Quantum Computing* potrebbe fornire valore è rappresentato dall'*Internet of Things* (IoT). L'IoT è l'interconnessione di dispositivi fisici tramite reti di comunicazione, permettendo loro di raccogliere, scambiare e analizzare dati in tempo reale. L'integrazione tra IoT e *Quantum Computing* potrebbe rappresentare una soluzione avanzata per la manutenzione predittiva, in cui i dati raccolti dai dispositivi IoT sono analizzati per identificare modelli e anomalie che indicano la necessità di interventi manutentivi. In questo scenario, il *Quantum Computing*, con la sua capacità di eseguire calcoli ad alta velocità e parallelamente su molteplici possibili configurazioni, potrebbe migliorare l'accuratezza e la tempestività della manutenzione predittiva, riducendo i tempi di inattività e ottimizzando le risorse.

Tuttavia, sebbene il *Quantum Computing* offra potenzialità considerevoli per l'elaborazione di grandi volumi di dati, la gestione dei dati generati dall'IoT in tempo reale è attualmente affrontata con successo dai sistemi di calcolo tradizionali. Tecnologie come il *cloud computing*, l'*edge*

ferent platforms, such as superconducting qubits, trapped ions, and photonic qubits, and the design of advanced algorithms, including those of Shor and Grover. A critical point is the integration between hardware and software. The design of algorithms that fully exploit the potential of quantum computers must confront the technical limitations of current devices. In addition, these machines require expensive infrastructure and special operating conditions, such as cryogenic cooling, which limit their large-scale adoption. Finally, although potential applications are glimpsed in fields such as optimization, computational chemistry and cryptography, the question of identifying real problems in which quantum computing significantly surpasses classical technologies still remains open.

As anticipated in the introduction, in an application context, one of the most promising areas in which Quantum Computing could provide value is represented by the Internet of Things (IoT). IoT is physical devices via communication networks, allowing them to collect, exchange, and analyse data in real-time. The integration between IoT and Quantum Computing could represent an advanced solution for predictive maintenance, in which data collected from IoT devices is analysed to identify patterns and anomalies that indicate the need for maintenance interventions. In this scenario, Quantum Computing, with its ability to perform high-speed calculations in parallel on multiple possible configurations, could improve the accuracy and timeliness of predictive maintenance, reducing downtime and optimizing resources.

However, although Quantum Computing offers considerable potential for processing large volumes of data, the management of data generated by the IoT in real time is currently successfully addressed by traditional computing systems. Technologies such as cloud computing, edge computing, and traditional machine learning algorithms can efficiently analyse data streams from IoT sensors, performing real-time operations that support fast and accurate decisions. Therefore, in the short term, the use of Quantum Computing for IoT data management may not be necessary, as conventional systems already offer scalable and high-performance solutions for these purposes.

However, with the evolution of quantum technology and the refinement of computing techniques, in the future the integration between IoT and Quantum Computing could become essential to address increasingly complex problems. Advanced applications, such as optimizing complex systems and managing large amounts of data with stringent response time requirements, could greatly benefit from the computational capabilities offered by quantum systems. The adoption of Quantum Computing in these areas will depend on the further advancement of technology, the reduction of noise problems in calculations and the development of increasingly efficient quantum algorithms.

computing e gli algoritmi di *machine learning* tradizionali sono in grado di analizzare in modo efficiente i flussi di dati provenienti dai sensori IoT, eseguendo operazioni in tempo reale che supportano decisioni rapide e accurate. Pertanto, nel breve periodo, l'impiego del *Quantum Computing* per la gestione dei dati IoT potrebbe non essere necessario, poiché i sistemi convenzionali offrono già soluzioni scalabili e performanti per questi scopi.

Nonostante ciò, con l'evoluzione della tecnologia quantistica e l'affinamento delle tecniche di calcolo, in futuro l'integrazione tra IoT e *Quantum Computing* potrebbe divenire essenziale per affrontare problemi sempre più complessi. Le applicazioni avanzate, come l'ottimizzazione di sistemi complessi e la gestione di grandi moli di dati con requisiti stringenti di tempo di risposta, potrebbero trarre grande beneficio dalle capacità computazionali offerte dai sistemi quantistici. L'adozione del *Quantum Computing* in queste aree dipenderà dall'ulteriore progresso della tecnologia, dalla riduzione delle problematiche legate al rumore nei calcoli e dalla messa a punto di algoritmi quantistici sempre più efficienti.

2.3. Limitazioni attuali

L'implementazione di sistemi di *quantum computing* nel settore ferroviario comporterebbe un cambiamento rilevante non solo tecnologico, ma anche organizzativo.

La gestione efficace di questa tecnologia richiederebbe un livello elevato di competenze specializzate per il personale, sia nella configurazione e manutenzione degli hardware quantistici sia nell'interpretazione e utilizzo dei risultati computazionali. Tuttavia, il personale ferroviario attualmente impiegato raramente possiede una formazione avanzata in fisica quantistica o in calcolo quantistico, fattore che rappresenta una barriera sostanziale all'adozione su larga scala di questa tecnologia. Questa lacuna potrebbe essere colmata attraverso programmi di formazione dedicati, volti a sviluppare competenze specifiche nel settore quantistico e a far familiarizzare i professionisti con strumenti e piattaforme operative. In parallelo, un indirizzo strategico per integrare tecnologie più accessibili, come interfacce intuitive per la gestione delle risorse quantistiche o piattaforme ibride che combinino metodi classici e quantistici, potrebbe ridurre il livello di specializzazione richiesto. Un elemento chiave per l'operatività sarà inoltre l'introduzione di tecniche di mitigazione degli errori. Questi metodi, progettati per ridurre gli effetti negativi del rumore e del decadimento della coerenza nei qubit, potrebbero includere algoritmi di post-elaborazione per pulire i risultati o tecniche di calibrazione avanzata per minimizzare gli errori hardware. Queste soluzioni, se adeguatamente automatizzate e integrate in sistemi *user-friendly*, potrebbero abbassare la soglia di competenze necessarie per il personale, facilitando l'adozione del *quantum computing* nel settore.

Un ulteriore ostacolo all'adozione su larga scala del *quantum computing* nel settore ferroviario è rappresentato dagli ingenti costi di implementazione e manutenzione delle infra-

2.3. Current limitations

The implementation of quantum computing systems in the railway sector would entail a significant change not only technological, but also organizational.

Effective management of this technology would require a high level of specialized skills for staff, both in the configuration and maintenance of quantum hardware and in the interpretation and use of computational results. However, currently employed railway personnel rarely have advanced training in quantum physics or quantum computing, which is a substantial barrier to the large-scale adoption of this technology. This gap could be filled through dedicated training programmes, aimed at developing specific skills in the quantum field and let professionals to familiarize with operational tools and platforms. In parallel, a strategic direction to integrate more accessible technologies, such as intuitive interfaces for quantum resource management or hybrid platforms combining classical and quantum methods, could reduce the level of specialization required. A key element for operations will also be the introduction of error mitigation techniques. These methods, designed to reduce the negative effects of noise and coherence decay in qubits, could include post-processing algorithms to clean up the results, or advanced calibration techniques to minimize hardware errors. These solutions, if properly automated and integrated into user-friendly systems, could lower the threshold of skills needed for staff, facilitating the adoption of quantum computing in the industry.

A further barrier to the large-scale adoption of quantum computing in the rail industry is the high costs of deploying and maintaining the necessary infrastructure. These systems require advanced equipment, often operating at temperatures close to absolute zero, and highly specialized maintenance, which significantly increases operating costs. In the context of the rail sector, historically constrained by limited budgets and a strong focus on the economic sustainability of innovations, these costs could represent a brake on the adoption of quantum computing. Even where initial funding is available, the economic justification for an investment of this magnitude would depend heavily on the possibility of demonstrating tangible and quantifiable benefits in the short to medium term. However, with current technologies, the economic benefits of quantum computing, while promising, often remain difficult to translate into practical terms for specific industrial applications such as railway network management.

Another limitation concerns interoperability with existing command and control systems for the operation of railway vehicles, such as ERTMS (European Rail Traffic Management System). These systems, designed for safety and operational efficiency, are highly complex and layered, often built on legacy infrastructure that has been consolidated over time. Integrating quantum technologies with such systems can be technically complex, requiring cost-

strutture necessarie. Questi sistemi richiedono apparecchiature avanzate, spesso operative a temperature prossime allo zero assoluto, e una manutenzione altamente specializzata, fattori che incrementano sensibilmente i costi operativi. Nel contesto del settore ferroviario, storicamente vincolato da budget limitati e da una forte attenzione alla sostenibilità economica delle innovazioni, questi costi potrebbero rappresentare un freno all'adozione del *quantum computing*. Anche laddove siano disponibili finanziamenti iniziali, la giustificazione economica di un investimento di tale portata dipenderebbe fortemente dalla possibilità di dimostrare benefici tangibili e quantificabili nel breve-medio termine. Tuttavia, con le tecnologie attuali, i vantaggi economici del *quantum computing*, seppur promettenti, rimangono spesso difficili da tradurre in termini pratici per applicazioni industriali specifiche come la gestione delle reti ferroviarie.

Un'altra limitazione riguarda l'interoperabilità con i sistemi di comando e controllo della marcia dei veicoli ferroviari esistenti, come l'ERTMS (*European Rail Traffic Management System*). Questi sistemi, progettati per garantire la sicurezza e l'efficienza operativa, sono altamente complessi e stratificati, spesso costruiti su infrastrutture legacy consolidate nel tempo. Integrare tecnologie quantistiche con tali sistemi può risultare tecnicamente complesso, richiedendo modifiche infrastrutturali costose e affrontando sfide di compatibilità. Inoltre, per garantire la continuità operativa, potrebbe essere necessario mantenere sistemi classici paralleli, aumentando ulteriormente i costi e la complessità gestionale. In questo contesto, l'utilizzo esteso di tecnologie avanzate come il *Machine Learning* (ML) o l'Intelligenza Artificiale (AI), che potrebbero beneficiare del *quantum computing* per migliorare processi decisionali e predittivi, si scontra con le stesse problematiche di integrazione. Gli algoritmi di *machine learning*, in particolare, richiedono grandi quantità di dati in tempo reale e una robusta infrastruttura di elaborazione. Tuttavia, l'attuale maturità tecnologica del *quantum computing* non è ancora sufficiente per gestire questi carichi in modo efficiente e integrarsi pienamente con i flussi di dati e le architetture esistenti. Infine, le tecnologie AI implementate nei sistemi ferroviari attuali si basano su piattaforme classiche ottimizzate per specifiche applicazioni, riducendo la necessità immediata di una transizione verso il calcolo quantistico.

3. Quantum Computing e il settore ferroviario: applicazioni nella pianificazione e ottimizzazione

3.1. Formulazione matematica

In un sistema quantistico, lo stato di un qubit può essere descritto come una combinazione lineare (sovrapposizione) degli stati base $|0\rangle$ e $|1\rangle$:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

dove α e β sono coefficienti complessi che soddisfano la condizione di normalizzazione:

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

ly infrastructure changes and addressing compatibility challenges. In addition, to ensure business continuity, it may be necessary to maintain parallel classical systems, further increasing costs and management complexity. In this context, the extensive use of advanced technologies such as Machine Learning (ML) or Artificial Intelligence (AI), which could benefit from quantum computing to improve decision-making and predictive processes, comes up against the same integration issues. Machine learning algorithms, in particular, require large amounts of real-time data and a robust processing infrastructure. However, the current technology maturity of quantum computing is still not sufficient to handle these loads efficiently and fully integrate with existing data streams and architectures. Finally, the AI technologies implemented in current railway systems are based on classical platforms optimized for specific applications, reducing the immediate need for a transition to quantum computing.

3. Quantum Computing and the Railway Industry: Applications in Planning and Optimization

3.1. Mathematical formulation

In a quantum system, the state of a qubit can be described as a linear combination (superposition) of the base states $|0\rangle$ and $|1\rangle$:

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

where α and β are complex coefficients that satisfy the normalization condition:

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

This ability to exist in multiple states simultaneously is what gives quantum computing its potential. In the railway context, overlapping allows to simultaneously explore all possible configurations of a planning problem, such as the assignment of trains to specific tracks, drastically reducing the time needed to find the optimal solution [5].

In the case of train time planning, the problem can be formulated as a combinatorial optimization problem, where the goal is to minimize a cost function $C(x)$ that depends on binary variables x_i representing assignment decisions (e.g., a train on a track at a given timetable):

$$C(x) = \sum_i c_{ii}x_i + \sum_{i < j} c_{ij}x_i x_j \quad \forall t$$

where x_i represents the train occupying track i , x_j the train occupying track j , c_{ii} is a coefficient associated with the variable x_i representing the costs associated with the individual decisions and c_{ij} represents the costs of interaction between the pairs of variables x_i and x_j . The coefficient c_{ij} indicates how much the two variables x_i and x_j influence the value of the function when both take the value 1.

A practical example would be to minimize train delays,

Questa capacità di esistere in più stati contemporaneamente è ciò che conferisce al *quantum computing* il suo potenziale. Nel contesto ferroviario, la sovrapposizione permette di esplorare simultaneamente tutte le possibili configurazioni di un problema di pianificazione, come l'assegnazione di treni a binari specifici, riducendo drasticamente il tempo necessario per trovare la soluzione ottimale [5].

Nel caso della pianificazione oraria dei treni, il problema può essere formulato come un problema di ottimizzazione combinatoria, dove l'obiettivo è minimizzare una funzione costo $C(x)$ che dipende da variabili binarie x_i che rappresentano le decisioni di assegnazione (ad esempio, un treno su un binario in un dato orario):

$$C(x) = \sum_i c_{ii}x_i + \sum_{i < j} c_{ij}x_ix_j \quad \forall t$$

dove x_i rappresenta il treno che occupa il binario i , x_j il treno che occupa il binario j , c_{ii} è un coefficiente associato alla variabile x_i rappresentante i costi associati alle singole decisioni e c_{ij} rappresenta i costi di interazione tra le coppie di variabili x_i e x_j . Il coefficiente c_{ij} , indica quanto le due variabili x_i e x_j influenzano il valore della funzione quando entrambe assumono il valore 1.

Un esempio pratico potrebbe essere quello di minimizzare i ritardi dei treni, bilanciando l'utilizzo dei binari e minimizzando i conflitti tra treni in arrivo e in partenza.

3.2. Importanza del quantum computing per la logistica e i trasporti

Il quantum annealing e gli algoritmi come il *Quantum Approximate Optimization Algorithm* (QAOA) [9][10] offrono potenziali soluzioni per migliorare l'efficienza operativa, ridurre i costi e bilanciare domanda e offerta in tempo reale. In particolare, nel settore ferroviario, queste capacità si traducono in un migliore utilizzo delle risorse, una maggiore puntualità e una riduzione dei conflitti nell'assegnazione dei binari.

3.3. Timetabling

Uno degli aspetti cruciali del settore ferroviario è l'ottimizzazione degli orari dei treni, ovvero il timetabling, un problema che può essere modellato come un problema di programmazione lineare o quadratica. Un modello matematico semplificato per un problema di timetabling può essere formulato come segue.

Minimizza

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}x_{ij}$$

Dove: x_{ij} rappresenta il treno i che occupa il binario j in un certo orario

Soggetto a:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1$$

balancing track usage and minimizing conflicts between arriving and departing trains.

3.2. Importance of quantum computing for logistics and transportation

Quantum annealing and algorithms such as the Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA) [9][10] offer potential solutions to improve operational efficiency, reduce costs, and balance supply and demand in real time. In particular, in the rail sector, these capacities translate into better use of resources, greater punctuality and reduced conflicts in track assignment.

3.3. Timetabling

One of the crucial aspects of the railway industry is the optimization of train schedules, which is a problem that can be modelled as a linear or quadratic scheduling problem. A simplified mathematical model for a timetabling problem can be formulated as follows.

Minimizes:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}x_{ij}$$

Where: x_{ij} represents the train i occupying the track j at a certain time

Subject to:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1$$

$\forall i$ (each train must have a unique track)

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1$$

$\forall j$ (each track can accommodate only one train in a certain time),

Where:

- c_{ij} represents the cost or penalty associated with assigning train i to track j at a specific time
- x_{ij} is a binary variable that worths 1 if the train i is assigned to the track j , 0 otherwise.

Quantum computing offers innovative tools to address this problem, using approaches such as quantum annealing and QAOA.

3.4. Quantum Annealing

Quantum annealing can solve combinatorial optimization problems that can be expressed as a Binary Square Model (BQM). The objective function can be represented as follows:

$$E(s) = \sum_i h_i s_i + \sum_{i < j} J_{ij} s_i s_j$$

Where:

$\forall i$ (ogni treno deve avere un unico binario)

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1$$

$\forall j$ (ogni binario può ospitare un solo treno in un certo orario)

Dove:

- c_{ij} rappresenta il costo o la penalità associata all'assegnazione del treno i al binario j in un certo orario
- x_{ij} è una variabile binaria che vale 1 se il treno i è assegnato al binario j , 0 altrimenti.

Il *quantum computing* offre strumenti innovativi per affrontare questo problema, utilizzando approcci come il *quantum annealing* e il QAOA.

3.4. Quantum Annealing

Il quantum annealing può risolvere problemi di ottimizzazione combinatoria che possono essere espressi come un Modello Quadratico Binario (BQM). La funzione obiettivo può essere rappresentata come segue:

$$E(s) = \sum_i h_i s_i + \sum_{i < j} J_{ij} s_i s_j$$

Dove:

- $E(s)$ è l'energia del sistema per una configurazione di variabili binarie $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$;
- s è il vettore decisionale (una stringa di bit);
- h_i rappresenta i termini lineari associati ai costi di assegnazione;
- J_{ij} sono i termini quadratici che rappresentano le interazioni o conflitti tra le variabili (ad esempio, treni assegnati allo stesso binario nello stesso momento).

3.5. Implementazione del Quantum Annealing

Il Quantum Annealing (QA) è una tecnica avanzata di ottimizzazione che sfrutta le leggi della meccanica quantistica per risolvere problemi complessi. Questa tecnica è implementata nei dispositivi di annealing quantistico, come quelli sviluppati da D-Wave¹, e si distingue per la sua capacità di affrontare problemi di ottimizzazione combinatoria di grande complessità, che sono difficili da risolvere con metodi classici.

Il processo di utilizzo del Quantum Annealing inizia con la formulazione del problema come una funzione di energia, che può essere rappresentata tramite modelli come QUBO (*Quadratic Unconstrained Binary Optimization*) [20]. Un problema di ottimizzazione viene tradotto in un insieme di variabili binarie, e l'obiettivo è trovare

- $E(s)$ is the energy of the system for a configuration of binary variables $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$;
- s is the decision vector (a string of bits);
- h_i represents the linear terms associated with the allocation costs;
- J_{ij} are the quadratic terms that represent the interactions or conflicts between variables (e.g., trains assigned to the same track at the same time).

3.5. Implementing Quantum Annealing

Quantum annealing (QA) is an advanced optimization technique that uses the laws of quantum mechanics to solve complex problems. This technique is implemented in quantum annealing devices, such as those developed by D-Wave¹, and stands out for its ability to address highly complex combinatorial optimization problems, which are difficult to solve with classical methods.

The process of using Quantum Annealing begins with the formulation of the problem as an energy function, which can be represented by models such as QUBO (*Quadratic Unconstrained Binary Optimization*) [20]. An optimization problem is translated into a set of binary variables, and the goal is to find the configuration of variables that minimizes the associated energy function, i.e. minimizes the interactions between the variables themselves, thus solving the problem optimally or almost optimally. For example, in a scheduling problem, binary variables might represent the arrival and departure times of trains, and interactions might represent conflicts between schedules or resources.

Once the problem is formulated in this form, the next step is to encode the problem in the quantum device. In D-Wave, for example, variables are represented on a network of qubits, and interactions between variables are encoded in a graph. However, because the physical qubits within these devices are connected according to specific topologies (such as the Chimera or Pegasus topologies [21]), the logical variables must be mapped to multiple physical qubits to ensure that the problem is represented correctly. This process, called *minor embedding*, is one of the main challenges in the practical use of Quantum Annealing, as it can increase computational complexity.

At the heart of the quantum annealing process is the gradual evolution of the system towards a minimum energy state, a process that exploits the properties of quantum mechanics, such as quantum superposition and entanglement, to simultaneously explore multiple solution configurations. The algorithm starts with a system in a high-energy state, and through a controlled "cooling" process, the system evolves to a stable configuration that is a solution

¹ Sito web di D-Wave: <https://www.dwavesys.com/>

¹ D-Wave website: <https://www.dwavesys.com/>

la configurazione di variabili che minimizza la funzione di energia associata, cioè riduce al minimo le interazioni tra le variabili stesse, risolvendo così il problema in modo ottimale o quasi ottimale. Ad esempio, in un problema di scheduling, le variabili binarie potrebbero rappresentare i tempi di arrivo e partenza di treni, e le interazioni potrebbero rappresentare conflitti tra orari o risorse.

Una volta formulato il problema in questa forma, il passo successivo consiste nel codificare il problema nel dispositivo quantistico. In D-Wave, ad esempio, le variabili vengono rappresentate su una rete di qubit, e le interazioni tra variabili sono codificate in un grafo. Tuttavia, poiché i qubit fisici all'interno di questi dispositivi sono connessi secondo topologie specifiche (come le topologie Chimera o Pegasus [21]), le variabili logiche devono essere mappate su più qubit fisici per garantire che il problema venga rappresentato correttamente. Questo processo, chiamato *minor embedding*, è una delle sfide principali nell'uso pratico del Quantum Annealing, poiché può aumentare la complessità computazionale.

Il cuore del processo di annealing quantistico è la graduale evoluzione del sistema verso uno stato di energia minima, un processo che sfrutta le proprietà della meccanica quantistica, come la sovrapposizione quantistica e l'entanglement, per esplorare simultaneamente molteplici configurazioni di soluzione. L'algoritmo inizia con un sistema in uno stato di alta energia e, tramite un processo di "raffreddamento" controllato, il sistema evolve fino a raggiungere una configurazione stabile che rappresenta una soluzione del problema. Poiché il *Quantum Annealing* non richiede la ricerca esaustiva di tutte le possibili configurazioni, può esplorare in modo più efficiente grandi spazi di soluzioni rispetto ai metodi classici.

Alla fine del processo di *annealing*, il dispositivo quantistico esegue una misurazione per determinare quale stato del sistema rappresenta la soluzione finale. Questa misurazione restituisce una configurazione di variabili che, in generale, corrisponde a una soluzione di bassa energia. Sebbene non sia garantito che questa soluzione sia ottimale, i dispositivi D-Wave sono progettati per esplorare soluzioni buone in tempi significativamente più brevi rispetto ai metodi classici, soprattutto per problemi complessi che coinvolgono grandi spazi di ricerca.

In pratica, l'uso del Quantum Annealing è applicabile a una vasta gamma di problemi, tra cui quelli di ottimizzazione combinatoria, come il *job scheduling*. Per esempio, in un contesto di ottimizzazione di una rete ferroviaria, i problemi legati alla gestione degli orari dei treni, alla programmazione delle risorse o alla minimizzazione dei conflitti tra le rotte possono essere formulati come modelli QUBO, che possono essere successivamente risolti tramite annealing quantistico. Nonostante i notevoli progressi, il *Quantum Annealing* presenta ancora delle limitazioni, tra cui la necessità di un *minor embedding* per problemi complessi e l'influenza del rumore quantistico, che può interferire con l'affidabilità dei risultati. Inoltre, poiché il sistema non sempre trova la soluzione ottima, è necessario ripetere il processo più volte per migliorare le probabilità di ottenere una soluzione accettabile.

to the problem. Since Quantum Annealing does not require exhaustive research of all possible configurations, it can more efficiently explore large spaces of solutions than classical methods.

At the end of the annealing process, the quantum device performs a measurement to determine which state of the system represents the final solution. This measurement returns a configuration of variables that, in general, corresponds to a low-energy solution. Although it is not guaranteed that this solution will be optimal, D-Wave devices are designed to explore good solutions in significantly shorter timeframes than classical methods, especially for complex problems involving large research opportunities.

In practice, the use of Quantum Annealing is applicable to a wide range of problems, including combinatorial optimization problems, such as job scheduling. For example, in the context of optimizing a railway network, problems related to the management of train schedules, resource scheduling or minimizing conflicts between routes can be formulated as QUBO models, which can then be solved through quantum annealing. Despite significant progress, Quantum Annealing still has limitations, including the need for less embedding for complex problems and the influence of quantum noise, which can interfere with the reliability of results. Also, because the system doesn't always find the optimal solution, you need to repeat the process several times to improve the chances of getting an acceptable solution.

3.5.1. Formulation of the problem

The problem of routing and scheduling trains can be transformed into a QUBO, Quadratic Unconstrained Binary Optimization, problem. Every track and every available time slot can be seen as a binary variable in the QUBO model, which must be optimized to reduce conflicts and maximize efficiency.

3.5.2. Using the Quantum Annealer

D-Wave [8] uses its quantum annealer, a machine designed to solve QUBO problems [11], to quickly explore the space of possible solutions. The quantum annealer is particularly effective in finding near-optimal solutions for combinatorial optimization problems, exploiting the properties of quantum mechanics [6]. D-Wave is ideal in a railway context because it allows you to solve combinatorial optimization problems, such as train scheduling, resource allocation or rail traffic management, quickly and efficiently. The quantum annealing model is particularly suitable for minimizing operational costs and reducing conflicts in planning plots. With support for QUBO models and hybrid solvers, D-Wave can be easily integrated with classic tools, speeding up development and deployment. In addition, its scalability allows it to deal with large problems typical of railway infrastructure.

3.5.1. Formulazione del problema

Il problema del routing e dello scheduling dei treni può essere trasformato in un problema QUBO, Quadratic Unconstrained Binary Optimization. Ogni binario e ogni slot temporale disponibile possono essere visti come una variabile binaria nel modello QUBO, che deve essere ottimizzato per ridurre i conflitti e massimizzare l'efficienza.

3.5.2. Uso del Quantum Annealer

D-Wave [8] utilizza il suo quantum annealer, una macchina progettata per risolvere problemi QUBO [11], per esplorare rapidamente lo spazio delle soluzioni possibili. Il quantum annealer è particolarmente efficace nel trovare soluzioni quasi ottimali per problemi di ottimizzazione combinatoria, sfruttando le proprietà della meccanica quantistica [6]. D-Wave è ideale in un contesto ferroviario perché consente di risolvere problemi di ottimizzazione combinatoria, come lo scheduling dei treni, l'allocazione delle risorse o la gestione del traffico ferroviario, in modo rapido ed efficiente. Il modello di quantum annealing è particolarmente adatto per minimizzare i costi operativi e ridurre i conflitti nei grafici di pianificazione. Grazie al supporto per modelli QUBO e solver ibridi, D-Wave è facilmente integrabile con strumenti classici, accelerando lo sviluppo e l'implementazione. Inoltre, la sua scalabilità permette di affrontare problemi di grandi dimensioni, tipici delle infrastrutture ferroviarie.

3.5.3. Integrazione con sistemi esistenti

I risultati dal quantum annealer integrati con i sistemi di gestione operativa di compagnie ferroviarie permetterebbero di prendere decisioni in tempo reale sulla pianificazione dei treni, includendo l'assegnazione dinamica dei treni ai binari disponibili e la risoluzione rapida dei conflitti di routing [13].

3.6. Il Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA)

Il Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA) [9][10] è un altro approccio che può essere utilizzato per risolvere problemi di ottimizzazione come il timetabling. La funzione costo $C(z)$ viene rappresentata e minimizzata attraverso un'evoluzione quantistica controllata da parametri ottimizzati.

$$C(z) = \sum_{j=1} C_j(z)$$

Dove z è un vettore di variabili binarie e è un termine di costo associato alla configurazione specifica, j è il numero di configurazioni possibili.

3.7. Quadratic Unconstrained Binary Optimization (QUBO)

Per modellare il problema della pianificazione dei treni utilizzando il *Quadratic Unconstrained Binary Optimization* (QUBO) [7][8][11][12], è necessario identificare le

3.5.3. Integrazione con existing systems

Results from the quantum annealer integrated with railway companies' operational management systems would allow real-time decisions to be made on train planning, including the dynamic assignment of trains to available tracks and the rapid resolution of routing conflicts [13].

3.6. Il Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA)

The Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA) [9][10] is another approach that can be used to solve optimization problems such as timetabling. The cost function $C(z)$ is represented and minimized through a quantum evolution controlled by optimized parameters.

$$C(z) = \sum_{j=1} C_j(z)$$

Where z is a vector of binary variables and $C_j(z)$ is a cost term associated with the specific configuration, j is the number of possible configurations.

3.7. Quadratic Unconstrained Binary Optimization (QUBO)

To model the problem of train scheduling using Quadratic Unconstrained Binary Optimization (QUBO) [7][8][11][12], it is necessary to identify the main variables and constraints of the system.

$$\sum_i y_{ik} \leq 1. \quad \forall k, \forall t$$

Definition of Decision Variables

In the QUBO model for train planning, binary variables can represent decisions such as the departure of a train from a specific station in a given time interval ($x_{ij} = 1$ if the train i leaves from station j at the time t , otherwise 0) or the allocation of a track to a train at a station ($y_{ik} = 1$ if the train i uses the binary k in the station j , otherwise 0).

Loss function

The loss function in a train planning problem can be formulated by considering two main aspects. The first is the minimization of waiting and travel times. The goal is therefore to minimize the total accumulated waiting time of all trains by including the time spent waiting for a free track or a go-ahead signal. The second aspect is the optimization of the use of the tracks, aimed at an efficient use of the tracks, minimizing conflicts between trains.

Operational constraints

An operational constraint concerns the capacity of the tracks, as each track can be occupied by only one train at a time. Therefore:

$$\sum_i y_{ik} \leq 1$$

variabili e i vincoli principali del sistema.

$$\sum_i y_{ik} \leq 1. \quad \forall k, \forall t$$

Definizione delle Variabili di Decisione

Nel modello QUBO per la pianificazione dei treni, le variabili binarie possono rappresentare decisioni come la partenza di un treno da una stazione specifica in un dato intervallo di tempo ($x_{ij} = 1$ se il treno i parte dalla stazione j all'ora t , altrimenti 0) o l'allocazione di un binario a un treno in una stazione ($y_{ik} = 1$ se il treno i utilizza il binario k nella stazione j , altrimenti 0).

Funzione obiettivo

La funzione obiettivo in un problema di pianificazione dei treni può essere formulata considerando due aspetti principali. Il primo è la minimizzazione dei tempi di attesa e di percorrenza. L'obiettivo è quindi ridurre al minimo il tempo totale di attesa accumulato da tutti i treni includendo il tempo passato in attesa di un binario libero o di un segnale di via libera. Il secondo aspetto è l'ottimizzazione dell'utilizzo dei binari, finalizzata ad un uso efficiente dei binari, riducendo al minimo i conflitti tra i treni.

Vincoli operativi

Un vincolo operativo riguarda la capacità dei binari, in quanto ogni binario può essere occupato da un solo treno alla volta. Quindi:

$$\sum_i y_{ik} \leq 1$$

per ogni binario k . Dove y_{ik} indica il treno i utilizza il binario k .

Sicurezza e Sequenza dei treni

Per quanto riguarda la sicurezza e sequenza dei treni, questi devono mantenere una distanza di sicurezza minima tra di loro, rispettando i tempi di headway richiesti. La condizione da rispettare affinché i treni i ed i' , che occupano il binario j , siano separati è quindi:

$$x_{ij} + x_{i'j} \leq 1.$$

Vincoli di orario

I treni devono rispettare gli orari di partenza e arrivo predefiniti, tenendo conto dei vincoli di servizio. Questo comporta che, se la partenza del treno i è prevista in un certo intervallo di tempo, allora $x_{ij} = 1$.

3.8. Implementazione e simulazione di un problema QUBO

Utilizzando le variabili e i vincoli precedentemente definiti, il problema di ottimizzazione viene tradotto in un problema QUBO, che può essere risolto utilizzando un quantum annealer o un solutore classico per QUBO.

Dopo la soluzione del problema, i risultati devono essere interpretati e validati rispetto agli scenari di simulazione iniziali per verificare l'efficacia della soluzione proposta.

for each track k . Where y_{ik} indicates train i uses track k .

Safety and Sequence of Trains

As regards the safety and sequence of trains, they must maintain a minimum safety distance between them, respecting the required headway times. The condition to be met in order for trains i and i' , that are on the track j , to be separated is therefore:

$$x_{ij} + x_{i'j} \leq 1.$$

Time constraints

Trains must comply with the predefined departure and arrival times, considering service constraints. This means that, if the departure of train i is scheduled in a certain time interval, then $x_{ij} = 1$.

3.8 Implementing and Simulating a QUBO Problem

Using the defined variables and constraints previously defined, the optimization problem is translated into a QUBO problem, which can be solved using a quantum annealer or a classical solver for QUBO.

After the problem is solved, the results must be interpreted and validated against the initial simulation scenarios to verify the effectiveness of the proposed solution.

Formal definition of variables

In the QUBO model for rail planning, binary variables represent discrete decisions associated with train management.

The main categories are:

- **Departure Variables (Time and Station):**
 $x_{ijt} = 1$ if train i departs from station j in the time interval t , otherwise 0 .
- **Track allocation variables:**
 $y_{ik} = 1$ if train i uses track k at a specific station, otherwise 0 .
- **Train sequence variables:**
 $z_{iit'} = 1$ if train i precedes train i' on the same track, otherwise 0 .

Lens function

The lens function in the QUBO model is composed of several components, each reflecting a different aspect of the desired optimization.

- **Total Travel Time Minimization:**

$$\text{Minimise } \sum_{i,j,t} C_{ijt} \cdot x_{ijt}$$

where C_{ijt} represents the time cost (or penalty) associated with train i departing from station j in the time interval t .

- **Maximizing Track Efficiency:**

$$\text{Minimise } \sum_{i,k} d_{ik} \cdot y_{ik}$$

Definizione formale delle variabili

Nel modello QUBO per la pianificazione ferroviaria, le variabili binarie rappresentano decisioni discrete associate alla gestione dei treni.

Le principali categorie sono:

- Variabili di Partenza (Orario e Stazione):
 $x_{ijt} = 1$ se il treno i parte dalla stazione j nell'intervallo di tempo t , altrimenti 0.
- Variabili di allocazione dei binari:
 $y_{ik} = 1$ se il treno i utilizza il binario k in una specifica stazione, altrimenti 0.
- Variabili di sequenza dei treni:
 $z_{ii'} = 1$ se il treno i precede il treno i' sullo stesso binario, altrimenti 0.

Funzione obiettivo

La funzione obiettivo nel modello QUBO è composta da diverse componenti, ognuna delle quali riflette un aspetto diverso dell'ottimizzazione desiderata.

- Minimizzazione del tempo totale di percorrenza:

$$\text{Minimizzare } \sum_{i,j,t} C_{ijt} \cdot x_{ijt}$$

dove C_{ijt} rappresenta il costo temporale (o penalità) associato al treno i che parte dalla stazione j nell'intervallo di tempo t .

- Massimizzazione dell'efficienza dei binari:

$$\text{Minimizzare } \sum_{i,k} d_{ik} \cdot y_{ik}$$

Dove d_{ik} rappresenta il costo associato all'uso del binario k da parte del treno i .

- Penalità per violazione dei vincoli:

$$\text{Minimizzare } \sum_{i,i'} p_{ii'} \cdot z_{ii'}$$

dove $p_{ii'}$ rappresenta la penalità per la violazione del vincolo di sequenza tra i treni i e i' .

Vincoli del modello

Nel seguito si elencano i vincoli del modello, che si possono classificare in questo modo

- Vincoli di capacità dei binari:

$$\sum_{i,k} y_{ik} \leq 1$$

per ogni binario k

- Vincoli di Sicurezza:

$x_{ijt} + x_{i'jt} \leq 1$ se i treni i e i' usano lo stesso binario nello stesso tempo t

- Vincoli di orario:

$$\sum_t x_{ijt} = 1$$

per ogni treno i e stazione j al tempo t .

Where d_{ik} represents the cost associated with the use of track k by train i .

- Penalties for violation of constraints:

$$\text{Minimise } \sum_{i,i'} p_{ii'} \cdot z_{ii'}$$

where $p_{ii'}$ represents the penalty for the violation of the sequence constraint between trains i and i' .

Model constraints

The following is a list of the constraints of the model, that can be classified in this way

- Track capacity constraints:

$$\sum_{i,k} y_{ik} \leq 1$$

for each track k

- Safety Constraints:

$x_{ijt} + x_{i'jt} \leq 1$ if trains i and i' use the same track at the same time t

- Time constraints:

$$\sum_t x_{ijt} = 1$$

for each train i and station j at time t .

3.9 Definition of the QUBO matrix

The QUBO matrix is a square representation of the interactions between binary variables, in which each element Q_{ij} of the matrix represents the weight associated with the interaction between the binary variables x_i and x_j . The matrix is symmetric and with dimensions $m_T \times m_T$, where T indicates the trains and B the tracks.

Construction of the QUBO matrix

- Identify all the binary variables x_i, y_i, z_i that are required to represent the problem.
- Calculate the coefficients of the objective function for each binary variable and insert these values along the diagonal of the QUBO matrix.
- Calculate the interaction coefficients between binary variables and insert them in the appropriate positions of the QUBO matrix to represent constraints and penalties.

Mathematical representation

$$Q_{ij} = \begin{cases} c_{ij}, & \text{se } i = j \\ p_{ij}, & \text{se } i \neq j \end{cases}$$

Where c_{ij} represents the cost or benefit associated with the variable x_i and p_{ij} represents the interaction between the variables x_i and x_j .

Implementation example

Suppose we have three trains ($T1, T2, T3$) and two tracks ($B1, B2$). Binary variables could be:

3.9. Definizione della matrice QUBO

La matrice QUBO è una rappresentazione quadrata delle interazioni tra le variabili binarie, in cui ogni elemento Q_{ij} della matrice rappresenta il peso associato all'interazione tra le variabili binarie x_i e x_j . La matrice è simmetrica e di dimensioni $m_{T,n_B} \times m_{T,n_B}$, dove T indica i treni e B i binari.

Costruzione della matrice QUBO

- Identificare tutte le variabili binarie x_i, y_i, z_i necessarie per rappresentare il problema.
- Calcolare i coefficienti della funzione obiettivo per ciascuna variabile binaria e inserire questi valori lungo la diagonale della matrice QUBO.
- Calcolare i coefficienti di interazione tra le variabili binarie e inserirli nelle posizioni appropriate della matrice QUBO per rappresentare i vincoli e le penalità.

Rappresentazione matematica

$$Q_{ij} = \begin{cases} c_{ij}, & \text{se } i = j \\ p_{ij}, & \text{se } i \neq j \end{cases}$$

Dove c_{ij} rappresenta il costo o il beneficio associato alla variabile x_i e p_{ij} rappresenta l'interazione tra le variabili x_i e x_j .

Esempio di implementazione

Supponiamo di avere tre treni (T1, T2, T3) e due binari (B1, B2). Le variabili binarie potrebbero essere:

- x_{11} : T1 utilizza B1
- x_{12} : T1 utilizza B2
- x_{21} : T2 utilizza B1
- x_{22} : T2 utilizza B2
- x_{31} : T3 utilizza B1
- x_{32} : T3 utilizza B2

La matrice QUBO per questo esempio è di dimensioni 6×6 (essendo la matrice composta da 6 variabili binarie, la matrice simmetrica è composta da 36 elementi). I valori all'interno della matrice rappresentano le penalità o i benefici per ogni combinazione di assegnazione delle variabili.

Funzione obiettivo

$$\text{Minimizzare: } \sum_{i,j,k} c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{i,i',j,k} p_{ijk} x_{ijk} x_{i'jk}$$

Dove:

- c_{ijk} rappresenta il costo associato all'assegnazione del treno i alla stazione j e al binario k .
- p_{ijk} rappresenta la penalità per la violazione di vincoli tra i treni i e i' se assegnati rispettivamente alla stazione j , al binario k .
- x_{ijk} è una variabile binaria che vale 1 se il treno i è assegnato alla stazione j e al binario k , altrimenti vale 0.

- x_{11} : T1 uses B1
- x_{12} : T1 uses B2
- x_{21} : T2 uses B1
- x_{22} : T2 uses B2
- x_{31} : T3 uses B1
- x_{32} : T3 uses B2

The QUBO matrix for this example is 6×6 in size (since the matrix is composed of 6 binary variables, the symmetric matrix is composed of 36 elements). The values within the matrix represent the penalties or benefits for each combination of variable assignments.

Loss function

$$\text{Minimise: } \sum_{i,j,k} c_{ijk} x_{ijk} + \sum_{i,i',j,k} p_{ijk} x_{ijk} x_{i'jk}$$

Where:

- c_{ijk} represents the cost associated with assigning train i to station j and track k .
- p_{ijk} represents the penalty for the violation of constraints between trains i and i' if assigned respectively to station j , track k .
- x_{ijk} is a binary variable that is worth 1 if train i is assigned to station j and track k , otherwise it is worth 0.

Constraints

Segment Capabilities

For each segment of the railway line (which may be represented by the combination of a station j and a track k) and for each period of time, the number of trains allocated shall not exceed the capacity of the segment:

$$\sum_i x_{ijk} \leq \text{Capacità}_{jk} \quad \forall j, k$$

Where:

- The sum is on all trains i that use the track k of the station j .
- Capacità_{jk} it represents the maximum number of trains that can be assigned to track k in station j in the given time period t .

Minimum Time Between Trains

A minimum separation time between trains using the same track k in station j shall be observed:

Se $x_{ijk} = 1$ and $x_{i'jk} = 1$, then $|t_i - t_{i'}| \geq \text{MinimumTime}$

Where:

- t_i is the arrival time of train i at station j .
- $t_{i'}$ is the arrival time of train i' at station j .
- MinimumTime is the minimum separation time required between trains on the same track k in station j .

Train type compatibility

- Some tracks may be reserved for trains of a certain type

Vincoli

Capacità dei segmenti

Per ciascun segmento della linea ferroviaria (che può essere rappresentato dalla combinazione di una stazione j e un binario k) e per ciascun periodo di tempo, il numero di treni assegnati non deve superare la capacità del segmento:

$$\sum_i x_{ijk} \leq \text{Capacità}_{jk} \quad \forall j, k$$

Dove:

- La somma è su tutti i treni i che utilizzano il binario k della stazione j .
- Capacità_{jk} rappresenta il numero massimo di treni che possono essere assegnati al binario k nella stazione j nel dato periodo di tempo t .

Tempo Minimo tra i treni

Deve essere rispettato un tempo minimo di separazione tra i treni che utilizzano lo stesso binario k nella stazione j :

Se $x_{ijk} = 1$ e $x_{i'jk} = 1$, allora $|t_i - t_{i'}| \geq \text{TempoMinimo}$

Dove:

- t_i è il tempo di arrivo del treno i alla stazione j .
- $t_{i'}$ è il tempo di arrivo del treno i' alla stazione j .
- TempoMinimo è il tempo minimo di separazione richiesto tra i treni sullo stesso binario k nella stazione j .

Compatibilità dei tipi di treno

- Alcuni binari potrebbero essere riservati a treni di un certo tipo (ad esempio, merci o passeggeri), quindi le assegnazioni devono rispettare la compatibilità:

$$x_{ijk} \times \text{Compatibilità}_{ik} = 1$$

se il treno i non è compatibile con il binario k nella stazione j , e 0 altrimenti.

3.10. Risoluzione del problema QUBO

a. Definizione delle variabili binarie

- x_{ij} : variabile binaria che assume valore 1 se il treno i parte dalla stazione j in un determinato slot temporale, 0 altrimenti;
- y_{ik} variabile binaria che assume valore 1 se il treno i percorre il segmento di tratta k in un determinato slot temporale, 0 altrimenti;
- t : è la variabile tempo

b. Funzione obiettivo

L'obiettivo principale del modello è ottimizzare l'utilizzo delle risorse, minimizzare i ritardi, e massimizzare l'efficienza della pianificazione ferroviaria. La funzione obiettivo può essere formulata come:

$$\text{Minimizzare: } \sum_{i,j} C_{ij} x_{ij} + \sum_{i,k} D_{ik} \cdot y_{ik} \quad \forall t$$

(e.g. freight or passenger), so allocations must respect compatibility:

$$x_{ijk} \times \text{Compatibilità}_{ik} = 1$$

if train i is not compatible with track k in station j , and 0 otherwise.

3.10. Troubleshooting the QUBO Problem

a. Definition of binary variables

- x_{ij} : binary variable that takes on a value of 1 if train i leaves station j in a given time slot, 0 otherwise;
- y_{ik} binary variable that takes on a value of 1 if train i travels the segment of section k in a given time slot, 0 otherwise;
- t : is the variable time

b. Lens function

The main objective of the model is to optimize the use of resources, minimize delays, and maximize the efficiency of railway planning. The objective function can be formulated as:

$$\text{Minimise: } \sum_{i,j} C_{ij} x_{ij} + \sum_{i,k} D_{ik} \cdot y_{ik} \quad \forall t$$

Where:

- C_{ij} represents the cost or penalty associated with the departure of train i from the station j in a specific time slot (e.g., penalties for delays or for the use of critical tracks).
- D_{ik} represents the cost or penalty associated with the passage of train i on the k segment (e.g., congestion, track wear, or accumulated delay).

c. Model constraints

The constraints ensure that the model complies with the operational and technical rules of railway planning.

Track capacity constraint

- Each track can only be used by one train in each time slot:

$$\sum_i x_{ij} \leq 1 \quad \forall j$$

Path continuity constraint

- A train must travel the entire route without jumping:

$$y_{i(k+1)} \geq y_{ik} \quad \forall i, k$$

Departure and arrival constraint

- Each train must depart from an initial station and arrive at an end station in a certain time interval:

$$\sum_j x_{ij} = 1$$

(for the departure and arrival station)

Precedence and synchronization constraints:

- Ensure that trains respect the right of way and are synchronised correctly:

$$y_{i(k+1)} - y_{ik} \geq t_{\min} \quad \forall i, k$$

Dove:

- C_{ij} rappresenta il costo o penalità associato alla partenza del treno i dalla stazione j in uno specifico slot temporale (ad esempio, penalità per ritardi o per l'uso di binari critici).
 - D_{ik} rappresenta il costo o penalità associato al passaggio del treno i sul segmento di tratta k (ad esempio, congestione, usura dei binari, o ritardo accumulato).
- c. Vincoli del modello

I vincoli assicurano che il modello rispetti le regole operative e tecniche della pianificazione ferroviaria.

Vincolo di capacità dei binari

- Ogni binario può essere utilizzato da un solo treno in ogni slot temporale:

$$\sum_i x_{ij} \leq 1 \quad \forall j$$

Vincolo di continuità del percorso

- Un treno deve percorrere la tratta intera senza salti:

$$y_{i(k+1)} \geq y_{ik} \quad \forall i, k$$

Vincolo di partenza e arrivo

- Ogni treno deve partire da una stazione iniziale e arrivare a una stazione finale in un certo intervallo temporale:

$$\sum_j x_{ij} = 1$$

(per la stazione di partenza e arrivo)

Vincoli di precedenza e sincronizzazione:

- Garantire che i treni rispettino la precedenza e siano sincronizzati correttamente:

$$y_{i(k+1)} - y_{ik} \geq t_{\min} \quad \forall i, k$$

dove t_{\min} rappresenta il tempo minimo di percorrenza tra due segmenti consecutivi.

3.11. Formulazione del QUBO

Un modello QUBO è generalmente espresso come una matrice Q , dove ogni elemento Q_{ab} corrisponde all'interazione tra le variabili binarie x_a e x_b . L'obiettivo è trovare la combinazione di variabili binarie che minimizza la funzione quadratica:

$$\text{Minimizzare: } \sum_{a,b} Q_{ab} x_a x_b$$

Nel nostro caso, la matrice Q sarà costruita considerando i costi/penalità della funzione obiettivo e i vincoli trasformati in penalità. Ad esempio, per il vincolo di capacità dei binari:

$$Q_{(ij)(ij)} = \text{penalità alta se } \sum_i x_{ij} > 1$$

Similmente, si aggiungono penalità alte agli elementi della matrice Q che violano i vincoli operativi e tecnici [1] [13].

- t_{\min} rappresenta il tempo minimo di percorrenza tra due segmenti consecutivi.

3.11. Formulazione of the QUUBO

A QUBO model is generally expressed as a matrix Q , where each element Q_{ab} corresponds to the interaction between the binary variables x_a and x_b . The goal is to find the combination of binary variables that minimizes the quadratic function:

$$\text{Minimise: } \sum_{a,b} Q_{ab} x_a x_b$$

In our case, the matrix Q will be constructed considering the costs/penalties of the objective function and the constraints transformed into penalties. For example, for the track capacity constraint:

$$Q_{(ij)(ij)} = \text{high penalty if } \sum_i x_{ij} > 1$$

Similarly, high penalties are added to elements of the Q matrix that violate operational and technical constraints [1] [13].

a. Model Resolution

Once the Q matrix is formulated, the QUBO problem can be solved using various algorithms such as:

- Quantum Annealing (es. D-Wave)
- Simulated Annealing
- Heuristic algorithms such as Tabu Search

Alongside the advancement of quantum computing, traditional computational techniques such as SatOnGPU continue to prove extremely effective for solving QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization) problems. These methods take advantage of the parallel computing offered by GPUs, allowing complex problems to be tackled with remarkable computational efficiency.

SatOnGPU, in particular, is based on advanced algorithms optimized for GPU architecture, which allow large solution spaces to be explored quickly, while maintaining high precision. This technology represents a mature, widely established and accessible solution, capable of guaranteeing competitive performance compared to current quantum computers. In addition, the high flexibility of GPU-based methods makes them applicable not only to QUBO problems, but also to a wide range of combinatorial problems. Although quantum computing promises to improve the field of optimization, traditional techniques, thanks to their robustness and ease of implementation, offer an immediate solution for many industrial and scientific applications. In the long term, it is plausible that hybrid approaches will develop, in which classical and quantum methods work synergistically to maximize computational efficiency.

b. Implementation

The actual implementation requires programming the Q

a. Risoluzione del modello

Una volta formulata la matrice Q , il problema QUBO può essere risolto utilizzando vari algoritmi come:

- *Quantum Annealing* (es. D-Wave)
- *Simulated Annealing*
- Algoritmi euristici come Tabu Search

Accanto al progresso del *quantum computing*, tecniche computazionali tradizionali come SatOnGPU continuano a dimostrarsi estremamente efficaci per la risoluzione di problemi QUBO (*Quadratic Unconstrained Binary Optimization*). Questi metodi sfruttano il calcolo parallelo offerto dalle GPU, consentendo di affrontare problemi complessi con un'efficienza computazionale notevole.

SatOnGPU, in particolare, si basa su algoritmi avanzati ottimizzati per l'architettura delle GPU, che permettono di esplorare rapidamente ampi spazi di soluzione, mantenendo elevata precisione. Questa tecnologia rappresenta una soluzione matura, ampiamente consolidata e accessibile, capace di garantire prestazioni competitive rispetto ai computer quantistici attuali. Inoltre, l'elevata flessibilità dei metodi basati su GPU li rende applicabili non solo ai problemi QUBO, ma anche a una vasta gamma di problemi combinatori. Sebbene il *quantum computing* prometta di migliorare il campo dell'ottimizzazione, le tecniche tradizionali, grazie alla loro robustezza e facilità di implementazione, offrono una soluzione immediata per molte applicazioni industriali e scientifiche. Nel lungo termine, è plausibile che si sviluppino approcci ibridi, in cui metodi classici e quantistici lavorino in sinergia per massimizzare l'efficienza computazionale.

b. Implementazione

L'implementazione effettiva richiede la programmazione della matrice Q in un ambiente compatibile con solutori QUBO, come ad esempio Python con librerie specifiche (D-Wave Ocean SDK, PyQUBO).

4. Caso studio: la linea Udine - Trieste

Il caso studio, tratto dalla tesi *Simulation-based Capacity Assessment of Trieste-Udine Railway Line with ERTMS/ETCS Implementation* di Ö. C. UZGIDIM e S. RICCI [18], riguarda l'analisi della capacità e sull'ottimizzazione della gestione del traffico ferroviario sulla linea Udine-Trieste, con particolare attenzione all'implementazione del sistema ERTMS/ETCS (*European Rail Traffic Management System*). Questa linea ferroviaria è una delle più importanti nel nord-est dell'Italia, collegando le città di Udine e Trieste attraverso una serie di stazioni e fermate intermedie. Questo caso studio rappresenta un esempio complesso di pianificazione ferroviaria, dove l'integrazione di nuove tecnologie e l'uso di metodi avanzati di ottimizzazione possono portare a significativi miglioramenti operativi. La combinazione di simulazioni dettagliate e tecniche di ottimizzazione avanzate come il QUBO offre un approccio potente per affrontare

matrix in an environment compatible with QUBO solvers, such as Python with specific libraries (D-Wave Ocean SDK, PyQUBO).

4. Case study: the Udine - Trieste line

The case study, taken from the thesis Simulation-based Capacity Assessment of Trieste-Udine Railway Line with ERTMS/ETCS Implementation by Ömür Cansu Uzgidim and Stefano Ricci [18], concerns the capacity analysis and optimization of rail traffic management on the Udine-Trieste line, with particular attention to the implementation of the ERTMS/ETCS (European Rail Traffic Management System/ European Train Control System). This railway line is one of the most important in northeastern Italy, connecting the cities of Udine and Trieste through a series of stations and intermediate stops. This case study represents a complex example of railway planning, where the integration of new technologies and the use of advanced optimization methods can lead to significant operational improvements. The combination of detailed simulations and advanced optimization techniques such as QUBO offers a powerful approach to addressing the challenges associated with operating a traffic-intensive railway line.

Description of the Udine-Trieste Line

- *Section: the Udine-Trieste line, as shown below in Figure 1, covers a distance of about 67 km, crossing important railway junctions such as Gorizia, Monfalcone and Ronchi dei Legionari. It is a double-track line, which supports both regional and intercity traffic, as well as freight traffic.*
- *Main Stations: Udine, Gorizia Centrale, Ronchi dei Legionari Nord, Monfalcone and Bivio D'Aurisina are the key stations along this route. These stations handle a combination of passenger and freight traffic, making planning particularly complex.*
- *ERTMS/ETCS system: the line is intended for the implementation of the ERTMS/ETCS system, with the aim of improving the capacity, safety and efficiency of rail traffic. This advanced traffic control and management system is designed to reduce waiting times, increase train frequency and improve train path occupancy.*

4.1. Planning Variables

- *Types of trains: the line is home to a variety of rail services, including regional, InterCity, and freight trains. Each type of train has different operational requirements in terms of speed, frequency and scheduled stops.*
- *Departure and arrival times: timetables must be carefully planned to avoid conflicts between different types of trains, especially at major rail hubs and during peak hours.*

le sfide associate alla gestione di una linea ferroviaria ad alta intensità di traffico.

Descrizione della Linea Udine-Trieste

- **Tratta:** la linea Udine-Trieste, come di seguito riportato nella Fig. 1, copre una distanza di circa 67 km, attraversando importanti nodi ferroviari come Gorizia, Monfalcone e Ronchi dei Legionari. È una linea a doppio binario, che supporta sia il traffico regionale e intercity, sia quello merci.
- **Stazioni Principali:** Udine, Gorizia Centrale, Ronchi dei Legionari Nord, Monfalcone e Bivio D'Aurisina sono le stazioni chiave lungo questa tratta. Queste stazioni gestiscono una combinazione di traffico passeggeri e merci, rendendo la pianificazione particolarmente complessa.
- **Sistema ERTMS/ETCS:** la linea è destinata all'implementazione del sistema ERTMS/ETCS, con l'obiettivo di migliorare la capacità, la sicurezza e l'efficienza del traffico ferroviario. Questo sistema avanzato di controllo e gestione del traffico è progettato per ridurre i tempi di attesa, aumentare la frequenza dei treni e migliorare l'occupazione delle tracce.

4.1. Variabili di Pianificazione

- **Tipi di treni:** la linea ospita una varietà di servizi ferroviari, tra cui treni regionali, InterCity e treni merci. Ogni tipo di treno ha requisiti operativi diversi in termini di velocità, frequenza e fermate programmate.
- **Orari di partenza e arrivo:** gli orari devono essere attentamente pianificati per evitare conflitti tra i diversi tipi di treni, specialmente nei nodi ferroviari principali e durante le ore di punta.
- **Capacità dei binari:** la capacità dei binari, ossia il numero massimo di treni che possono essere gestiti contemporaneamente su un tratto, è una variabile critica che deve essere ottimizzata per massimizzare l'efficienza della linea.

4.2. Vincoli operativi

- **Frequenza dei treni:** i treni passeggeri devono rispettare frequenze stabilite per garantire un servizio regolare, mentre i treni merci devono essere programmati per minimizzare i ritardi nelle consegne.
- **Limitazioni di velocità:** ogni segmento della linea ha specifiche limitazioni di velocità che influenzano i tempi di percorrenza e la capacità di pianificazione.
- **Gestione dei conflitti:** evitare so-

- **Track capacity:** track capacity, i.e. the maximum number of trains that can be operated simultaneously on a section, is a critical variable that must be optimized to maximize the efficiency of the line.

4.2. Operational constraints

- **Frequency of trains:** passenger trains must adhere to established frequencies to ensure regular service, while freight trains must be scheduled to minimize delays in deliveries.
- **Speed Limitations:** each segment of the line has specific speed restrictions that affect travel times and planning capacity.
- **Conflict management:** avoiding overlaps and conflicts between trains is essential to prevent delays and ensure safety. This includes managing trains in the event of unexpected delays.

4.3. Objectives

- **Minimization of waiting times:** a key objective is to minimize waiting times for both passenger and freight trains, thus optimizing the efficiency of the line.
- **Optimizing the use of resources:** this includes maximizing the use of available tracks and optimizing schedules to ensure that line capacity is utilized to the maximum.
- **Increased capacity:** the deployment of ERTMS/ETCS is expected to lead to an increase in line capacity, allowing for a larger number of trains without compromising safety or regularity of service.

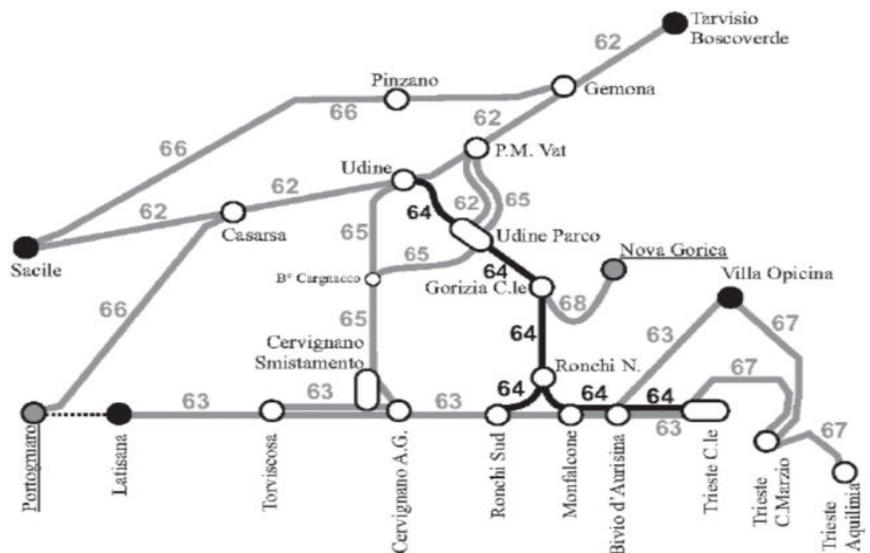


Figura 1 - Linea Trieste C.le - Udine.
Figure 1 - Trieste C.le - Udine line.

vrapposizioni e conflitti tra treni è essenziale per prevenire ritardi e garantire la sicurezza. Questo include la gestione dei treni in caso di ritardi imprevisti.

4.3. Obiettivi

- Minimizzazione dei tempi d'attesa: un obiettivo chiave è ridurre al minimo i tempi di attesa sia per i treni passeggeri che per quelli merci, ottimizzando così l'efficienza della linea.
- Ottimizzazione dell'uso delle risorse: Questo include la massimizzazione dell'uso dei binari disponibili e l'ottimizzazione degli orari per garantire che la capacità della linea sia sfruttata al massimo.
- Aumento della capacità: l'implementazione dell'ERTMS/ETCS dovrebbe portare a un aumento della capacità della linea, permettendo un numero maggiore di treni senza compromettere la sicurezza o la regolarità del servizio.

4.4. Metodologia utilizzata

- Simulazione basata su Open Track²: per valutare l'impatto dell'ERTMS/ETCS sulla capacità della linea, nel caso studio di partenza, viene utilizzato il software di simulazione Open Track, che permette di modellare scenari operativi realistici e di testare diverse configurazioni di orari e frequenze dei treni.
- Analisi comparativa: il modello QUBO potrebbe essere utilizzato per ottimizzare ulteriormente la pianificazione dei treni, riducendo i conflitti e migliorando l'uso delle risorse rispetto ai metodi tradizionali di pianificazione.

4.5. Risultati

- Aumento dell'efficienza: con l'implementazione dell'ERTMS/ETCS e l'ottimizzazione tramite modelli avanzati come il QUBO, ci si aspetta un miglioramento significativo dell'efficienza operativa della linea, con una riduzione dei tempi di percorrenza e un aumento della frequenza dei treni.
- Maggiore sicurezza e affidabilità: L'uso del sistema ERTMS/ETCS dovrebbe anche migliorare la sicurezza della linea, riducendo il rischio di incidenti e garantendo una maggiore affidabilità del servizio.

Per generare i dati di input della matrice QUBO, (con 5 treni, 3 stazioni e 4 segmenti), dobbiamo esaminare i contributi lineari e quadrati e i costi per variabile:

- Costo per treno e stazione: 1

4.4. Methodology used

- *Simulation based on Open Track²: to assess the impact of ERTMS/ETCS on the line capacity, in the starting case study, Open Track simulation software is used, which allows realistic operating scenarios to be modelled and different configurations of train schedules and frequencies to be tested.*
- *Benchmarking: the QUBO model could be used to further optimize train scheduling, reducing conflicts and improving resource use compared to traditional scheduling methods.*

4.5. Results

- *Increased efficiency: with the implementation of ERTMS/ETCS and optimisation using advanced models such as QUBO, a significant improvement in the operational efficiency of the line is expected, with reduced journey times and an increase in train frequency.*
- *Increased safety and reliability: the use of ERTMS/ETCS should also improve line safety, reducing the risk of accidents and ensuring greater service reliability.*

To generate the input data of the QUBO matrix, (with 5 trains, 3 stations, and 4 segments), we need to look at the linear and square contributions and the costs per variable:

- *Cost per train and station: 1*
- *Cost per train and segment: 1*
- *Penalties for interactions between variables in the same station, between consecutive segments, and synchronization.*

Linear terms are the contributions of individual variables (without interaction with other variables).

Variables $x_{i,j}$ (train i , station j): for each train i and each station j , we add a penalty (in this case 1).

Example of linear terms for $x_{i,j}$:

- *' x_{0_0} ': 1, ' x_{0_1} ': 1, ' x_{0_2} ': 1 for train 0 in stations 0, 1, 2.*
- *' x_{1_0} ': 1, ' x_{1_1} ': 1, ' x_{1_2} ': 1 for train 1 in stations 0, 1, 2.*

We repeat the same for the other trains:

Variables $y_{i,k}$ (train i , segment k): again, we add a penalty of 1 for each variable $y_{i,k}$.

Example of linear terms for $y_{i,k}$:

- *' y_{0_0} ': 1, ' y_{0_1} ': 1, ' y_{0_2} ': 1, ' y_{0_3} ': 1 for train 0 in segments 0, 1, 2, 3.*

² Sito web di Open Track: https://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_e/opentrack_e.html

² Sito web di Open Track: https://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_e/opentrack_e.html

- Costo per treno e segmento: 1
- Penalità per interazioni tra variabili nella stessa stazione, tra segmenti consecutivi e sincronizzazione.

I termini lineari sono i contributi delle singole variabili (senza interazione con altre variabili).

Variabili $x_{[i,j]}$ (treno i , stazione j): per ogni treno i e ogni stazione j , aggiungiamo una penalità (in questo caso 1).

Esempio di termini lineari per $x_{[i,j]}$:

- ' x_{0_0} ': 1, ' x_{0_1} ': 1, ' x_{0_2} ': 1 per il treno 0 nelle stazioni 0, 1, 2.
- ' x_{1_0} ': 1, ' x_{1_1} ': 1, ' x_{1_2} ': 1 per il treno 1 nelle stazioni 0, 1, 2.

Ripetiamo lo stesso per gli altri treni:

Variabili $y_{[i,k]}$ (treno i , segmento k): anche qui, aggiungiamo una penalità di 1 per ogni variabile $y_{[i,k]}$.

Esempio di termini lineari per $y_{[i,k]}$:

- ' y_{0_0} ': 1, ' y_{0_1} ': 1, ' y_{0_2} ': 1, ' y_{0_3} ': 1 per il treno 0 nei segmenti 0, 1, 2, 3.
- ' y_{1_0} ': 1, ' y_{1_1} ': 1, ' y_{1_2} ': 1, ' y_{1_3} ': 1 per il treno 1 nei segmenti 0, 1, 2, 3.

Ripetiamo lo stesso per gli altri treni. Termini quadratici (interazioni): le interazioni quadratiche rappresentano vincoli tra variabili.

Vincoli di capacità (tra treni nella stessa stazione): ogni coppia di treni nella stessa stazione avrà un vincolo che impone una penalità se entrambi i treni sono attivi nella stessa stazione.

Per esempio:

- ' x_{0_0} ' e ' x_{1_0} ' interagiscono con penalità 1, cioè (' x_{0_0} ', ' x_{1_0} '): 1.
- ' x_{0_1} ' e ' x_{1_1} ' interagiscono con penalità 1, cioè (' x_{0_1} ', ' x_{1_1} '): 1.

Ripetiamo per tutte le coppie di treni nella stessa stazione.

Vincoli di continuità del percorso (tra segmenti consecutivi):

Ogni treno ha una relazione di continuità tra i segmenti. Per esempio, $y_{[i,k]}$ e $y_{[i,k+1]}$ devono essere legati.

Per esempio:

- (' y_{0_0} ', ' y_{0_1} '): -1 per il treno 0 tra i segmenti 0 e 1.
- (' y_{0_1} ', ' y_{0_2} '): -1 per il treno 0 tra i segmenti 1 e 2.

Ripetiamo per tutti i treni e segmenti.

Vincoli di sincronizzazione tra segmenti: per ogni treno, la sincronizzazione tra segmenti deve rispettare un vincolo di tempo minimo (ad esempio, tra i segmenti 0 e 1 per il treno 0).

Per esempio:

- ' y_{1_0} ': 1, ' y_{1_1} ': 1, ' y_{1_2} ': 1, ' y_{1_3} ': 1 for train 1 in segments 0, 1, 2, 3.

We repeat the same for the other trains. Square terms (interactions): quadratic interactions represent constraints between variables.

Capacity constraints (between trains at the same station): each pair of trains at the same station will have a constraint imposing a penalty if both trains are active at the same station.

For example:

- ' x_{0_0} ' and ' x_{1_0} ' interact with penalty 1, i.e. (' x_{0_0} ', ' x_{1_0} '): 1.
- ' x_{0_1} ' and ' x_{1_1} ' interact with penalty 1, i.e. (' x_{0_1} ', ' x_{1_1} '): 1.

We repeat for all pairs of trains at the same station.

Path continuity constraints (between consecutive segments):

Each train has a continuity relationship between the segments. For example, $y_{[i,k]}$ and $y_{[i,k+1]}$ must be bonded.

For example:

- (' y_{0_0} ', ' y_{0_1} '): -1 for train 0 between segments 0 and 1.
- (' y_{0_1} ', ' y_{0_2} '): -1 for train 0 between segments 1 and 2.

We repeat for all trains and segments.

Synchronization constraints between segments: For each train, synchronization between segments must adhere to a minimum time constraint (for example, between segments 0 and 1 for train 0).

For example:

- (' y_{0_0} ', ' y_{0_1} '): -1 (synchronization penalty between segments for train 0).
- (' y_{1_0} ', ' y_{1_1} '): -1 (segment synchronization penalty for train 1).
- We repeat for all trains.

$Q = \{$

Linear terms for x_{ij} (train i , station j)

' x_{0_0} ': 1, ' x_{0_1} ': 1, ' x_{0_2} ': 1,

' x_{1_0} ': 1, ' x_{1_1} ': 1, ' x_{1_2} ': 1,

' x_{2_0} ': 1, ' x_{2_1} ': 1, ' x_{2_2} ': 1,

' x_{3_0} ': 1, ' x_{3_1} ': 1, ' x_{3_2} ': 1,

' x_{4_0} ': 1, ' x_{4_1} ': 1, ' x_{4_2} ': 1,

Linear terms for y_{ik} (train i , segment k)

' y_{0_0} ': 1, ' y_{0_1} ': 1, ' y_{0_2} ': 1, ' y_{0_3} ': 1,

' y_{1_0} ': 1, ' y_{1_1} ': 1, ' y_{1_2} ': 1, ' y_{1_3} ': 1,

' y_{2_0} ': 1, ' y_{2_1} ': 1, ' y_{2_2} ': 1, ' y_{2_3} ': 1,

- ('y_0_0', 'y_0_1'): -1 (penalità di sincronizzazione tra segmenti per il treno 0).
- ('y_1_0', 'y_1_1'): -1 (penalità di sincronizzazione tra segmenti per il treno 1).
- Ripetiamo per tutti i treni.

```

Q = {
# Termini lineari per x_ij (treno i, stazione j)
'x_0_0': 1, 'x_0_1': 1, 'x_0_2': 1,
'x_1_0': 1, 'x_1_1': 1, 'x_1_2': 1,
'x_2_0': 1, 'x_2_1': 1, 'x_2_2': 1,
'x_3_0': 1, 'x_3_1': 1, 'x_3_2': 1,
'x_4_0': 1, 'x_4_1': 1, 'x_4_2': 1,
# Termini lineari per y_ik (treno i, segmento k)
'y_0_0': 1, 'y_0_1': 1, 'y_0_2': 1, 'y_0_3': 1,
'y_1_0': 1, 'y_1_1': 1, 'y_1_2': 1, 'y_1_3': 1,
'y_2_0': 1, 'y_2_1': 1, 'y_2_2': 1, 'y_2_3': 1,
'y_3_0': 1, 'y_3_1': 1, 'y_3_2': 1, 'y_3_3': 1,
'y_4_0': 1, 'y_4_1': 1, 'y_4_2': 1, 'y_4_3': 1,
# Interazioni quadrate per capacità tra treni nella stessa stazione
('x_0_0', 'x_1_0'): 1, ('x_0_0', 'x_2_0'): 1, ('x_0_0', 'x_3_0'): 1, ('x_0_0', 'x_4_0'): 1,
('x_0_1', 'x_1_1'): 1, ('x_0_1', 'x_2_1'): 1, ('x_0_1', 'x_3_1'): 1, ('x_0_1', 'x_4_1'): 1,
('x_0_2', 'x_1_2'): 1, ('x_0_2', 'x_2_2'): 1, ('x_0_2', 'x_3_2'): 1, ('x_0_2', 'x_4_2'): 1,
('x_1_0', 'x_1_1'): 1, ('x_1_0', 'x_1_2'): 1, ('x_1_1', 'x_1_2'): 1, ('x_1_1', 'x_1_3'): 1,
('x_1_2', 'x_1_3'): 1, ('x_2_0', 'x_2_1'): 1, ('x_2_0', 'x_2_2'): 1, ('x_2_1', 'x_2_2'): 1, ('x_2_1', 'x_2_3'): 1,
('x_2_2', 'x_2_3'): 1, ('x_3_0', 'x_3_1'): 1, ('x_3_0', 'x_3_2'): 1, ('x_3_1', 'x_3_2'): 1, ('x_3_1', 'x_3_3'): 1,
('x_3_2', 'x_3_3'): 1, ('x_4_0', 'x_4_1'): 1, ('x_4_0', 'x_4_2'): 1, ('x_4_1', 'x_4_2'): 1, ('x_4_1', 'x_4_3'): 1,
('x_4_2', 'x_4_3'): 1,
# Aggiungo altre coppie per le altre stazioni
# Interazioni quadrate per continuità tra segmenti
('y_0_0', 'y_0_1'): -1, ('y_0_1', 'y_0_2'): -1, ('y_0_2', 'y_0_3'): -1,
('y_1_0', 'y_1_1'): -1, ('y_1_1', 'y_1_2'): -1, ('y_1_2', 'y_1_3'): -1,
('y_2_0', 'y_2_1'): -1, ('y_2_1', 'y_2_2'): -1, ('y_2_2', 'y_2_3'): -1,
('y_3_0', 'y_3_1'): -1, ('y_3_1', 'y_3_2'): -1, ('y_3_2', 'y_3_3'): -1,
('y_4_0', 'y_4_1'): -1, ('y_4_1', 'y_4_2'): -1, ('y_4_2', 'y_4_3'): -1,
# Interazioni quadrate per sincronizzazione tra segmenti
('y_0_0', 'y_0_1'): -1, ('y_1_0', 'y_1_1'): -1, ('y_2_0', 'y_2_1'): -1,
('y_3_0', 'y_3_1'): -1, ('y_4_0', 'y_4_1'): -1,
}

```

Dettagli dei tempi computazionali. Tempo di accesso alla QPU (Quantum Processing Unit):

```

'y_3_0': 1, 'y_3_1': 1, 'y_3_2': 1, 'y_3_3': 1,
'y_4_0': 1, 'y_4_1': 1, 'y_4_2': 1, 'y_4_3': 1,
# Square interactions per capacity between trains in the same station
('x_0_0', 'x_1_0'): 1, ('x_0_0', 'x_2_0'): 1, ('x_0_0', 'x_3_0'): 1, ('x_0_0', 'x_4_0'): 1,
('x_0_1', 'x_1_1'): 1, ('x_0_1', 'x_2_1'): 1, ('x_0_1', 'x_3_1'): 1, ('x_0_1', 'x_4_1'): 1,
('x_0_2', 'x_1_2'): 1, ('x_0_2', 'x_2_2'): 1, ('x_0_2', 'x_3_2'): 1, ('x_0_2', 'x_4_2'): 1,
# Add more pairs for other stations
# Square interactions for continuity between segments
('y_0_0', 'y_0_1'): -1, ('y_0_1', 'y_0_2'): -1, ('y_0_2', 'y_0_3'): -1,
('y_1_0', 'y_1_1'): -1, ('y_1_1', 'y_1_2'): -1, ('y_1_2', 'y_1_3'): -1,
('y_2_0', 'y_2_1'): -1, ('y_2_1', 'y_2_2'): -1, ('y_2_2', 'y_2_3'): -1,
('y_3_0', 'y_3_1'): -1, ('y_3_1', 'y_3_2'): -1, ('y_3_2', 'y_3_3'): -1,
('y_4_0', 'y_4_1'): -1, ('y_4_1', 'y_4_2'): -1, ('y_4_2', 'y_4_3'): -1,
# Square interactions for synchronization between segments
('y_0_0', 'y_0_1'): -1, ('y_1_0', 'y_1_1'): -1, ('y_2_0', 'y_2_1'): -1,
('y_3_0', 'y_3_1'): -1, ('y_4_0', 'y_4_1'): -1,
}

```

Details of computational times. Quantum Processing Unit (QPU) access time:

- qpu_access_time: 250000 μ s = 250 ms.
- qpu_programming_time: 60000 μ s = 60 ms.
- qpu_sampling_time: 4000 μ s = 4 ms.
- total_real_time: 315000 μ s = 315 ms.

The results using D-Wave's quantum annealer represent a significant step towards the advanced optimization of complex problems using quantum computing technologies.

1) Optimal solution and configuration of variables

- Configuration of variables: the optimal solution obtained with D-Wave indicates a specific configuration of the binary variables that represent the planning of trains on several tracks and in different time slots. Each binary variable in the QUBO model represents a specific decision, such as assigning a train to a track in a certain time slot.
- Optimal solution: the optimal solution found showed a configuration of variables that minimizes the energy of

- qpu_access_time: 250000 μs = 250 ms.
- qpu_programming_time: 60000 μs = 60 ms.
- qpu_sampling_time: 4000 μs = 4 ms.
- total_real_time: 315000 μs = 315 ms.

I risultati con l'utilizzo del *quantum annealer* di D-Wave rappresentano un passo significativo verso l'ottimizzazione avanzata di problemi complessi tramite tecnologie di calcolo quantistico.

1) Soluzione ottimale e configurazione delle variabili

- Configurazione delle variabili: la soluzione ottimale ottenuta con D-Wave indica una specifica configurazione delle variabili binarie che rappresentano la pianificazione dei treni su più binari e in diverse fasce orarie. Ogni variabile binaria del modello QUBO rappresenta una decisione specifica, come l'assegnazione di un treno a un binario in un determinato slot temporale.
- Soluzione ottimale: la soluzione ottimale trovata ha mostrato una configurazione delle variabili che minimizza l'energia del sistema, il che corrisponde a minimizzare conflitti e ritardi nella pianificazione ferroviaria.

2) Energia della soluzione

- Energia della soluzione: nel contesto del quantum annealing, l'energia rappresenta un indicatore della qualità della soluzione. Un'energia inferiore indica una soluzione migliore, poiché corrisponde a una minore quantità di conflitti e una maggiore efficienza nella gestione delle risorse.
- Risultato Specifico: l'energia della soluzione è stata misurata come negativa. Questo valore suggerisce che, all'interno del modello definito, la configurazione trovata è altamente efficiente nella riduzione dei conflitti operativi tra i treni; ciò indica che la soluzione è vicina a un ottimo globale.

3) Robustezza e ripetibilità dei risultati

- Ripetibilità: durante le iterazioni del processo di quantum annealing, sono state ottenute configurazioni simili in termini di energia, indicando che il modello è robusto e i risultati sono consistenti.
- Occorrenze: il numero di occorrenze delle soluzioni ottimali è un altro indicatore della stabilità del sistema. Una soluzione che appare frequentemente tra le soluzioni possibili suggerisce una maggiore robustezza del risultato.

4) Confronto con metodi tradizionali

- Vantaggi rispetto ai metodi tradizionali. I metodi tradizionali, come la programmazione lineare o l'uso di euristiche, richiedono tempi di calcolo significativi (circa 2 secondi) e possono offrire soluzioni sub-ottimali in scenari complessi. Il modello QUBO risolto tramite D-Wave ha dimostrato di poter trovare soluzioni efficienti in un tempo relativamente breve (circa 6,5 più

the system, which corresponds to minimizing conflicts and delays in railway planning.

2) Solution Energy

- *Solution energy: in the context of quantum annealing, energy is an indicator of the quality of the solution. Lower energy indicates a better solution, as it corresponds to fewer conflicts and greater efficiency in resource management.*
- *Specific Result: the energy of the solution was measured as negative. This value suggests that, within the defined model, the configuration found is highly efficient in reducing operational conflicts between trains; This indicates that the solution is close to an overall optimum.*

3) Robustness and repeatability of results

- *Repeatability: during iterations of the quantum annealing process, similar energy configurations were obtained, indicating that the model is robust and the results are consistent.*
- *Occurrences: The number of occurrences of optimal solutions is another indicator of system stability. A solution that frequently appears among the possible solutions suggests a greater robustness of the result.*

4) Comparison with traditional methods

- *Advantages over traditional methods. Traditional methods, such as linear programming or the use of heuristics, require significant computational time (about 2 seconds) and can offer sub-optimal solutions in complex scenarios. The QUBO model solved by D-Wave has shown that it can find efficient solutions in a relatively short time (about 6,5 faster), showing the potential to address problems of greater scale or with greater complexity.*

5) Perspectives

- *Development and implementation: as quantum technologies continue to develop, it is possible that models such as QUBO will become increasingly integrated into railway planning and management processes, especially in combination with advanced control systems such as ERTMS/ETCS.*
- *Integration with other systems: in the future, integrating results with D-Wave into simulation platforms such as Open Track could provide a hybrid approach, combining the advantages of traditional simulation with quantum optimization.*

4.6. Considerations

The differences in the energy values obtained from the various executions of the program (-1.0, -2.0, -3.0) are the result of different configurations of the binary variables of the QUBO problem and reflect the quality of the solutions obtained by the D-Wave quantum annealer.

veloce), mostrando il potenziale per affrontare problemi di scala maggiore o con una complessità maggiore.

5) Prospettive

- Sviluppo e implementazione: con il continuo sviluppo delle tecnologie quantistiche, è possibile che modelli come il QUBO diventino sempre più integrati nei processi di pianificazione e gestione ferroviaria, soprattutto in combinazione con i sistemi di controllo avanzato come l'ERTMS/ETCS.
- Integrazione con altri sistemi: in futuro, l'integrazione dei risultati con D-Wave in piattaforme di simulazione come Open Track potrebbe fornire un approccio ibrido, combinando i vantaggi della simulazione tradizionale con l'ottimizzazione quantistica.

4.6. Considerazioni

Le differenze nei valori di energia ottenuti dalle varie esecuzioni del programma (-1.0, -2.0, -3.0) sono il risultato di diverse configurazioni delle variabili binarie del problema QUBO e riflettono la qualità delle soluzioni ottenute dal quantum annealer di D-Wave.

1) Cosa significa l'energia nella QUBO?

L'energia in un modello QUBO rappresenta il "costo" o la "qualità" di una soluzione rispetto all'ottimizzazione dei vincoli e degli obiettivi definito nel modello. In generale:

- Energia più bassa (più negativa): indica una soluzione migliore, che soddisfa meglio i vincoli e ottimizza gli obiettivi definiti nel problema. È associata a meno conflitti e a un'allocazione più efficiente delle risorse.
- Energia più alta (meno negativa): indica una soluzione meno ottimale, con più violazioni dei vincoli o una minore efficienza nell'allocazione delle risorse.

Come riportato di seguito nella Fig. 2, abbiamo i contributi all'energia totale del modello QUBO:

1. *Conflict Avoidance* (-1.5): energia risparmiata grazie all'eliminazione di conflitti tra treni sulle stesse tratte.
2. *Energy Optimization* (-1.5): energia risparmiata grazie all'ottimizzazione dei percorsi e del consumo complessivo.

Questi due contributi si sommano per ottenere il valore totale di energia ottimizzata pari a -3. Questo grafico aiuta a comprendere come le diverse parti della funzione obiettivo contribuiscono all'efficienza complessiva del sistema.

2) Perché si ottengono energie diverse?

Ci sono diverse ragioni per cui si ottengono valori di energia differenti in successive esecuzioni:

1) What does energy mean in QUBO?

Energy in a QUBO model represents the "cost" or "quality" of a solution with respect to the constraint and goal optimization defined in the model. Generally:

- *Lower (more negative) energy: indicates a better solution, which better satisfies the constraints and optimizes the goals defined in the problem. It is associated with fewer conflicts and more efficient resource allocation.*
- *Higher energy (less negative): indicates a less optimal solution, with more constraint violations or lower efficiency in resource allocation.*

As shown below in Fig. 2, we have the total energy contributions of the QUBO model:

1. *Conflict Avoidance (-1.5): energy saved thanks to the elimination of conflicts between trains on the same routes.*
2. *Energy Optimization (-1.5): energy saved thanks to the optimization of routes and overall consumption.*

These two contributions add up to obtain the total value of optimized energy equal to -3. This chart helps you understand how the different parts of the goal function contribute to the overall efficiency of the system.

2) Why do you get different energies?

There are several reasons why different energy values are obtained in subsequent executions:

- *Intrinsic variability of the Quantum Annealer: quantum annealers such as those of D-Wave do not always guarantee to find the absolute optimal solution. Due to the stochastic characteristics of the annealing process, it is possible that different executions of the model give different solutions, with slightly different energies.*

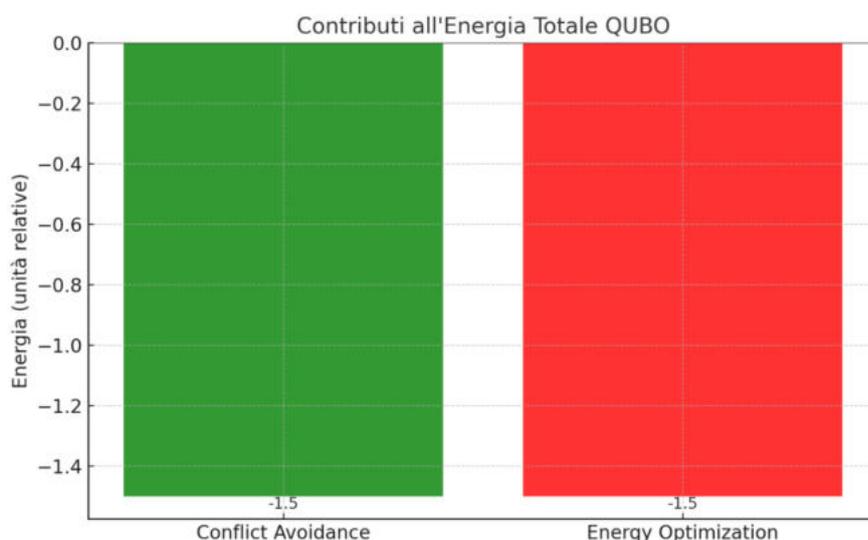


Figura 2 - Risparmio energetico QUBO al valore totale: conflitti (-1,5), energia (-1,5).

Figure 2 - QUBO energy savings at total value: conflicts (-1.5), energy (-1.5).

- Variabilità intrinseca del *Quantum Annealer*: i quantum annealer come quelli di D-Wave non garantiscono sempre di trovare la soluzione ottimale assoluta. A causa delle caratteristiche stocastiche del processo di annealing, è possibile che diverse esecuzioni del modello diano soluzioni diverse, con energie leggermente diverse.
- Diversi minimi locali: Il problema QUBO può avere più minimi locali, cioè configurazioni che sono ottimali a livello locale ma non necessariamente la soluzione globale ottimale. In diverse esecuzioni, l'algoritmo può "cadere" in diversi minimi locali, risultando in energie diverse.
- Numero d'iterazioni e parametri di campionamento: Il numero di iterazioni (`num_reads`) e altri parametri di campionamento possono influenzare la qualità delle soluzioni trovate. Più iterazioni possono aumentare le probabilità di trovare una soluzione con un'energia più bassa.

3) Come interpretare i valori di energia?

- Energia -1.0: Questa soluzione potrebbe indicare una configurazione con più conflitti o una gestione meno efficiente delle risorse.
- Energia -2.0: Questa soluzione è migliore rispetto a -1.0, suggerendo che il modello ha trovato un modo per ridurre i conflitti e ottimizzare l'allocazione delle risorse in modo più efficace.
- Energia -3.0: Questa è la migliore tra le soluzioni trovate, con meno conflitti e un'ottimizzazione più efficiente rispetto alle altre due.
- Energia decrescente: L'energia decrescente tra le varie esecuzioni (-1.0, -2.0, -3.0), l'andamento riportato in Fig. 3, indica che in ciascuna esecuzione il quantum annealer ha trovato soluzioni sempre più ottimizzate.
- Stabilità del risultato: Per garantire stabilità nei risultati, si potrebbe considerare di eseguire il modello diverse volte e selezionare la soluzione con l'energia più bassa o di mediare i risultati.
- Possibili miglioramenti: per ottenere risultati più consistenti, si potrebbe provare a ottimizzare ulteriormente i parametri di campionamento o riformulare leggermente il problema per ridurre la complessità dei vincoli.

Questo comportamento è comune nei problemi di ottimizzazione basati su quantum annealing, dove la natura probabilistica del processo porta a soluzioni che possono variare tra esecuzioni diverse.

La soluzione ottimale ottenuta dal modello QUBO per la pianificazione dei treni evidenzia diversi aspetti importanti, che meritano di essere analizzati per valutare l'efficacia del modello e le sue potenziali applicazioni nel contesto ferroviario reale.

1) Come distribuire i treni e rispettare i vincoli?

- Assegnazione delle tratte e stazioni: la soluzione mostra come i treni sono distribuiti lungo le varie stazioni e segmenti di binario nel tempo. Le variabili x e y rappresentano rispettivamente la presenza di treni in stazione e su

- *Different local minima: the QUBO problem can have multiple local minima, i.e. configurations that are optimal at the local level but not necessarily the optimal global solution. In different runs, the algorithm can "drop" at different local minimums, resulting in different energies.*

- *Number of iterations and sampling parameters: the number of iterations (`num_reads`) and other sampling parameters can affect the quality of the solutions found. More iterations can increase the chances of finding a solution with lower energy.*

3) How to interpret energy values?

- *Energy -1.0: this solution could indicate a configuration with more conflicts or less efficient resource management.*
- *Energy -2.0: this solution is better than -1.0, suggesting that the model has found a way to reduce conflicts and optimize resource allocation more effectively.*
- *Energy -3.0: this is the best of the solutions found, with fewer conflicts and more efficient optimization than the other two.*
- *Decreasing energy: the decreasing energy between the various executions (-1.0, -2.0, -3.0), the trend shown in Fig. 3, indicates that in each execution the quantum annealer has found increasingly optimized solutions.*
- *Stability of the result: to ensure stability in the results, you might consider running the model several times and selecting the solution with the lowest energy or averaging the results.*
- *Possible improvements: to get more consistent results, you might want to try further optimizing the sampling parameters or reformulating the problem slightly to reduce the complexity of the constraints.*

This behaviour is common in quantum annealing-based optimization problems, where the probabilistic nature of the process leads to solutions that can vary between different executions.

The optimal solution obtained by the QUBO model for train planning highlights several important aspects, which deserve to be analysed to evaluate the effectiveness of the model and its potential applications in the real railway context.

1) How to distribute trains and respect constraints?

- *Route and Station Assignment: the solution shows how trains are distributed along the various stations and track segments over time. The variables x and y represent the presence of trains at the station and on track segments, respectively. The optimal configuration indicates that the model has found a way to distribute trains in such a way as to avoid conflicts and ensure that there are no more trains than the tracks can handle simultaneously.*
- *Compliance with Capacity Constraints: compliance with*

segmenti di binario. La configurazione ottimale indica che il modello ha trovato un modo per distribuire i treni in modo tale da evitare conflitti e garantire che non ci siano più treni di quanti i binari possano gestire simultaneamente.

- Rispetto dei vincoli di capacità: il rispetto dei vincoli di capacità dei binari è essenziale per evitare congestioni e ritardi. La soluzione ottenuta mostra che il modello è in grado di gestire efficacemente la capacità della rete, ottimizzando l'utilizzo dei segmenti di binario disponibili e delle stazioni.
- 2) Come ottimizzare l'energia e le risorse?
- Minimizzazione dell'Energia: la minimizzazione dell'energia della soluzione QUBO è indicativa di un uso efficiente delle risorse. Una bassa energia della soluzione corrisponde generalmente a una configurazione che rispetta i vincoli imposti, minimizzando al contempo l'uso delle risorse in eccesso, come tempi morti e utilizzo ridondante dei binari.
 - Efficienza Operativa: La configurazione trovata suggerisce che il modello è capace di ottimizzare l'operatività della linea ferroviaria, riducendo potenzialmente i tempi di inattività dei treni e ottimizzando i tempi di percorrenza. Questo potrebbe tradursi in una maggiore puntualità e un migliore sfruttamento delle infrastrutture esistenti.
- 3) Quali Implicazioni per la pianificazione reale?
- Applicabilità del modello: la soluzione ottenuta attraverso il modello QUBO potrebbe essere utilizzata come base per la pianificazione, previa validazione tramite simulazioni o test sul campo. Il modello può essere ulteriormente raffinato per incorporare altri vincoli operativi specifici del contesto reale, come ritardi, necessità di manutenzione o variazioni nei flussi di traffico. In merito a ciò, lo studio della Metro-tramvia di Baltimora [24] è un esempio che l'algoritmo quantistico, eseguito su hardware di *quantum annealing*, anch'esso implementato su piattaforma D-Wave, ha permesso di trovare rapidamente una configurazione ottimale per l'allocazione dei binari, con una minimizzazione dell'energia del sistema QUBO (-8.0). Nel progetto, il calcolo dell'energia serve come misura per capire quanto una soluzione sia efficiente: una minore energia significa minori conflitti tra treni, minori tempi di attesa e un uso ottimale dei binari disponibili.
 - Flessibilità e adattabilità: il modello QUBO offre una struttura flessibile che può essere adattata per incorporare nuovi vincoli o obiettivi, come l'ottimizzazione per i costi operativi o la minimizzazione delle emissioni. Que-

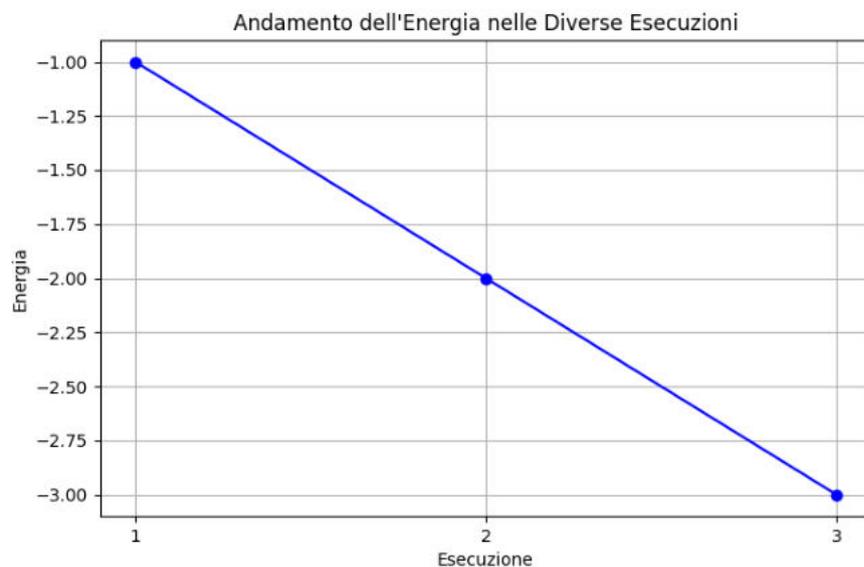


Figura 3 - Andamento energetico nelle diverse esecuzioni.

Figure 3 - Energy trends in the different versions.

track capacity constraints is essential to avoid congestion and delays. The resulting solution shows that the model can effectively manage the capacity of the network, optimizing the utilization of available track segments and stations.

2) *How to optimize energy and resources?*

- *Energy Minimization: the energy minimization of the QUBO solution is indicative of efficient use of resources. A low energy of the solution generally corresponds to a configuration that respects the constraints imposed, while minimizing the use of excess resources, such as downtime and redundant track usage.*

- *Operational Efficiency: the configuration found suggests that the model is capable of optimizing the operation of the railway line, potentially reducing train downtime and optimizing travel times. This could translate into greater punctuality and better use of existing infrastructure.*

3) *What Implications for real planning?*

- *Applicability of the model: the solution obtained through the QUBO model could be used as a basis for planning, after validation through simulations or field tests. The model can be further refined to incorporate other operational constraints specific to the real-world context, such as delays, maintenance needs, or changes in traffic flows. In this regard, the study of the Baltimore Metro-tramway [24] is an example that the quantum algorithm, performed on quantum annealing hardware, also implemented on the D-Wave platform, has made it possible to quickly find an optimal configuration for the allocation of the tracks, with a minimization of the energy of the QUBO system (-8.0). In the project, the energy calculation serves as a measure to understand*

sta flessibilità è cruciale per rispondere a cambiamenti nelle condizioni operative o nelle priorità aziendali.

- 4) Potenziali miglioramenti e sviluppi?
 - Integrazione con Sistemi di Gestione: una potenziale direzione futura potrebbe essere l'integrazione di questo modello con sistemi di gestione della rete ferroviaria in tempo reale, per adattare dinamicamente la pianificazione in risposta a eventi imprevedibili.
 - Ulteriori Ottimizzazioni: esplorare ulteriori ottimizzazioni potrebbe includere l'introduzione di nuovi criteri di ottimizzazione, come la minimizzazione dei tempi di cambio tra treni, l'integrazione delle esigenze dei passeggeri o la gestione delle risorse di manutenzione.

5. Confronto con OpenTrack

Il confronto tra i risultati, riportato nella Tab. 1, utilizzando Open Track, un software di simulazione ferroviaria dinamica, e quelli utilizzando il quantum annealer D-Wave (modello QUBO) può fornire una visione approfondita dei punti di forza e delle limitazioni di ciascun approccio.

5.1. Approccio e scopo

- Open Track: Open Track è un software di simulazione dettagliata che modella il traffico ferroviario in modo dinamico, tenendo conto di variabili come la velocità dei treni, le distanze di frenata, i segnali, e i tempi di percorrenza. Viene utilizzato per simulare scenari operativi realistici e per ottimizzare la pianificazione ferroviaria attraverso simulazioni *what-if*. Il suo scopo principale è quello di riprodurre il comportamento reale del sistema ferroviario per supportare la pianificazione tattica e strategica.
- D-Wave (Modello QUBO): il modello QUBO risolto tramite quantum annealing è progettato per risolvere problemi di ottimizzazione complessi, come la pianificazione dei treni, minimizzando i conflitti e ottimizzando l'uso delle risorse. D-Wave utilizza il calcolo quantistico per esplorare rapidamente lo spazio delle soluzioni, trovando configurazioni ottimali o quasi ottimali che rispettano i vincoli imposti.

5.2. Risultati principali

- Open Track
 - Precisione e Realismo: Open Track offre una simulazione altamente dettagliata, che riflette fedelmente le operazioni ferroviarie reali. I risultati sono generalmente molto precisi e considerano una vasta gamma di variabili operative, come i ritardi dovuti al traffico, i tempi di accelerazione e decelerazione, e le interazioni tra i treni.
 - Tempo di Calcolo: la precisione di Open Track comporta un costo in termini di tempo di calcolo. Le simulazioni dettagliate richiedono un'elaborazione si-

how efficient a solution is: less energy means less conflict between trains, less waiting time and optimal use of the available tracks.

- *Flexibility and adaptability: the QUBO model offers a flexible structure that can be adapted to incorporate new constraints or goals, such as optimizing for operating costs or minimizing emissions. This flexibility is crucial to respond to changes in operating conditions or business priorities.*
- 4) *Potential improvements and developments?*
 - *Integration with Management Systems: a potential future direction could be the integration of this model with real-time rail network management systems, to dynamically adapt planning in response to unforeseen events.*
 - *Further Optimizations: exploring further optimizations could include the introduction of new optimization criteria, such as minimizing change times between trains, integrating passenger needs, or managing maintenance resources.*

5. OpenTrack Comparison

Comparing the results, shown in Tab. 1, using Open Track, a dynamic railway simulation software, and those using the D-Wave quantum annealer (QUBO model) can provide an in-depth view of the strengths and limitations of each approach.

5.1. Approach and purpose

- *Open Track: Open Track is a detailed simulation software that models rail traffic dynamically, considering variables such as train speeds, braking distances, signals, and travel times. It is used to simulate realistic operating scenarios and to optimize rail planning through what-if simulations. Its main purpose is to reproduce the real behaviour of the railway system to support tactical and strategic planning.*
- *D-Wave (QUBO Model): the QUBO model solved by quantum annealing is designed to solve complex optimization problems, such as train scheduling, minimizing conflicts and optimizing the use of resources. D-Wave uses quantum computing to quickly explore the solution space, finding optimal or near-optimal configurations that meet the constraints imposed.*

5.2. Main findings

- Open Track
 - *Precision and Realism: Open Track offers a highly detailed simulation, which faithfully reflects real railway operations. The results are generally very precise and consider a wide range of operational variables, such as traffic delays, acceleration and deceleration times, and interactions between trains.*

Confronto Open Track e D-Wave
Open Track and D-Wave comparison

Criterio di Confronto <i>Comparison</i>	Open Track	D-Wave (Modello QUBO) <i>D-Wave (QUBO model)</i>
Approccio <i>Approach</i>	Simulazione dinamica e dettagliata del traffico ferroviario <i>Dynamic and detailed simulation of rail traffic</i>	Ottimizzazione basata su quantum annealing <i>Optimization based on quantum annealing</i>
Tempo di Calcolo <i>Calculation Time</i>	Alto, specialmente per scenari complessi <i>High, especially for complex scenarios</i>	Basso, tempi di risoluzione rapidi anche per problemi complessi <i>Low, fast resolution times even for complex problems</i>
Precisione dei Risultati <i>Accuracy of Results</i>	Alta, con simulazioni dettagliate che riflettono il comportamento reale <i>High, with detailed simulations that reflect real-world behaviour</i>	Moderata, dipende dalla qualità della formulazione del problema QUBO <i>Moderate, depends on the quality of the QUBO problem formulation</i>
Robustezza <i>Robustness</i>	Elevata, i risultati sono altamente affidabili e ripetibili <i>High, results are highly reliable and repeatable</i>	Buona, ma dipendente dalla tecnologia quantistica disponibile <i>Good, but dependent on available quantum technology</i>
Flessibilità <i>Flexibility</i>	Alta, permette simulazioni di diversi scenari operativi <i>High, allows simulations of different operating scenarios</i>	Limitata, richiede una specifica formulazione del problema <i>Limited, requires specific formulation of the problem</i>
Utilizzo delle Risorse <i>Resource Usage</i>	Simula l'uso realistico delle risorse, con dettagli su tempi di percorrenza, segnalazioni, ecc. <i>Simulate realistic use of resources, with details on travel times, reports, etc.</i>	Ottimizza l'allocazione delle risorse riducendo conflitti e migliorando l'efficienza operativa <i>Optimize resource allocation by reducing conflicts and improving operational efficiency</i>
Energia della Soluzione <i>Solution Energy</i>	Non applicabile (simulazione realistica, non ottimizzazione diretta) <i>Not applicable (realistic simulation, not direct optimization)</i>	-3.0 (minimizzazione dei conflitti e ottimizzazione delle assegnazioni) <i>-3.0 (minimization of conflicts and optimization of assignments)</i>
Scalabilità <i>Scalability</i>	Scalabile, ma il tempo di calcolo aumenta in modo significativo con la complessità <i>Scalable, but compute time increases significantly with complexity</i>	Scalabile, mantiene tempi di calcolo rapidi anche con un aumento della complessità del problema <i>Scalable, maintains fast calculation times even with an increase in problem complexity</i>
Applicabilità <i>Applicability</i>	Ampiamente utilizzato per pianificazione operativa e strategica a lungo termine <i>Widely used for long-term operational and strategic planning</i>	Potenziale elevato per ottimizzazione rapida, ma ancora emergente per l'uso industriale quotidiano <i>High potential for rapid optimization, but still emerging for everyday industrial use</i>
Tecnologia Necessaria <i>Technology Needed</i>	Software tradizionale di simulazione su hardware standard <i>Traditional simulation software on standard hardware</i>	Accesso a un quantum annealer, come D-Wave, con competenze specifiche per la modellazione QUBO <i>Access to a quantum annealer, such as D-Wave, with specific skills for QUBO modelling</i>
Costi <i>Costs</i>	Software con costi di licenza e manutenzione, infrastruttura standard <i>Software with license and maintenance costs, standard infrastructure</i>	Potenzialmente elevati, legati all'accesso e utilizzo della tecnologia quantistica <i>Potentially high, linked to the access and use of quantum technology</i>

- gnificativa, specialmente quando si modellano scenari complessi su lunghe tratte ferroviarie.
- Flessibilità: Open Track consente di testare facilmente diverse configurazioni e scenari operativi, offrendo un elevato grado di flessibilità nella pianificazione e nell'ottimizzazione del traffico ferroviario.
- D-Wave (Modello QUBO)
- Efficienza e Rapidità: utilizzando il quantum annealing, D-Wave può esplorare rapidamente un ampio spazio di soluzioni, trovando configurazioni ottimali o quasi ottimali in tempi molto più brevi rispetto ai metodi tradizionali, specialmente in presenza di problemi combinatori complessi.
- Energia della Soluzione: i risultati con D-Wave sono misurati in termini di energia della soluzione, che rappresenta la qualità dell'ottimizzazione.
- Limitazioni Tecnologiche: sebbene D-Wave sia potente, è limitato dall'attuale tecnologia quantistica, che potrebbe non essere ancora completamente matura per l'uso quotidiano su scala industriale.
- Calculation Time: the accuracy of Open Track comes at a cost in terms of calculation time. Detailed simulations require significant processing, especially when modelling complex scenarios over long rail routes.
- Flexibility: Open Track allows you to easily test different configurations and operational scenarios, offering a high degree of flexibility in planning and optimizing rail traffic.
- D-Wave (QUBO model)
- Efficiency and Speed: using quantum annealing, D-Wave can quickly explore a wide range of solutions, finding optimal or near-optimal configurations in a much shorter time than traditional methods, especially in the presence of complex combinatorial problems.
- Solution Energy: results with D-Wave are measured in terms of solution energy, which represents the quality of the optimization.
- Technological Limitations: while D-Wave is powerful, it is limited by current quantum technology, which may not yet be fully mature for everyday use on an industrial scale.

5.3. Confronto dei risultati

- Precisione vs. velocità:
- Open Track offre risultati altamente precisi, riflettendo fedelmente le operazioni ferroviarie reali, ma a un costo di tempo di calcolo maggiore.
- D-Wave fornisce risultati in tempi molto più brevi, grazie alla sua capacità di esplorare rapidamente il vasto spazio delle soluzioni, ma con una precisione che dipende dalla formulazione del problema e dai limiti attuali della tecnologia quantistica.
- Applicabilità operativa:
- Open Track è altamente utilizzato nell'industria ferroviaria per la simulazione e la pianificazione operativa, essendo uno strumento collaudato con un alto livello di affidabilità.
- D-Wave rappresenta una tecnologia emergente, più adatta per la ricerca e lo sviluppo in ambiti dove è necessario risolvere problemi di ottimizzazione molto complessi in tempi rapidi, ma non è ancora completamente integrato nei processi operativi quotidiani delle ferrovie.
- Flessibilità e adattabilità:
- Open Track permette una facile configurazione e adattamento a diversi scenari operativi, grazie alla sua natura di simulazione dettagliata.
- D-Wave richiede una modellazione più specifica e l'ottimizzazione tramite QUBO, che può essere meno intuitiva da configurare rispetto a un software di simulazione tradizionale.

6. Confronto tra il modello QUBO e i metodi tradizionali per la pianificazione ferroviaria

5.3. Comparison of results

- Accuracy vs. speed:
- Open Track delivers highly accurate results, faithfully reflecting real-world rail operations, but at a higher cost of computational time.
- D-Wave delivers results in a much shorter time, thanks to its ability to quickly explore the vast space of solutions, but with a precision that depends on the formulation of the problem and the current limitations of quantum technology.
- Operational applicability:
- Open Track is highly used in the railway industry for simulation and operational planning, being a proven tool with a high level of reliability.
- D-Wave represents an emerging technology, more suitable for research and development in areas where very complex optimization problems need to be solved quickly, but is not yet fully integrated into the daily operational processes of railways.
- Flexibility and adaptability:
- Open Track allows for easy configuration and adaptation to different operational scenarios, thanks to its detailed simulation nature.
- D-Wave requires more specific modelling and optimization via QUBO, which can be less intuitive to set up than traditional simulation software.

6. Comparison between the QUBO model and traditional methods for railway planning

6.1. Approccio di modellazione

- Modello QUBO
- Il *Quantum Unconstrained Binary Optimization* (QUBO) è un modello matematico usato per risolvere problemi combinatori ottimizzando una funzione obiettivo con vincoli tradotti in termini di energia.
- La formulazione QUBO permette di tradurre il problema di pianificazione ferroviaria in un insieme di variabili binarie, utilizzando soluzioni come i quantum annealer o i computer adiabatici per trovare la configurazione ottimale.
- Metodi tradizionali
- I metodi tradizionali includono tecniche come la programmazione lineare (LP), la programmazione lineare intera (ILP), e approcci euristici o metaeuristici come gli algoritmi genetici e la ricerca tabù.
- Questi metodi richiedono solitamente la formulazione del problema in termini di equazioni lineari o sistemi di equazioni vincolati. Il calcolo della soluzione ottimale avviene attraverso tecniche di ottimizzazione classiche, che possono essere computazionalmente intensive per problemi di grande scala.

6.2. Capacità di gestione della complessità

- Modello QUBO
- Il modello QUBO è particolarmente adatto a problemi con una grande quantità di variabili e vincoli interconnessi. Grazie alla sua struttura binaria, riesce a gestire la complessità elevata del problema di pianificazione ferroviaria in modo naturale.
- È progettato per sfruttare la potenza computazionale di hardware quantistico, che può offrire una velocità di risoluzione superiore rispetto ai metodi tradizionali in alcuni casi.
- Metodi tradizionali
- I metodi tradizionali possono gestire la complessità ma spesso richiedono approcci euristici o approssimativi per problemi di dimensioni maggiori, riducendo così la precisione della soluzione.
- La scalabilità è un problema significativo, poiché con l'aumentare del numero di treni, stazioni e binari, la quantità di calcolo richiesto cresce esponenzialmente.

6.3. Tempo di calcolo ed efficienza computazionale

- Modello QUBO
- Utilizzando *quantum annealers*, il modello QUBO può risolvere problemi complessi in tempi relativamente brevi, soprattutto per configurazioni di problemi che si adattano bene all'hardware quantistico.
- Tuttavia, l'attuale tecnologia quantistica è ancora in fase

6.1. Modelling Approach

- *QUBO Model*
- *Quantum Unconstrained Binary Optimization (QUBO) is a mathematical model used to solve combinatorial problems by optimizing an objective function with constraints translated into energy constraints.*
- *The QUBO formulation allows the railway planning problem to be translated into a set of binary variables, using solutions such as quantum annealers or adiabatic computers to find the optimal configuration.*
- *Traditional methods*
- *Traditional methods include techniques such as linear programming (LP), integer linear programming (ILP), and heuristic or metaheuristic approaches such as genetic algorithms and Tabu Search.*
- *These methods usually require the problem to be formulated in terms of linear equations or constrained systems of equations. The calculation of the optimal solution is done through classical optimization techniques, which can be computationally intensive for large-scale problems.*

6.2. Complexity Management Skills

- *QUBO Model*
- *The QUBO model is particularly suitable for problems with a large number of interconnected variables and constraints. Thanks to its binary structure, it can handle the high complexity of the railway planning problem in a natural way.*
- *It is designed to take advantage of the computational power of quantum hardware, which can offer a higher resolution speed than traditional methods in some cases.*
- *Traditional methods*
- *Traditional methods can handle complexity but often require heuristic or approximate approaches for larger problems, thus reducing the accuracy of the solution.*
- *Scalability is a significant issue, as the number of trains, stations, and platforms increases, the amount of computation required grows exponentially.*

6.3. Computational Time and Computational Efficiency

- *QUBO Model*
- *Using quantum annealers, the QUBO model can solve complex problems relatively quickly, especially for problem configurations that are well suited to quantum hardware.*
- *However, current quantum technology is still under development, and its efficiency compared to traditional methods depends on the type of problem and size.*

di sviluppo, e la sua efficienza rispetto ai metodi tradizionali dipende dal tipo di problema e dalla dimensione.

- Metodi tradizionali
- I metodi tradizionali possono richiedere tempi di calcolo molto lunghi per problemi di grande scala, specialmente quando si utilizzano metodi esatti come l'ILP.
- L'uso di euristiche può ridurre i tempi di calcolo, ma spesso al costo di soluzioni subottimali.

6.4. Robustezza e flessibilità

- Modello QUBO
- Il QUBO è estremamente flessibile e può essere facilmente adattato per incorporare nuovi vincoli o modifiche nelle priorità di ottimizzazione. La robustezza del modello dipende dalla qualità della formulazione QUBO e dalla capacità dell'hardware utilizzato.
- Metodi tradizionali
- I metodi tradizionali offrono robustezza attraverso metodi consolidati, con anni di sviluppo e affinamento. Tuttavia, possono essere meno flessibili quando si tratta di adattare il modello a nuove condizioni o requisiti, spesso richiedendo una riformulazione significativa del problema.

6.5. Applicabilità nel mondo reale

- Modello QUBO
- Il modello QUBO rappresenta una frontiera avanzata nell'ottimizzazione, con un potenziale elevato per applicazioni future. Tuttavia, l'adozione diffusa nel mondo reale è ancora limitata dalla disponibilità di hardware quantistico adeguato e dalla necessità di specialisti per formulare e interpretare il modello.
- Metodi tradizionali
- I metodi tradizionali sono ampiamente utilizzati e accettati nel mondo reale, con molteplici implementazioni software disponibili e personale qualificato per gestirli. Sono spesso la prima scelta per le operazioni quotidiane, data la loro affidabilità e l'accesso immediato alle soluzioni.

Il confronto è riportato, per sintesi, nella seguente Tab. 2:

7. Conclusioni

In conclusione, l'integrazione del modello QUBO con il calcolo quantistico rappresenta una svolta rilevante nella risoluzione di problemi di ottimizzazione combinatoria complessi. Grazie alla sua capacità di tradurre problemi articolati in una formulazione matematica rigorosa, il modello QUBO consente di rappresentare efficacemente vincoli e obiettivi che caratterizzano molte applicazioni reali, come la gestione del traffico ferroviario. Questo approccio si distingue per la sua capacità di operare su un ampio spazio di soluzioni, identificando rapidamente quelle ottimali attraverso l'utilizzo del quantum annealing. Dal punto di vista computazionale, il quantum annealing offre un vantaggio

- *Traditional methods*
- *Traditional methods can take a very long time to calculate for large-scale problems, especially when using exact methods such as ILP.*
- *The use of heuristics can reduce computational time, but often at the cost of suboptimal solutions.*

6.4. Robustness and flexibility

- *QUBO Model*
- *The QUBO is extremely flexible and can be easily adapted to incorporate new constraints or changes in optimization priorities. The robustness of the model depends on the quality of the QUBO formulation and the capacity of the hardware used.*
- *Traditional methods*
- *Traditional methods offer robustness through established methods, with years of development and refinement. However, they can be less flexible when it comes to adapting the model to new conditions or requirements, often requiring a significant reformulation of the problem.*

6.5. Real-World Applicability

- *QUBO Model*
- *The QUBO model represents an advanced frontier in optimization, with high potential for future applications. However, widespread adoption in the real world is still limited by the availability of adequate quantum hardware and the need for specialists to formulate and interpret the model.*
- *Traditional methods*
- *Traditional methods are widely used and accepted in the real world, with multiple software implementations available and trained personnel to handle them. They are often the first choice for day-to-day operations, given their reliability and immediate access to solutions.*

The comparison is summarized in Table 2 below:

7. Conclusion

In conclusion, the integration of the QUBO model with quantum computing represents a significant breakthrough in solving complex combinatorial optimization problems. Thanks to its ability to translate complex problems into a rigorous mathematical formulation, the QUBO model allows you to effectively represent constraints and objectives that characterize many real-world applications, such as rail traffic management. This approach stands out for its ability to operate on a wide space of solutions, quickly identifying the optimal ones using quantum annealing. From a computational point of view, quantum annealing

Tabella 2 - Table 2

Confronto Modello Qubo e metodi lineari per la pianificazione ferroviaria
Comparison of Qubo Model and Linear Methods for Railway Planning

Caratteristica <i>Characteristic</i>	Modello QUBO	Programmazione Lineare/Intera (LP/ILP)	Euristiche/Metaeuristiche
Modellazione <i>Modelling</i>	Modello binario per l'ottimizzazione senza vincoli espliciti <i>Binary model for optimization without explicit constraints</i>	Formulazione in equazioni lineari con vincoli <i>Formulation in linear equations with constraints</i>	Utilizzo di regole empiriche e metodi approssimativi <i>Use of rules of thumb and approximate methods</i>
Gestione della Complessità <i>Complexity Management</i>	Elevata capacità di gestione della complessità con molte variabili e vincoli <i>High complexity management capacity with many variables and constraints</i>	Buona gestione della complessità, ma con limiti di scalabilità <i>Good complexity management, but with scalability limitations</i>	Può gestire grandi complessità ma con soluzioni approssimative <i>Can handle large complexities but with rough solutions</i>
Tempo di Calcolo <i>Calculation Time</i>	Potenzialmente più rapido su hardware quantistico per problemi grandi <i>Potentially faster on quantum hardware for large problems</i>	Tempi di calcolo elevati per problemi complessi e di grande scala <i>High computational times for large-scale and complex problems</i>	Tempi di calcolo ridotti ma con soluzioni meno precise <i>Reduced calculation times but with less precise solutions</i>
Efficienza Computazionale <i>Computational efficiency</i>	Elevata su problemi ben strutturati per quantum annealer <i>High on well-structured problems for quantum annealer</i>	Elevata efficienza su problemi di piccola e media scala <i>High efficiency on small and medium-scale problems</i>	Variabile, dipende dall'algoritmo euristico utilizzato <i>Variable, depends on the heuristic algorithm used</i>
Robustezza <i>Robustness</i>	Dipende dalla formulazione e dal quantum annealer utilizzato <i>It depends on the formulation and the quantum annealer used</i>	Molto robusto e ben consolidato <i>Very robust and well established</i>	Dipende dall'algoritmo e dai parametri impostati <i>It depends on the algorithm and the parameters you set</i>
Flessibilità <i>Flexibility</i>	Alta flessibilità per adattarsi a nuovi vincoli e obiettivi <i>High flexibility to adapt to new constraints and goals</i>	Moderata, richiede riformulazioni per nuove condizioni <i>Moderate, requires reformulation for new conditions</i>	Alta flessibilità, facilmente adattabile <i>High flexibility, easily adaptable</i>
Applicabilità nel Mondo Reale <i>Real-World Applicability</i>	Ancora in fase di sviluppo, applicazioni limitate <i>Still in development, limited applications</i>	Ampiamente utilizzato e accettato <i>Widely used and accepted</i>	Utilizzato in casi dove la precisione non è critica <i>Used in cases where accuracy is not critical</i>
Disponibilità di Strumenti <i>Availability of Tools</i>	Limitata, richiede accesso a hardware quantistico <i>Limited, requires access to quantum hardware</i>	Ampia disponibilità di software e strumenti <i>Wide availability of software and tools</i>	Ampia disponibilità e implementazione semplice <i>Wide availability and easy implementation</i>
Precisione della Soluzione <i>Solution Accuracy</i>	Soluzioni potenzialmente ottimali <i>Potentially optimal solutions</i>	Soluzioni ottimali o quasi ottimali <i>Optimal or near-optimal solutions</i>	Soluzioni approssimative <i>Approximate solutions</i>
Necessità di Competenze Specialistiche <i>Need for Specialized Skills</i>	Richiede competenze in calcolo quantistico e formulazione QUBO <i>Requires skills in quantum computing and QUBO formulation</i>	Richiede conoscenze avanzate in programmazione lineare <i>Requires advanced knowledge in linear programming</i>	Richiede conoscenze di base e comprensione degli algoritmi euristici <i>Requires basic knowledge and understanding of heuristic algorithms</i>

strategico rispetto ai metodi tradizionali grazie alla sua capacità di esplorare simultaneamente molte configurazioni delle variabili binarie. Questo meccanismo consente di individuare configurazioni a energia minima, ovvero le soluzioni ottimali del problema, in tempi significativamente ridotti rispetto agli algoritmi classici. Ciò risulta particolarmente vantaggioso per problemi caratterizzati da grande

offers a strategic advantage over traditional methods due to its ability to simultaneously explore many configurations of binary variables. This mechanism makes it possible to identify minimum energy configurations, i.e. the optimal solutions to the problem, in significantly less time than classical algorithms. This is particularly advantageous for problems characterized by great complexity, where the ex-

complessità, dove la crescita esponenziale dello spazio delle soluzioni rende impraticabili approcci tradizionali. Un aspetto nodale è rappresentato dall'efficienza energetica del calcolo quantistico. A differenza dei metodi classici, il quantum annealing riduce il consumo energetico necessario per il calcolo, ponendosi come una soluzione sostenibile per affrontare problemi su larga scala. Questo è particolarmente rilevante nel contesto di infrastrutture critiche come quelle ferroviarie, dove l'ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse e la minimizzazione dei conflitti operativi possono generare benefici economici e ambientali significativi.

L'adozione del modello QUBO, integrato con il calcolo quantistico, non si limita tuttavia a migliorare l'efficienza operativa. Essa pone le basi per un cambiamento paradigmatico nella risoluzione di problemi complessi, offrendo una struttura scalabile che può essere estesa a domini applicativi sempre più ampi. Man mano che le tecnologie quantistiche progrediscono è ragionevole aspettarsi una crescente capacità di affrontare problemi ancora più complessi, consentendo non solo di rispondere in modo efficace alle sfide attuali, ma anche di anticipare e gestire quelle future.

In definitiva, il connubio tra il formalismo QUBO e il calcolo quantistico costituisce una frontiera promettente per la modellazione e l'ottimizzazione di sistemi complessi. Questo approccio non solo permette di superare le limitazioni intrinseche dei metodi classici, ma apre nuove prospettive per una gestione delle risorse più efficiente, sostenibile e orientata all'innovazione. In questo contesto, il calcolo quantistico si configura come una tecnologia abilitante, destinata a rivoluzionare la risoluzione di problemi combinatori in una vasta gamma di ambiti scientifici e industriali.

8. Appendice

```
import dimod
import json
from dwave.system import DWaveSampler, EmbeddingComposite

# Parametri di esempio
n_treni = 5 # Numero di treni
n_stazioni = 3 # Numero di stazioni
n_segmenti = 4 # Numero di segmenti tra stazioni

# Costi/Penalità per la funzione obiettivo (esempio ipotetico)
C = {(i, j): 1 for i in range(n_treni) for j in range(n_stazioni)}
D = {(i, k): 1 for i in range(n_treni) for k in range(n_segmenti)}

# Creazione di un modello QUBO vuoto
Q = dimod.BinaryQuadraticModel({}, {}, 0, dimod.BINARY)

# Aggiunta della funzione obiettivo al QUBO
for i in range(n_treni):
    for j in range(n_stazioni):
        Q.add_variable(f'x_{i}_{j}', C[(i, j)])
    for k in range(n_segmenti):
        Q.add_variable(f'y_{i}_{k}', D[(i, k)])

# Vincoli di capacità dei binari
for j in range(n_stazioni):
    for i1 in range(n_treni):
        for i2 in range(i1 + 1, n_treni):
            Q.add_interaction(f'x_{i1}_{j}', f'x_{i2}_{j}', 1)

# Vincolo di continuità del percorso
for i in range(n_treni):
    for k in range(n_segmenti - 1):
        Q.add_interaction(f'y_{i}_{k}', f'y_{i}_{k+1}', -1)
```

ponential growth of the solution space makes traditional approaches impractical. A key aspect is the energy efficiency of quantum computing. Unlike classical methods, quantum annealing reduces the energy consumption required for computation, making it a sustainable solution to tackle large-scale problems. This is particularly relevant in the context of critical infrastructures such as railways, where optimizing resource utilization and minimizing operational conflicts can generate significant economic and environmental benefits.

However, the adoption of the QUBO model, integrated with quantum computing, is not limited to improving operational efficiency. It lays the foundations for a paradigm shift in the resolution of complex problems, offering a scalable structure that can be extended to increasingly wide application domains. As quantum technologies progress, it is reasonable to expect an increasing ability to tackle even more complex problems, allowing them not only to respond effectively to current challenges, but also to anticipate and manage future ones.

Ultimately, the combination of QUBO formalism and quantum computing represents a promising frontier for the modelling and optimization of complex systems. This approach not only overcomes the inherent limitations of classical methods, but also opens new perspectives for more efficient, sustainable and innovation-oriented resource management. In this context, quantum computing is configured as an enabling technology, destined to revolutionize the resolution of combinatorial problems in a wide range of scientific and industrial fields.

8. Appendix

```
import dimod
import json
from dwave.system import DWaveSampler, EmbeddingComposite

# Example parameters
n_trains = 5 # Number of trains
n_stations = 3 # Number of stations
n_segments = 4 # Number of track segments between stations

# Costs/Penalties for the objective function (hypothetical example)
C = {(i, j): 1 for i in range(n_trains) for j in range(n_stations)}
D = {(i, k): 1 for i in range(n_trains) for k in range(n_segments)}

# Create an empty QUBO model
Q = dimod.BinaryQuadraticModel({}, {}, 0, dimod.BINARY)

# Adding the objective function to the QUBO
for i in range(n_trains):
    for j in range(n_stations):
        Q.add_variable(f'x_{i}_{j}', C[(i, j)])
    for k in range(n_segments):
        Q.add_variable(f'y_{i}_{k}', D[(i, k)])

# Track capacity constraints
for j in range(n_stations):
    for i1 in range(n_trains):
        for i2 in range(i1 + 1, n_trains):
            Q.add_interaction(f'x_{i1}_{j}', f'x_{i2}_{j}', 1)

# Path continuity constraint
for i in range(n_trains):
    for k in range(n_segments - 1):
        Q.add_interaction(f'y_{i}_{k}', f'y_{i}_{k+1}', -1)
```

```

# Vincolo di partenza e arrivo
for i in range(n_treni):
    Q.add_linear_equality_constraint(
        [(f'x_{i}_{j}', 1) for j in range(n_stazioni)],
        constant=-1,
        lagrange_multiplier=10
    )

# Vincoli di precedenza e sincronizzazione
t_min = 1 # Esempio di tempo minimo tra segmenti
for i in range(n_treni):
    for k in range(n_segmenti - 1):
        Q.add_interaction(f'y_{i}_{k+1}', f'y_{i}_{k}', -t_min)

# Leggi il token API da un file JSON
with open('config.json') as config_file:
    config = json.load(config_file)
    api_token = config['DWAWE_API_TOKEN']

# Creazione del campionatore quantistico
sampler = EmbeddingComposite(DWaveSampler(token=api_token))

# Risoluzione del problema QUBO usando D-Wave
response = sampler.sample(Q, num_reads=100)

# Estrazione della soluzione ottimale
best_solution = response.first.sample
print("Soluzione ottimale:", best_solution)
print("Energia della soluzione:", response.first.energy)

```

```

# Departure and arrival constraints
for i in range(n_trains):
    Q.add_linear_equality_constraint(
        [(f'x_{i}_{j}', 1) for j in range(n_stations)],
        constant=-1,
        lagrange_multiplier=10
    )

# Precedence and synchronization constraints
t_min = 1 # Example of minimum time between segments
for i in range(n_trains):
    for k in range(n_segments - 1):
        Q.add_interaction(f'y_{i}_{k+1}', f'y_{i}_{k}', -t_min)

# Read the API token from a JSON file
with open('config.json') as config_file:
    config = json.load(config_file)
    api_token = config['DWAWE_API_TOKEN']

# Create the quantum sampler
sampler = EmbeddingComposite(DWaveSampler(token=api_token))

# Solve the QUBO problem using D-Wave
response = sampler.sample(Q, num_reads=100)

# Extract the optimal solution
best_solution = response.first.sample
print("Optimal solution:", best_solution)
print("Solution energy:", response.first.energy)

```

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] K. DOMINO, M. KONIORCZYK, K. KRAWIEC, K. JAŁOWIECKI, S. DEFFNER, B. GARDAS (2023), “Quantum Annealing in the NISQ Era: Railway Conflict Management” MDPI. https://www.researchgate.net/publication/367256188_Quantum_Annealing_in_the_NISQ_Era_Railway_Conflict_Management
- [2] TechHQ (2021), “Quantum algorithms, IIoT sensors on the fast track to improving railway systems” TechHQ. <https://techhq.com/2021/11/quantum-algorithms-iiot-sensors-on-the-fast-track-to-improving-railway-systems/>.
- [3] IBM, “Quantum Computing”. <https://www.ibm.com/it-it/topics/quantum-computing>
- [4] C.D.B. BENTLEY, S. MARSH, A.R.R. CARVALHO, P. KILBY, M.J. BIERCUK (2022), “Quantum computing for transport optimization”. <https://arxiv.org/pdf/2206.07313>
- [5] K. DOMINO, M. KONIORCZYK, K. KRAWIEC, K. JAŁOWIECKI, B. GARDAS, (2021), “Quantum computing approach to railway dispatching and conflict management optimization on single-track railway lines”. March 31. <https://arxiv.org/pdf/2010.08227.pdf>
- [6] D-Wave. “Quantum Annealing”. https://docs.dwavesys.com/docs/latest/c_gs_2.html
- [7] T. DIANSYAH TAMBUNAN, A. BAYU SUKSMONO, I. JOSEPH MATHEUS EDWARD, R. MULYAWAN (2022), “Quantum Annealing for Vehicle Routing Problem with weighted Segment”. <https://arxiv.org/pdf/2203.13469.pdf>
- [8] M. BOROWSKI, P. GORAL, K. KARNAS, M. BŁAJDA, K. KRÓL, A. MATYJASEK, D. BURCZYK, M. SZEWCZYK, M. KUTWIN (2020), “New hybrid quantum annealing algorithms for solving Vehicle Routing Problem”. <https://www.iccs-meeting.org/archive/iccs2020/papers/121420522.pdf>
- [9] L. ZHOU, S.T. WANG, S. CHOI, H. PICHLER, M. D. LUKIN (2020), “Quantum Approximate Optimization Algorithm: Performance, Mechanism, and Implementation on Near-Term Devices”. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevX.10.021067>
- [10] Y. YU, C. CAO, C. DEWEY, X.B. WANG, N. SHANNON, R. JOYNT (2022), “Quantum Approximate Optimization Algorithm with Adaptive Fields”. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevResearch.4.023249>
- [11] H.Z. XU, J.H. CHEN, X.C. ZHANG, T.E. LU, T.Z. GAO, K. WEN, Y. MA (2023), “High-speed train timetable optimization based on space-time network model and quantum simulator”. Springer. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11128-023-04170-3.pdf>
- [12] M. BERNASCHI, “Da un modello di calcolo tradizionale una soluzione innovativa di problemi “QUBO””. CNR. <https://www.cnr.it/it/news/10452/da-un-modello-di-calcolo-tradizionale-una-soluzione-innovativa-di-problemi-qubo>
- [13] REPLY, “Gestire il traffico ferroviario con QUBO”. <https://www.reply.com/it/quantum-computing/gestire-il-traffico-ferroviario-con-qubo>
- [14] A. LUGARÀ (2018), “La manutenzione predittiva ferroviaria ed il ruolo abilitante dell’“Internet of Things” - The railway predictive maintenance and the enabling role of the “Internet of Things””, Ingegneria Ferroviaria, maggio.

- [15] A. LUGARÀ, D. BRUCIAFREDDO (2019), “*La manutenzione predittiva dei ponti ferroviari attraverso un framework basato sull’Internet of Things. Una proposta di implementazione*” – “*The predictive maintenance of railway bridges through an Internet of Things framework. An implementation proposal*”, *Ingegneria Ferroviaria*, ottobre.
- [16] S. RICCI, P. ASMARI, (2024), “*Confronto tra i meccanismi di pedaggio e loro impatto sull’uso dell’infrastruttura ferroviaria*” – “*Comparing european track access charge mechanisms and their impact on networks*”, *Ingegneria Ferroviaria*, giugno.
- [17] U. PETRUCCELLI, P. VUONO (2024), “*Il Fondo Nazionale e le politiche del trasporto pubblico locale tra obiettivi di efficienza ed equità*” – “*The National Fund and local public transport policies between efficiency and equity objectives*”, *Ingegneria Ferroviaria*, febbraio.
- [18] Ö.C. UZGIDIM, S. RICCI (2021), “*Simulation-based Capacity Assessment of Trieste-Udine Railway Line with ERTMS/ETCS*”, Sapienza Università di Roma.
- [19] M. LEUENBERGER, D. LOSS (2001), “*Quantum computing in molecular magnets*”. *Nature* 410, 789–793. <https://doi.org/10.1038/35071024>
- [20] F. GLOVER, G. KOCHENBERGER, Y. DU (2019), “*Quantum Bridge Analytics I: a tutorial on formulating and using QUBO models*”. *4OR-Q J Oper Res* 17, 335–371. <https://doi.org/10.1007/s10288-019-00424-y>
- [21] S. ZBINDEN, A. BÄRTSCHI, H. DJIDJEV, S. EIDENBENZ (2020), “*Embedding Algorithms for Quantum Annealers with Chimera and Pegasus Connection Topologies*”. In: Sadayappan, P., Chamberlain, B.L., Juckeland, G., Ltaief, H. (eds) *High Performance Computing. ISC High Performance 2020. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 12151. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50743-5_10
- [22] R. PEREIRA DA SILVA (2023), “*Gate-based Quantum Computing: An Overview*”. *SSRN Electronic Journal* · February.
- [23] V.P. GERDT, A.N. PROKOPENYA (2011), “*The Circuit Model of Quantum Computation and Its Simulation with Mathematica*”. *Lecture Notes in Computer Science* · January.
- [24] K. DOMINO, E. DOUCET, R. ROBERTSON, B.L. GARDAS, S. DEFFNER (2024), “*On the Baltimore Light RailLink into the quantum future*”, arXiv:2406.11268v1 [quant-ph] 17 Jun.

Notizie dall'interno

Massimiliano BRUNER

TRASPORTI SU ROTAIA

Nazionale: ANSFISA, linee guida per stima valutazione e gestione del rischio nel trasporto di merci pericolose in ferrovia

ANSFISA ha adottato, tramite apposito decreto, le "Linee guida per stima, valutazione e gestione del rischio connesso al trasporto di merci pericolose in ferrovia", elaborate nell'ambito di un gruppo di lavoro coordinato dalla struttura tecnica di missione del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, con la partecipazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e delle altre strutture del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti competenti in materia di trasporto ferroviario. La versione adottata tiene conto anche delle osservazioni ricevute nell'ambito della consultazione pubblica avviata da ANSFISA.

Le Linee Guida non sono cogenti ma individuano una metodologia di calcolo dei livelli di rischio dei tratti ferroviari interessati dal trasporto di merci pericolose e propongono dei limiti di accettabilità e di attenzione dei rischi di tipo quantitativo (direttamente derivati dal DM 28 ottobre 2005 sulla sicurezza delle gallerie ferroviarie) e di tipo qualitativo (riportati anche nelle norme CEI-EN 50126-1: 2018-04); esse forniscono, altresì, indicazioni per l'implementazione del processo decisionale per la gestione dei rischi connessi al trasporto di merci pericolose in accordo ai criteri e ai principi delineati nel "Risk Management Framework for inland transport of dangerous goods", pubblicato nel 2018 sul sito dell'ERA e sviluppato in ambito UNECE dall'European Union Agency for Railways.

Il documento è in linea con il Regolamento di esecuzione (UE) n. 402/2013 della Commissione del 30 aprile 2013, relativo al metodo comune di sicurezza per la determinazione e valutazione dei rischi, che all'Allegato I, punto 2.1.4., lett. c), individua la stima accurata dei rischi come uno dei criteri di valutazione utilizzabili ai fini della determinazione dell'accettabilità del medesimo rischio e, al punto 2.5.2, prevede che l'accettabilità dei rischi stimati debba essere valutata sulla base dei criteri stabiliti dalla normativa dell'Unione o dalle norme nazionali notificate.

Le linee guida e il relativo decreto di adozione sono consultabili nella sezione dedicata del sito di ANSFISA, mentre nella pagina dei documenti in consultazione sono state pubblicate le risposte ai commenti ricevuti tramite consultazione pubblica (Da:

Comunicato Stampa ANSFISA, 20 gennaio 2025).

Lazio: Giubileo 2025, ultimati i lavori della stazione Roma San Pietro

Riqualficata la stazione di Roma San Pietro (Fig. 1) in occasione del Giubileo 2025, dopo un intervento del Gruppo FS da 11 milioni di euro.

Presenti al sopralluogo in stazione il Commissario Straordinario del Governo per il Giubileo, il Sindaco di Roma R. GUALTIERI e il Presidente del Gruppo FS T. TANZILLI.

La riqualificazione di questo edificio "non è soltanto un intervento su una stazione, ma molto di più: è un intervento di rigenerazione urbana e di intermodalità di grandissima qualità e averlo realizzato in un anno e mezzo senza interrompere il servizio è un risultato ragguardevole - ha detto il Sindaco di Roma, R. GUALTIERI -. San Pietro, dove fermano comunque ben 254 treni al giorno, è una stazione particolare considerata minore rispetto a Termini e Tiburtina, e ha grandi potenzialità di crescita. È una stazione complessa, ora più decorosa e più bella, che si collega con tanti interventi di intermodalità per far



(Fonte: RFI, Gruppo FSI)

Figura 1 - Giubileo 2025, ultimati i lavori della stazione Roma San Pietro.

si che la rete ferroviaria diventi una vera metro di superficie integrata”.

“È un grande onore essere qui per condividere i risultati della riqualificazione della stazione di Roma San Pietro, dopo un’importante opera di rinnovamento che ha richiesto un investimento di 11 milioni di euro, di cui 1,7 milioni provenienti dai fondi giubilari – ha detto il Presidente del Gruppo FS, T. TANZILLI - Questo intervento si inserisce in un più ampio piano di ammodernamento e potenziamento delle infrastrutture ferroviarie promosso dal Gruppo FS, in linea con il Piano Strategico 2025-2029, con l’obiettivo di rendere il sistema della mobilità sempre più efficiente, accessibile e sostenibile.”

I lavori di Rete Ferroviaria Italiana, durati circa un anno e mezzo, hanno restituito una stazione riqualificata nelle aree interne e nelle aree esterne, col fine di garantire una completa accessibilità, in particolare alle persone a ridotta mobilità, potenziare lo scambio modale con sistemi di mobilità dolce e sostenibile, e migliorare l’attrattività attraverso l’utilizzo di un linguaggio architettonico rinnova-

to, una migliore illuminazione, nuova segnaletica e arredi, spazi e percorsi di accesso, transito e attesa ampliati e rinnovati.

All’interno della stazione, inoltre, sono stati ammodernati gli spazi di transito e sosta per i passeggeri, con lavori di miglioramento anche strutturale dei solai, il rinnovamento dell’impianto di illuminazione e del sistema di segnaletica.

Inoltre, sono stati completamente riqualificati i tre sottopassi e le scale di accesso ai marciapiedi di stazione ed alle aree esterne, oltre alla ripavimentazione del secondo marciapiede alla realizzazione di nuove pensiline, la riqualificazione di quelle esistenti e della segnaletica di informazione al pubblico su sottopassi e marciapiedi di stazione.

Gli interventi hanno coinvolto anche le aree esterne di proprietà di Roma Capitale, che costituiscono gli ambiti di accesso alla stazione. Tra l’altro è stato riqualificato il piazzale antistante il fabbricato viaggiatori, effettuato il restyling dell’area di uscita del sottopasso centrale su Clivio di Monte del Gallo, e il restyling dell’a-

rea pedonale su via Gregorio VII (Da: *Comunicato Stampa RFI, Gruppo FSI*, 5 febbraio 2025).

TRASPORTI URBANI

Campania: potenziamento infrastrutturale e rigenerazione urbana delle aree ferroviarie di Napoli Campi Flegrei

È stato siglato l’Accordo di Programma (AdP) per la trasformazione della parte Ovest della città di Napoli (Fig. 2), riguardante l’intero l’ambito della stazione FS di Napoli Campi Flegrei. Tra gli obiettivi, il potenziamento infrastrutturale, lo sviluppo del nodo intermodale, la rigenerazione urbana delle aree ferroviarie di proprietà del Gruppo FS Italiane e la realizzazione di nuovi spazi universitari.

L’accordo firmato tra Regione Campania, Comune di Napoli, Agenzia del Demanio, Università degli Studi di Napoli Parthenope, Rete Ferroviaria Italiana e FS Sistemi Urbani



(Fonte: FS Sistemi Urbani Gruppo FSI)

Figura 2 – Interventi di riqualificazione programmati nelle aree ferroviarie di Campi Flegrei, Napoli.

prevede la realizzazione della nuova stazione e del nuovo deposito della Linea 6 della metropolitana comunale, la rigenerazione delle aree ferroviarie e la realizzazione del nuovo campus dell'Università Parthenope.

L'AdP rappresenta un passo fondamentale per lo sviluppo e per la rigenerazione urbana di un intero ambito cittadino, che si configura come nuova porta ovest per Napoli: il progetto intende restituire spazi rigenerati alla comunità, promuovere la sostenibilità e incentivare l'intermodalità, con benefici attesi per l'intera area metropolitana.

Nell'ambito del potenziamento infrastrutturale cittadino, il Comune di Napoli si occuperà della realizzazione del nuovo deposito/officina e della nuova stazione della Linea 6 della metropolitana, su aree di proprietà di FS Sistemi Urbani e di RFI a cui si aggiungono aree dello Stato che l'Agenzia del Demanio ha provveduto a trasferire in proprietà al Comune di Napoli nel 2024, grazie alle procedure del federalismo demaniale. Il progetto prevede anche la creazione di un sistema di interscambio modale tra le linee metropolitane L2 e L6, con l'obiettivo di migliorare la connettività del trasporto pubblico e facilitare i trasferimenti tra le diverse modalità di trasporto. Il potenziamento delle connessioni verrà attuato anche mediante l'intervento, del prolungamento della passerella pedonale della fermata Leopardi e la realizzazione di un nuovo fronte di stazione FS su via Tiberio.

Inoltre, l'accordo mira alla rigenerazione urbana degli ambiti di via Diocleziano e via Giulio Cesare, di proprietà di FS Sistemi Urbani, mediante l'insediamento di nuove funzioni pubbliche e private. L'obiettivo è migliorare la qualità urbana complessiva della direttrice Fuorigrotta-Bagnoli potenziando l'interconnessione tra Piazzale Tecchio e via Campegna, anche tramite il parcheggio di interscambio di FS Park. In tal modo, si completa il riassetto dell'area occidentale previsto dal piano per Bagno-Coroglio attraverso una strategia urbanistica integrata che tenga insie-

me rigenerazione urbana e ambientale attraverso il miglioramento dell'accessibilità al trasporto pubblico.

L'AdP prevede, infine, la realizzazione del nuovo campus dell'Università degli Studi di Napoli Parthenope, che sorgerà nell'ex arsenale di via Campegna, complesso immobiliare di proprietà dello Stato in locazione all'ateneo: un luogo con spazi moderni per formazione, ricerca e sviluppo accademico, destinato anche ad accogliere residenze universitarie per rafforzare ulteriormente il ruolo dell'ateneo nella città (Da: *Comunicato Stampa FS Sistemi Urbani Gruppo FSI*, 29 gennaio 2025).

Toscana: inaugurazione VACS, dal 25 gennaio in esercizio la tratta che collega l'Aeroporto di Peretola al centro storico di Firenze

Il 25 gennaio 2025 è stata inaugurata e aperta alla circolazione dei tram in servizio passeggeri la nuova linea della tranvia Variante Alternativa Centro Storico, detta VACS, in presenza della Sindaca del Comune di Firenze, Sara Funaro. Questo traguardo segue un periodo di pre-esercizio con prove su binario, dove sono stati fatti circolare l'intera flotta dei veicoli ma senza passeggeri a bordo. La realizzazione dell'opera è stata affidata ad un raggruppamento temporaneo di imprese (RTI) guidato da CMB Società Cooperativa Muratori e Braccianti di Carpi, in qualità di mandataria, con Hitachi Rail, Alstom, MERMEC STE (parte del Gruppo MERMEC) e Com.net. La concessione del Comune di Firenze prevede la progettazione, costruzione, fornitura dei veicoli e gestione di diverse linee della tramvia fiorentina.

Nell'ambito del RTI, CMB oltre alla direzione tecnica e al coordinamento del raggruppamento ha progettato e costruito tutte le infrastrutture, sede tranviaria, fermate, sottostazione elettrica e opere d'arte, oltre allo spostamento dei sottoservizi interferenti, della modifica delle viabilità limitrofe alla riqualificazione urbana di tutte le aree interessate

dall'intervento, oltre che per la linea entrata in esercizio, per le opere della nuova Linea 3.2.1 interferenti con i lavori della VACS. CMB, nell'ambito della Linea 3.2.1, finanziata con fondi PNRR, ha iniziato la costruzione di tre nuovi parcheggi scambiatori, del nuovo deposito e officina tranviari a Bagno a Ripoli e di un nuovo ponte sull'Arno destinato alla viabilità ordinaria.

Nell'ambito del RTI, Hitachi Rail ha coordinato la progettazione dell'opera e realizzato attività di ingegneria di sistema, progettazione e fornitura sia del sistema di segnalamento e localizzazione di linea che del materiale rotabile, nonché attività propedeutiche al prossimo prolungamento della Linea 3.2.1. (tratta Libertà-Bagno a Ripoli). Per quest'ultimo, Hitachi Rail fornirà una nuova flotta di veicoli a batteria e il sistema di segnalamento e localizzazione, oltre ad avere un ruolo di coordinamento nell'ambito delle attività di progettazione del RTI.

Il rapporto di Hitachi Rail con il territorio toscano comprende, oltre la tramvia di Firenze, anche la fornitura di treni regionali e la presenza di un sito produttivo con oltre 1000 persone a Pistoia.

Per la Variante Alternativa Centro Storico, Alstom si è occupata della progettazione e realizzazione dell'armamento, della linea di contatto, delle sottostazioni, nonché della luce e forza motrice e l'illuminazione pubblica. Inoltre, Alstom sarà coinvolta nel progetto finanziato dal PNRR della Linea 3.2.1. per la realizzazione dell'armamento, sottostazioni e impianti di illuminazione. Alstom ha un forte legame con la città testimoniato dalla presenza di uno stabilimento fiorentino, che da oltre 100 anni è un centro di innovazione e sviluppo tecnologico al servizio dell'intero territorio.

Com.Net, durante la fase di realizzazione della nuova linea tranviaria Variante Alternativa Centro Storico nelle tratte propedeutiche al prossimo prolungamento della Linea 3.2.1 (tratta Libertà-Bagno a Ripoli) e della Linea 3.2.2 (tratta Libertà-Nave a Rovezzano), si è occupata della pro-

gettazione e realizzazione delle palificazioni, della linea di contatto e delle stazioni per la ricarica dei veicoli tramviari a batteria.

Inoltre, Com.Net, per la stessa linea 3.2.1 sarà coinvolta nella progettazione e realizzazione delle palificazioni e della linea di contatto.

La Variante Alternativa Centro Storico collega la Fortezza da Basso a Piazza San Marco, percorrendo Viale Lavagnini, Piazza della Libertà, Corso Cavour, Via La Pira e Via La Marmora.

La realizzazione della linea tranviaria di superficie ha richiesto la gestione di diverse interferenze, con impatti sulla quotidianità della città. I numerosi cantieri, resi necessari dalla complessità dell'opera, hanno avuto ripercussioni sulle attività commerciali, sui servizi al cittadino, oltre che sulla viabilità. È stato fondamentale un coordinamento continuo tra Soggetto Costruttore, Direzione Lavori, Concessionario, Committente, Enti gestori dei sottoservizi, e i vari stakeholder: una sinergia di grande valore nella fase di costruzione e, sicuramente, anche in quella di esercizio.

La Variante Alternativa Centro Storico è lunga 2,5 km ed è dotata di doppio binario che collega ulteriori 6 fermate alle 13 già in esercizio della Linea 2. Il collegamento dall'aeroporto di Peretola al centro storico della città consentirà il trasporto di circa 3.800 passeggeri all'ora per direzione, con un cadenzamento di picco pari a 4 minuti e 20 secondi. La flotta di tram utilizzata sarà composta da 18 Sirio, già forniti da Hitachi Rail nell'ambito della costruzione della Linea 2. A pieno regime si stima una riduzione di ulteriori 9.000 mezzi privati sul traffico cittadino, con una riduzione di emissioni di CO₂ a beneficio della qualità dell'aria.

Nota per il lettore: C.M.B. Società Cooperativa Muratori e Braccianti di Carpi

C.M.B. Società Cooperativa Muratori e Braccianti di Carpi (CMB) è un'impresa di costruzioni specializzata in edilizia civile e ospedaliera: aggiunge una grande capacità realiz-

zativa alla flessibilità necessaria per misurarsi coi grandi cambiamenti di un mercato delle costruzioni sempre più competitivo e dinamico. CMB è in grado di valorizzare ogni progetto sia nel settore dell'edilizia che delle infrastrutture e del facility management e si posiziona tra i principali player internazionali nelle commesse gestite grazie alla tecnologia BIM (*Building Information Modeling*). L'approccio innovativo assicura un migliore coordinamento nella progettazione, controlli più mirati durante la fase di costruzione, un'ottimale gestione degli acquisti, tempi e costi più controllati. Nel 2019 CMB è stata la prima impresa di costruzioni italiana certificata BIM da ICMQ. CMB persegue il proprio sviluppo in termini di crescita di attività e di risultati economici, traducendolo in opportunità di occupazione, sicurezza, attenzione ambientale e progresso sociale.

• Nota per il lettore: Hitachi Rail

Hitachi Rail è impegnata a guidare la transizione verso la mobilità sostenibile e si concentra chiaramente sulla collaborazione con i clienti per ripensare la mobilità. La sua missione è aiutare ogni passeggero, cliente e comunità a godere dei vantaggi di un trasporto più connesso, continuo e sostenibile. Con un fatturato di oltre 7 miliardi di euro e 24.000 dipendenti in più di 50 Paesi, Hitachi Rail è un partner fidato delle migliori organizzazioni di trasporto del mondo. La portata dell'azienda è globale, ma l'attività è locale: il successo si basa sullo sviluppo di talenti locali e sull'investimento nelle persone e nelle comunità. Le sue capacità e competenze internazionali coprono ogni parte dell'ecosistema ferroviario urbano, di linea e merci, dalla produzione e manutenzione di alta qualità del materiale rotabile alla sicurezza della segnaletica digitale, alle operazioni intelligenti e ai sistemi di pagamento. Hitachi Rail, famosa per l'iconico treno proiettile ad alta velocità del Giappone, si avvale delle competenze digitali e di intelligenza artificiale delle società del Gruppo Hitachi per accelerare l'innovazione e sviluppare nuove tecnologie. Il Gruppo Hita-

chi è presente in 140 Paesi con oltre 270.000 dipendenti e un fatturato globale di 54,55 miliardi di euro.

• Nota per il lettore: Alstom

Alstom è impegnata a sostenere un futuro a basse emissioni di carbonio attraverso lo sviluppo e la promozione di soluzioni di trasporto innovative e sostenibili che le persone possano utilizzare con piacere. Dai treni ad alta velocità, alle metropolitane, alle monorotaie, ai tram, ai sistemi chiavi in mano, ai servizi, alle infrastrutture, al segnalamento e alla mobilità digitale, Alstom offre ai suoi diversi clienti il più ampio portafoglio del settore.

Con una presenza in 64 Paesi e un patrimonio di oltre 84.700 talenti provenienti da 184 Paesi, l'azienda concentra le proprie competenze di progettazione, innovazione e gestione dei progetti nei settori in cui le soluzioni di mobilità sono maggiormente richieste. Quotata in Francia, Alstom ha generato un fatturato di 17,6 miliardi di euro per l'anno fiscale conclusosi il 31 marzo 2024.

• Nota per il lettore: MERMEC STE (parte del Gruppo MERMEC)

MERMEC STE è un fornitore internazionale di tecnologie avanzate dedicate all'esercizio affidabile e al mantenimento in sicurezza dei sistemi ferroviari. Con sedi principali a Genova e Milano, la società serve l'industria ferroviaria come fornitore leader di tecnologie per il segnalamento, le telecomunicazioni e i sistemi di trazione elettrica da quasi un secolo ed è al momento uno dei fornitori più completi, multidisciplinari e innovativi sul mercato. L'azienda progetta e sviluppa "interlocking" multistazione, sistemi di controllo centralizzato del traffico, Radio Block Centre e sistemi per la protezione automatica della marcia dei treni. Inoltre, progetta e installa reti di telecomunicazione, sistemi di catenaria, sottostazioni elettriche MV/HV, sistemi fotovoltaici di alimentazione, SCADA e soluzioni di automazione industriale, sistemi di sicurezza per gallerie, soluzioni di informazione ai passeggeri, CCTV e sistemi di rilevamento delle intrusioni.

- Nota per il lettore: Com.NET

Com.Net è un'importante realtà prettamente italiana nel panorama delle imprese che lavorano sull'impiantistica e nel campo delle infrastrutture delle utilities e dei trasporti. In particolar modo è impegnata nella realizzazione e manutenzione delle infrastrutture di reti elettriche, nell'ambito della *smart mobility*, e quale General Contractor negli impianti industriali e civili. Com.Net ha all'attivo oltre 300 dipendenti, ed un forecast di fatturato atteso per il 2025 pari a 65M€. L'headquarter è ubicato ad Arezzo, ma è fortemente radicata con numerose sedi operative nella Regione Toscana e nel centro Italia. Grazie a partnership consolidate con i più importanti produttori di tecnologia, Com.Net può garantire un vasto portafoglio di prodotti e servizi secondo il più elevato standard di mercato, fortemente orientati al cliente ed alle sue esigenze specifiche seguendo i più moderni standard di sicurezza e sostenibilità (Da: *Comunicato Stampa Alstom*, 25 gennaio 2025).



(Fonte: ANSFISA)

Figura 3 – Completati gli ammodernamenti e i lavori di manutenzione indispensabili sulla linea, sulle carrozze e sulle banchine, ANSFISA ha effettuato numerose verifiche e prove per rilasciare il nulla osta tecnico al riavvio della linea. Formati anche i nuovi macchinisti. Un lavoro corale che ha prodotto anche un nuovo regolamento di esercizio utile nuovo riferimento per questa tipologia di trasporto.

Friuli Venezia Giulia: a Trieste è ripartito lo storico tram di Opicina

Ha ripreso a percorrere il tracciato cittadino la storica trenovia Trieste-Opicina, che collega il centro Città con il belvedere sul Carso (Fig. 3).

Dal 1 febbraio, dopo otto anni dall'incidente che coinvolse lo storico mezzo con la conseguente sospensione dell'esercizio, il tram, elemento urbano che contraddistingue e identifica il panorama cittadino è di nuovo in servizio.

Un percorso lungo e accidentato che è arrivato a positiva conclusione con il nulla osta rilasciato da ANSFISA, una volta effettuati tutti i numerosi passaggi necessari per rimettere in funzione il collegamento nel rispetto di tutte le prerogative di sicurezza. Il lavoro è stato intenso e sfidante: la redazione dei progetti e l'esecuzione lavori, l'installazione di aggiornamenti tecnici fondamentali come, ad esempio, il rinnovo del vetusto armamento, l'aggiornamento della totalità

dei sottosistemi, le verifiche e prove di sicurezza sugli scambi, la segnaletica per gli attraversamenti e le nuove banchine per le fermate.

Fondamentale per la buona riuscita dell'impresa la costituzione di un gruppo di lavoro "interforze" che ha unito professionalità di tecnici appartenenti a diverse realtà che in 11 riunioni, tra marzo e settembre 2024, hanno emanato le linee guida per questa tramvia urbana a scartamento ridotto. Le nuove indicazioni e prescrizioni sono state accolte dal Comune

e rese operative dalla capacità tecnica degli operatori di Trieste Trasporti portando al traguardo finale l'opera. Il nuovo e moderno regolamento di esercizio ha introdotto concetti di gestione della sicurezza che rappresentano un riferimento per un nuovo modo di fare sicurezza mutuato dal mondo ferroviario.

Le numerose verifiche svolte dal personale ANSFISA negli ultimi due mesi hanno permesso di formare anche nuovi macchinisti e di testare rotabili fermi da anni.

Nelle prossime settimane, con il completamento dell'installazione dei nuovi sistemi frenanti, saranno progressivamente messe in servizio anche le altre vetture per intensificare le corse quotidiane e consentire l'utilizzo della tramvia alla massima potenzialità (Da: *Comunicato Stampa ANSFISA*, 3 febbraio 2025).

Campania: a Napoli riapre la funicolare di Chiaia completamente rinnovata

L'impianto che collega quartiere Chiaia con il quartiere Vomero, con interscambi con le linee 1 e 2 della metropolitana e con la Funicolare Centrale, ha ricominciato a salire e scendere lungo la collina, coprendo il percorso in sei minuti (Fig. 4).

Inaugurata nel 1889, la Funicolare di Chiaia ha da sempre svolto un ruolo importante nell'ambito della mobilità della città di Napoli, ma nel 2022 il servizio è stato sospeso per procedere a una necessaria revisione generale. A seguito della presentazione da parte del Comune di Napoli e dell'Esercente ANM del progetto di revisione, in cui sono stati previsti significativi interventi di ammodernamento dell'impianto; la Direzione Generale per la Sicurezza dei Trasporti ad Impianti Fissi e l'Operatività Territoriale di ANSFISA ha esaminato il progetto e rilasciato a ottobre 2024 il Nulla Osta tecnico ai fini della sicurezza.

Tante le migliorie e gli ammodernamenti previsti dal progetto: un nuovo sistema di argano e fune, con installazione di una nuova fune cer-



(Fonte: ANSFISA)

Figura 4 – Standard di sicurezza elevatissimi, tecnologia di ultima generazione e partenze ogni dieci minuti, dopo più di due anni, lo scorso 31 gennaio, è stata riaperta la funicolare di Chiaia. Tante le migliorie e gli ammodernamenti: il nullaosta tecnico di ANSFISA dopo le prove su tutti i sistemi della Funicolare, sia quelli di nuova installazione e sia quelli preesistenti.

tificata in acciaio ad alta resistenza, una nuova puleggia a doppia gola con contro puleggia, l'installazione di due nuovi gruppi motore-riduttore in grado di funzionare anche in accoppiata contemporanea, nuovo software di gestione, nuovi quadri elettrici di sicurezza, solo per citarne alcuni. Previsti anche interventi importanti sui treni, con revisione delle casse ora alleggerite per aumentare la capacità di trasporto, la revisione generale dei carrelli e la sostituzione dei dispositivi di sicurezza dell'impianto frenante e delle ruote.

Inoltre, le stazioni della Funicolare, Chiaia, Corso Vittorio Emanuele, Palazzolo, Cimarosa, sono state oggetto di "restyling", pur mantenendo l'originaria conformazione carica di storicità, che hanno consentito di eliminare le barriere architettoniche, installando scale mobili e ascensori.

Al termine dei lavori, ANSFISA con suoi ingegneri specializzati ha

iniziato le prove funzionali tese a verificare il rispetto delle previsioni progettuali e il conseguente raggiungimento degli obiettivi di sicurezza del trasporto funicolare. Le prove, sono state effettuate su tutti i sistemi della Funicolare, sia quelli di nuova installazione e sia quelli preesistenti, oggetto di accurati controlli non distruttivi, in particolare sulle parti elettromeccaniche, sui veicoli, sui freni, sui dispositivi di sicurezza.

Le prove sono state effettuate con esiti positivi e nei tempi previsti, grazie anche alla fattiva collaborazione del personale delle ditte coinvolte, oltreché alla disponibilità del personale di ANM e dei vertici dell'Amministrazione del Comune di Napoli.

Il 31 gennaio 2025, riscontrata l'ottemperanza alle prescrizioni, è stato rilasciato il Nulla Osta ai fini della sicurezza per la riapertura al pubblico esercizio della Funicolare di Chiaia: ad annunciarlo, è stato il

Sindaco di Napoli, che ha certificato i lavori e dato il via libera al trasporto dei passeggeri. Il Sindaco ha ringraziato anche ANSFISA per la professionalità con cui ha seguito tutto l'iter della valutazione e la certificazione della sicurezza, contribuendo a riattivare un impianto profondamente ri-ammodernato e a restituire a Napoli e ai suoi cittadini tutte le sue quattro funicolari aperte al servizio (Da: *Comunicato Stampa ANSFISA*, 3 febbraio 2025).

TRASPORTI INTERMODALI

Veneto: transizione energetica, il ruolo dell'idrogeno e la trasformazione di Porto Marghera in hub energetico

Il ruolo dell'idrogeno nella transizione energetica di Porto Marghera è stato il tema al centro dell'evento Aperiporto che si è tenuto nell'ex-chie-

setta di Santa Marta. All'incontro (Fig. 5), organizzato dall'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Settentrionale, in collaborazione con Hydrogen Park e SAPIO, hanno partecipato il Presidente dell'Autorità portuale F. L. DI BLASIO, R. MARCATO, Assessore allo Sviluppo economico della Regione del Veneto, A. BOS, Presidente di Hydrogen Park, e A. DOSSI, Presidente del Gruppo SAPIO.

Insieme a loro sono intervenuti S. CROTTA, Direttore Generale Programmi e Incentivi Finanziari del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, S. ROMANO, Direttore Area Politiche economiche, capitale umano e programmazione comunitaria della Regione Veneto, D. RUSSO, Direttore di Stabilimento di Porto Marghera del Gruppo Sapiio, F. PALUDETTI, Chief Corporate Development Officer del Gruppo Sapiio.

“In un contesto europeo impegnato a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050- ha introdotto DI BLASIO, presidente dell'AdSPMAS- siamo chiamati non solo a portare il nostro contributo per la decarbonizzazione ma, nell'ottica di una strategia nazionale, a realizzare un nuovo modello che vede nei porti veri e propri hub energetici. Una sfida che ci ha visti, e ci vede, impegnati in diverse piattaforme progettuali finalizzate a sostenere lo sviluppo di energia da fonti alternative e in particolare dall'idrogeno. La prima collaborazione è stata quella avviata nel 2021 proprio con SAPIO Srl e Hydrogen Park con il memorandum per lo sviluppo di un hub per l'idrogeno verde all'interno dell'area portuale. Questo memorandum viene rinnovato e rafforzato e ci vedrà impegnati nel favorire un'integrazione con le realtà industriali e logistiche insediate a Porto Marghera. A questa, si è aggiunto, nel 2022, uno studio realizzato nell'ambito del progetto UE Susport che ha dimostrato la capacità del nostro sistema portuale di soddisfare il potenziale fabbisogno di idrogeno dell'hinterland e dell'intero nord-est. Nel 2023, abbiamo preso parte al gruppo di lavoro Cantiere Idrogeno della Fondazione Venezia Capitale Mondiale della Sostenibili-

tà e aderito alla European Hydrogen Port Network, la rete istituita nell'ambito della clean hydrogen partnership che rappresenta e promuove il settore dell'idrogeno in Europa. Si tratta di azioni che stiamo portando avanti nella convinzione che Porto Marghera e l'intero sistema portuale veneto possa rivestire un ruolo fondamentale nella transizione energetica e nella capacità di tenere assieme industria, logistica ed economia circolare”.

“La volontà della Regione del Veneto è chiara – ha commentato R. MARCATO, Assessore allo Sviluppo Economico della Regione del Veneto- E a testimoniarlo c'è la previsione contenuta nel nuovo Piano Energetico regionale licenziato nel 2024 e la manifestazione d'interesse del 22 gennaio 2022 attraverso la quale, la Regione del Veneto, ha aderito al Bando del Ministero dell'Ambiente e

della Sicurezza energetica (MASE), finanziato dal PNRR, per il sostegno di progetti per la produzione di idrogeno da fonti rinnovabili in aree dismesse. È in virtù di tale azione politica e amministrativa se abbiamo garantito, tramite bando, un concreto sostegno ai progetti presentati stasera. Ma non ci siamo limitati a questo. La Regione del Veneto ha infatti destinato 30 milioni di euro, risorse stanziato dal Piano Operativo Regionale FESR 2021-2027, per la riconversione verso produzioni green di aree altrimenti abbandonate. Credo che Porto Marghera sia un sito ideale per fare nascere e crescere la Hydrogen Valley regionale, sia per gli spazi che offre, sia per sfruttare al meglio le potenzialità connesse alla ZLS, strumento che abbiamo fortemente voluto e volano per sostenere lo sviluppo di una economia sostenibile rivolta alla transizione ecologica”.



(Fonte: Autorità Portuale del Mare Adriatico – Porti di Venezia e Chioggia)
 Figura 5 – Il ruolo dell'idrogeno nella transizione energetica di Porto Marghera è stato il tema al centro dell'evento Aperiorporto che si è tenuto nell'ex-chiesetta di Santa Marta a Venezia.

“Il rinnovo del memorandum tra Sapio, l’Autorità Portuale e Hydrogen Park è particolarmente importante perché nasce per rendere Porto Marghera sempre più punto di riferimento nel contesto europeo e del Mediterraneo come hub per l’idrogeno. In particolare, sviluppando infrastrutture all’avanguardia in grado di competere con i porti del Nord Europa e contribuendo così a una transizione energetica sostenibile e ad un’economia circolare” – ha dichiarato A. Dossi, Presidente del Gruppo Sapio. “Sapio è presente in quest’area sin dagli anni ’80. L’impianto di produzione d’idrogeno che stiamo realizzando con il supporto dei fondi del PNRR rappresenta il primo passo concreto per la creazione di un hub per l’idrogeno. Ma per sostenere il processo di trasformazione del territorio è fondamentale la collaborazione di tutti, delle istituzioni locali in primis e di tutto il tessuto industriale. Unendo le forze contribuiremo allo sviluppo sostenibile di Porto Marghera”.

“Il Memorandum of Understanding tra Autorità Portuale, Hydrogen Park e SAPIO mira a sviluppare l’infrastruttura dell’idrogeno nel perimetro di porto Marghera, per garantire l’accesso alla molecola Verde agli off-takers pubblici e privati su scala industriale” ha dichiarato A. Bos, Presidente di Hydrogen Park. “Il modello dell’hub per l’idrogeno mira a sviluppare un punto di scambio domestico ed internazionale, che permetta alla domanda interna di accedere ai quantitativi differenziali necessari alla continuità della produzione (di beni e servizi); la realizzazione dell’hydrogen hub è, infatti, uno step fondamentale per garantire al sistema industriale la certezza di approvvigionamento di idrogeno su scala petrolifera, tale da abilitare l’attivazione degli investimenti necessari alla transizione verso molecole ambientalmente compatibili. L’Hydrogen hub è uno dei pilastri del progetto della banca per l’idrogeno, sviluppato da Hydrogen park, che infatti, grazie ai suoi grandi soci, può svolgere una funzione di ritiro e rilascio dei quantitativi differenziali

generati dalla naturale discontinuità delle rinnovabili, garantendo in questo modo il base load ai progetti nazionali e mettendo a sistema le importanti infrastrutture logistiche ed industriali di cui è dotato porto Marghera.” (Da: *Comunicato Stampa Autorità Portuale del Mare Adriatico – Porti di Venezia e Chioggia*, 6 febbraio 2025).

Nazionale: MIT, PNRR, catena logistica sempre più digitale con i Port Community System

Tra i traguardi più significativi raggiunti nell’ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) di competenza del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT), spiccano quelli legati alla digitalizzazione della catena logistica. Con il conseguimento, nell’ambito della sesta rata PNRR, del target relativo all’investimento M3C2 – 2.1, finanziato con una dotazione di 250 milioni di euro, il MIT ha avviato e dato impulso ad una trasformazione profonda del settore logistico, puntando sulla dematerializzazione dei processi, sempre più automatizzati e interconnessi.

Al centro di questa rivoluzione vi sono i Port Community System (PCS), piattaforme digitali interoperabili che mettono in rete operatori pubblici e privati per migliorare l’efficienza e la sostenibilità del trasporto merci e della logistica. Grazie ai fondi del PNRR, al momento oltre il 70% delle Autorità di Sistema Portuale (AdSP) ha adottato queste tecnologie, contribuendo a rendere il sistema portuale italiano tra i più avanzati in Europa.

Un esempio virtuoso è rappresentato dai porti dell’Autorità di Sistema Portuale dello Stretto, tra i più significativi per numero di passeggeri in tutta Europa, dove i PCS sono stati implementati con successo negli scali di Messina, Tremestieri, Milazzo, Villa San Giovanni e Reggio Calabria. Qui, una recente campagna informativa ha coinvolto stakeholder pubblici e privati, nonché le comunità locali, per promuovere i benefici della digitaliz-

zazione e dematerializzazione, evidenziandone l’impatto positivo su efficienza, sostenibilità e qualità dei servizi.

Tra le novità principali introdotte nei porti dello Stretto vi è l’adozione della piattaforma ASTRA (Analisi, Security, Tracking, Riconoscimento e Amministrazione), che permette una gestione integrata e automatizzata delle attività portuali. Questo sistema consente di

- Ridurre i tempi di comunicazione tra le autorità portuali e gli operatori;
- Snellire le operazioni logistiche, come il controllo degli accessi, il tracking delle merci e la gestione dei rifiuti;
- Ottimizzare i flussi di traffico, con benefici diretti per oltre 22 milioni di passeggeri annuali.

I numeri parlano chiaro: già nei soli porti dello Stretto l’impatto dei nuovi sistemi sarà notevole, interessando non solo i passeggeri annuali, ma anche più di 30 compagnie crocieristiche internazionali, 50 compagnie di bus, 2 milioni di TIR, traghetti, cargo e aliscafi in transito (circa 232.000 gli scali annuali), addetti alla movimentazione di merci e alla gestione dei rifiuti, che riusciranno a ottimizzare le relative attività operative, grazie a processi automatizzati di controllo e abilitazione accessi.

Grazie all’implementazione dei PCS, questi porti rappresentano un modello all’avanguardia per l’intero sistema logistico nazionale ed europeo, dimostrando come gli investimenti del PNRR possano tradursi in innovazione tangibile e crescita sostenibile.

Si tratta di primi risultati che rappresentano un tassello fondamentale nel quadro della strategia nazionale per la digitalizzazione dei trasporti e della logistica, uno degli obiettivi del PNRR.

L’implementazione dei Port Community System, estesa alla maggioranza delle Autorità di Sistema Portuale italiane, non solo migliora l’efficienza operativa dei porti, ma crea un effetto moltiplicatore sull’in-

tera filiera logistica, contribuendo a rendere l'Italia un hub centrale per i traffici commerciali in Europa e nel Mediterraneo.

Con infrastrutture più moderne, sostenibili e digitalizzate, il MIT continua a rafforzare la competitività del Paese, garantendo al contempo benefici concreti per imprese, cittadini e territori (Da: *Comunicato Stampa MIT*, 2 febbraio 2025)

INDUSTRIA

Nazionale: OICE, report sui bandi PNRR di progettazione e altri servizi tecnici

Sono questi i dati principali che emergono dal report OICE – l'Associazione che riunisce le società di ingegneria e architettura in ambito confindustriale – che analizza le gare

per servizi di architettura e ingegneria (SAI) e per appalti integrati (progettazione esecutiva e costruzione) relativi ad interventi finanziati con fondi del PNRR emessi nel quarto e ultimo trimestre del 2024:

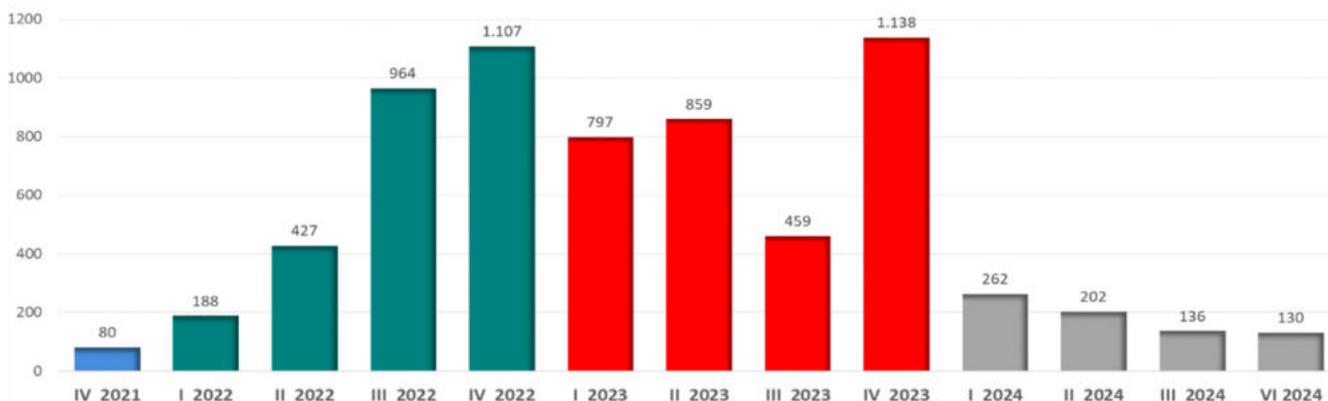
- nel 2024 affidamenti PNRR per servizi tecnici e appalti integrati a -81,3% in valore sul 2023: 730 gare per 282,5 mln di servizi;
- virano su direzioni lavori, collaudi e supporti al RUP le 730 gare del '24: riguardano il 64,1% del valore totale (29,5% nel 2023);
- nel 2024 i Comuni sono stati i più attivi per valore dei bandi emessi: 73,6 mln, il 26,1% del totale 2024;
- nella sanità sono convogliate la maggiore parte delle risorse: 32,8 mln, l'11,6% del totale 2024.

In quest'occasione è quindi possibile tracciare un primo bilancio

sul 2024 che ha visto pubblicati 730 bandi per un valore di 282,5 mln. Il confronto con il 2023 vede un forte calo in valore (-81,3%) e in numero (-77,6%). Il quarto trimestre '24, con 130 bandi da 45,6 mln, fa registrare un calo del 79,4% in valore e dell'88,6% in numero sul quarto trimestre '23 (Fig. 6, Fig. 7).

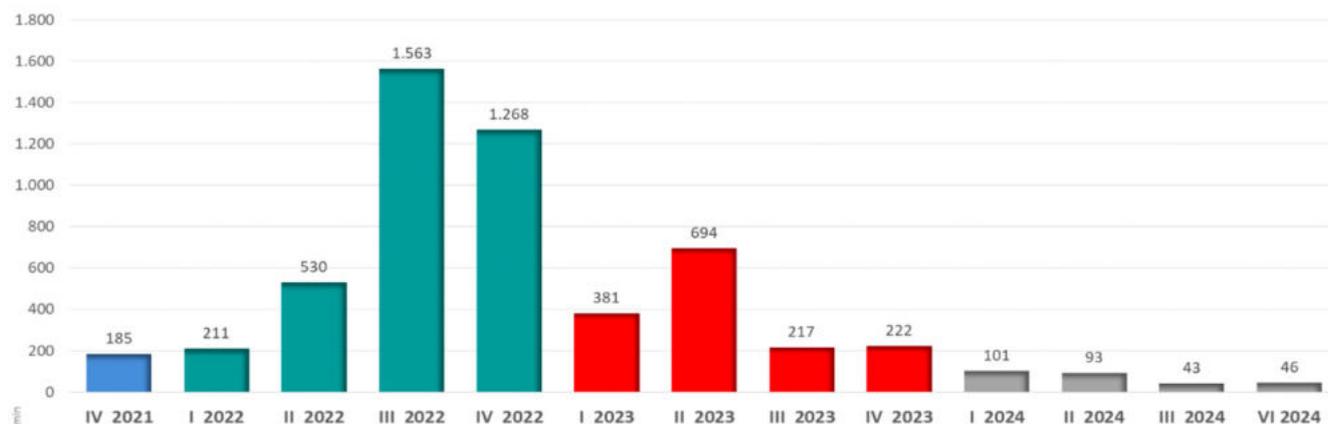
Va evidenziato che, stando al valore, l'incidenza delle gare PNRR - come prevedibile - sta rapidamente scendendo: passa dal 31,1% del totale del mercato raggiunto nel 2023, al 15,6% nel 2024. Nel quarto trimestre '24 l'incidenza del valore dei bandi PNRR è l'8,3% (era il 23,6% nel quarto trimestre '23).

Stante il crollo del valore dei bandi PNRR nel 2024 è evidente, comunque, che nel 2024 le attività virano verso la fase esecutiva (direzioni lavori, validazioni, collaudi, assistenze



(Fonte: OICE Ufficio Studi)

Figura 6 – Bandi per trimestre in numero.



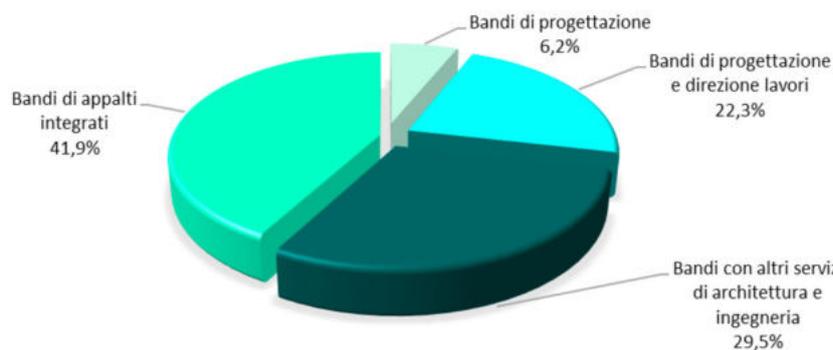
(Fonte: OICE Ufficio Studi)

Figura 7 – Bandi PNRR per trimestre per importo servizi.

al Rup) queste costituiscono infatti il 64,1% del valore totale mentre nel 2023 erano il solo 29,5%. Nel quarto trimestre '24 le gare sono state 43 gare per 21,5 mln, il 47,2% del valore totale delle gare PNRR (nel quarto trimestre 2023 erano il 49,7%) (Fig. 8, Fig. 9).

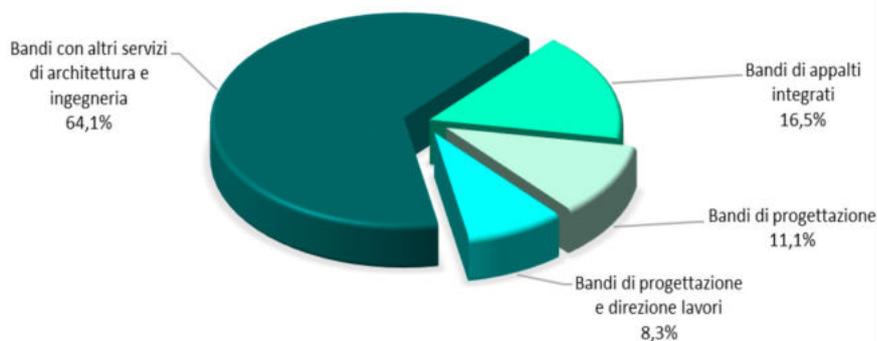
Per G. LUPOI, presidente dell'Associazione, i dati "confermano con tutta evidenza che per il nostro settore la maggior parte delle attività progettuali ormai è stata affidata, sia come PFTE poi messi in gara, sia come progettazione esecutiva svolta con le imprese all'interno degli appalti integrati, anch'essi in calo in valore e in numero. La riduzione del valore del numero delle gare va considerata fisiologica, così come lo spostamento sulle direzioni lavori e sulle verifiche dei progetti che, ad esempio, sono aumentate del 113% nell'ultimo trimestre del 2024 rispetto al precedente trimestre. La fase di realizzazione delle opere assume quindi sempre maggiore rilievo e le nostre società si stanno attrezzando per essere a fianco delle stazioni appaltanti, soprattutto per le direzioni lavori che in parte erano già previste nelle gare di progettazione. Rimangono come problemi irrisolti alcuni nodi che avevamo chiesto fossero chiariti anche con il correttivo - ad esempio l'anticipazione contrattuale per organizzare i team di DL - e soprattutto è mancata la definizione di un contratto-tipo, essenziale per ridurre contenziosi che, viste le scadenze imposte dal Piano, potrebbero evitare ritardi e, speriamo mai, incompiute. Certamente si può dire che questa esperienza sta costringendo anche la PA ad un cambio di mentalità, ragionando come un project manager che deve avere sempre al centro il controllo di tempi e costi. Anche su questo non sarebbe stato male se fossero stati accolti i nostri suggerimenti per affidare queste attività a chi opera sul mercato; qualcuno lo sta facendo (o lo ha fatto), ma si tratta di mosche bianche. Peccato."

Tornando ai dati emerge l'importante crollo del valore della proget-



(Fonte: OICE Ufficio Studi)

Figura 8 – Bandi PNRR per tipologia di affidamento in valore (anno 2023) – percentuale sul totale.



(Fonte: OICE Ufficio Studi)

Figura 9 – Bandi PNRR per tipologia di affidamento in valore (anno 2024) – percentuale sul totale.

tazione in tutto il 2024, 92,1 mln. (-89,8% sul 2023), evidente segno di come l'attenzione si stia spostando, come già detto, verso una fase esecutiva; infatti, se nel 2023 questo costituiva il 59,5% dell'importo totale di tutti i servizi messi in gara, nel 2024 la percentuale scende al 32,6%. Il maggiore apporto al valore della progettazione in tutto il 2024 è stato dato dalla progettazione esecutiva affidata negli appalti integrati (46,6 mln.), il 50,7% del totale (-92,6% rispetto al 2023) (Fig. 10, Fig. 11).

L'incidenza del valore della progettazione esecutiva affidata nelle gare di appalto integrato pubblicate nel 2024 - emesse sulla base dei PFTE affidati nei mesi precedenti - incidono il 50,7% sul valore totale della progettazione mentre nel 2023 l'incidenza era del 70,5%. Nel raffronto tra trimestri tale incidenza passa dal 72,6% nel quarto trimestre

'24 al 78,6% nel quarto trimestre '23. Le stazioni appaltanti più attive per numero di bandi pubblicati in tutto il 2024 sono stati i Comuni che con 432 gare affidano 73,6 mln il 26,1% del totale dei bandi PNRR (nel 2023 le gare erano state 2.061 per 504,9 mln, il 33,4% del totale). Nel quarto trimestre '24 il primato spetta sempre ai Comuni con 82 bandi per 10,1 mln, il 22,1% del valore totale trimestrale (nel quarto trimestre '23 erano stati 788 bandi dal valore di 94,6 mln, il 42,7% del totale) In tutto il 2024 nella sanità sono convogliate più risorse: sono state pubblicate con 52 bandi per 32,8 mln, l'11,6% del totale 2024 (nel 2023 le gare erano state 292 per un importo dei servizi di 186,6 mln, il 12,3% del totale). Nel quarto trimestre '24 le sole 3 gare per bonifiche ambientali riportano il valore più alto, 9,3 mln il 20,5% del totale (nel quarto trimestre '23 il pri-

mato per valore spettava al settore stradale con 80 gare per 34,1 mln il 15,4% del totale (Da: *Comunicato Stampa OICE*, 21 gennaio 2025).

VARIE

Nazionale: Almaviva e Gruppo FSI insieme per la mobilità digitale, nasce il consorzio Sagitta

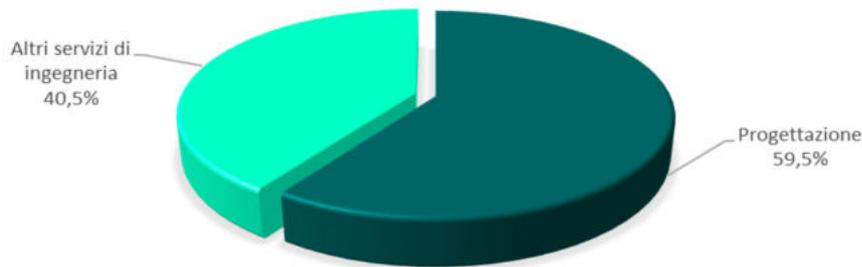
Nasce Sagitta, un consorzio per promuovere in ambito internazionale soluzioni digitali distinte nel settore dei trasporti e della logistica e iniziative in ambito nazionale in grado di accelerare la realizzazione delle infrastrutture digitali a supporto di settori strategici per il Sistema Paese.

Costituito dal Gruppo italiano di innovazione digitale Almaviva e dal Gruppo FS, player multimodale nazionale e internazionale della mobilità, il Consorzio dà seguito all'intesa firmata un anno fa tra gli stessi soggetti.

Sagitta ha l'obiettivo di affermare sui mercati globali di interesse congiunto, tra cui Europa, America del Nord, America Latina, Medio Oriente, Nord Africa e India, soluzioni digitali per la mobilità del futuro, come *Traffic Planning & Management*, *Transport Planning & Management*, *Digital Twin & State Health Monitoring Infrastructure*, *Multimodal Integrate Mobility* (incluso il *Mobility As a Service - MaaS*), *Ticketing*, *Infomobility*.

In Italia, il Consorzio si farà promotore di progetti a supporto di settori strategici per il Sistema Paese, finalizzati alla realizzazione e gestione di piattaforme digitali di rilevanza nazionale a servizio della mobilità sostenibile, del turismo, del monitoraggio delle infrastrutture di trasporto e della logistica intermodale.

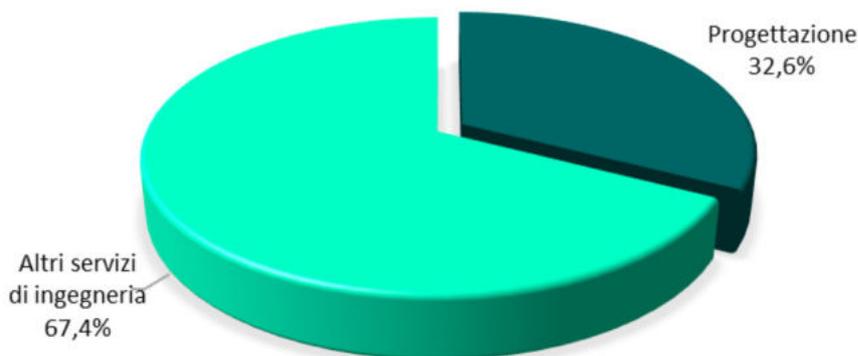
"Il Gruppo FS gestisce un'infrastruttura articolata e complessa, sia fisica che digitale. Tenere insieme questi due aspetti e fare in modo che siano coordinati diventa un obiettivo per noi sempre più sfidante - spiega M. GARRI, *Chief Technology, Innovation & Digital Officer* del Gruppo FS - grazie



(Fonte: OICE Ufficio Studi)
 Figura 10 – Bandi PNRR – Il valore della progettazione nel 2023 - percentuale sul valore totale dei bandi PNRR.

alla nascita del Consorzio Sagitta, in collaborazione con un partner leader

quelle offerte dalla nostra piattaforma Moova, già attiva sui mercati esteri



(Fonte: OICE Ufficio Studi)
 Figura 11 – Bandi PNRR – Il valore della progettazione nel 2024 - percentuale sul valore totale dei bandi PNRR.

nell'*Information & Communication Technology* come Almaviva, abbiamo l'opportunità di rendere effettiva l'unione di questi due aspetti, puntando sull'attivazione di piattaforme digitali che siano in grado di migliorare in maniera concreta gli spostamenti di persone e merci, nell'ottica di una mobilità sempre più integrata e sostenibile."

"Consapevoli del valore della tecnologia made in Italy e della sua competitività a livello globale, avviamo con orgoglio una nuova sfida condivisa con un campione internazionale della mobilità sostenibile, quale è il Gruppo FS. Andiamo così a rafforzare una collaborazione decennale che, con la costituzione del Consorzio Sagitta, prende nuova forma per affrontare un mercato globale ricco di opportunità a cui proporre soluzioni uniche, evolute e distinte, come

in contesti tecnologicamente evoluti - commenta M. TRIPPI, Amministratore Delegato di Almaviva - Sagitta ha l'obiettivo di esportare una proposta italiana di eccellenza, allineata alle evoluzioni dell'interoperabilità a livello europeo".

Sagitta consentirà al Gruppo FS di consolidare il proprio ruolo nell'esportare l'eccellenza del made in Italy all'estero nel settore dei trasporti, di accelerare lo sviluppo di piattaforme digitali che possano favorire modalità di trasporto delle persone e delle merci più efficienti, efficaci e sostenibili a beneficio della collettività.

Almaviva, attraverso il Consorzio che valorizza la consolidata collaborazione con il Gruppo FS, punta ad accelerare il proprio obiettivo di internazionalizzazione esportando tecnologia italiana avanzata e distintiva, ovvero

la piattaforma Moova per la mobilità integrata, per favorire modalità di trasporto sostenibili, turismo, monitoraggio delle infrastrutture (ferrovie e strade), logistica intermodale e servizi più funzionali ai viaggiatori.

Nel ruolo di Presidente del Consorzio è stato nominato Francesco De Leo, *Chief Global Strategy & International Officer* Gruppo FS, e come Consigliere Delegato Smeraldo Fiorentini, *Deputy CEO* Divisione *Transportation & Logistics* Almativa (Da:

Comunicato Stampa Gruppo FSI, 15 gennaio 2025).

Nazionale: Ponte sullo Stretto, maxi-riunione al MIT con altri 5 ministeri

Si è tenuta al MIT, alla presenza del vicepresidente del Consiglio e ministro M. SALVINI, la riunione con i rappresentanti di tutti i ministeri coinvolti nelle fasi finali della procedura per la definitiva approvazione del Ponte sullo Stretto: Interno, Dife-

sa, Salute, Ambiente, Protezione civile e Politiche del Mare.

L'obiettivo è fare il punto della situazione, alla presenza tra gli altri dell'A.D. Società Stretto di Messina spa P. CIUCCI, per portare al più presto l'opera all'approvazione del Cipess. Il ministro SALVINI ha ringraziato i presenti, esprimendo "grande soddisfazione" per il clima collaborativo e concreto (Da: *Comunicato Stampa MIT*, 5 febbraio 2025).

Notizie dall'estero *News from foreign countries*

Massimiliano BRUNER

TRASPORTI SU ROTAIA RAILWAY TRANSPORTATION

Germania: primo ordine per locomotive Vectron con modulo batteria

Siemens Mobility ha ricevuto il suo primo ordine per locomotive Vectron dotate di modulo batteria (Fig. 1). Il modulo batteria consente alla Vectron di funzionare per brevi distanze senza una linea elettrica aerea, offrendo un modo ecologico per coprire il cosiddetto ultimo miglio di servizio ed effettuare manovre senza una linea aerea. L'energia necessaria per questo

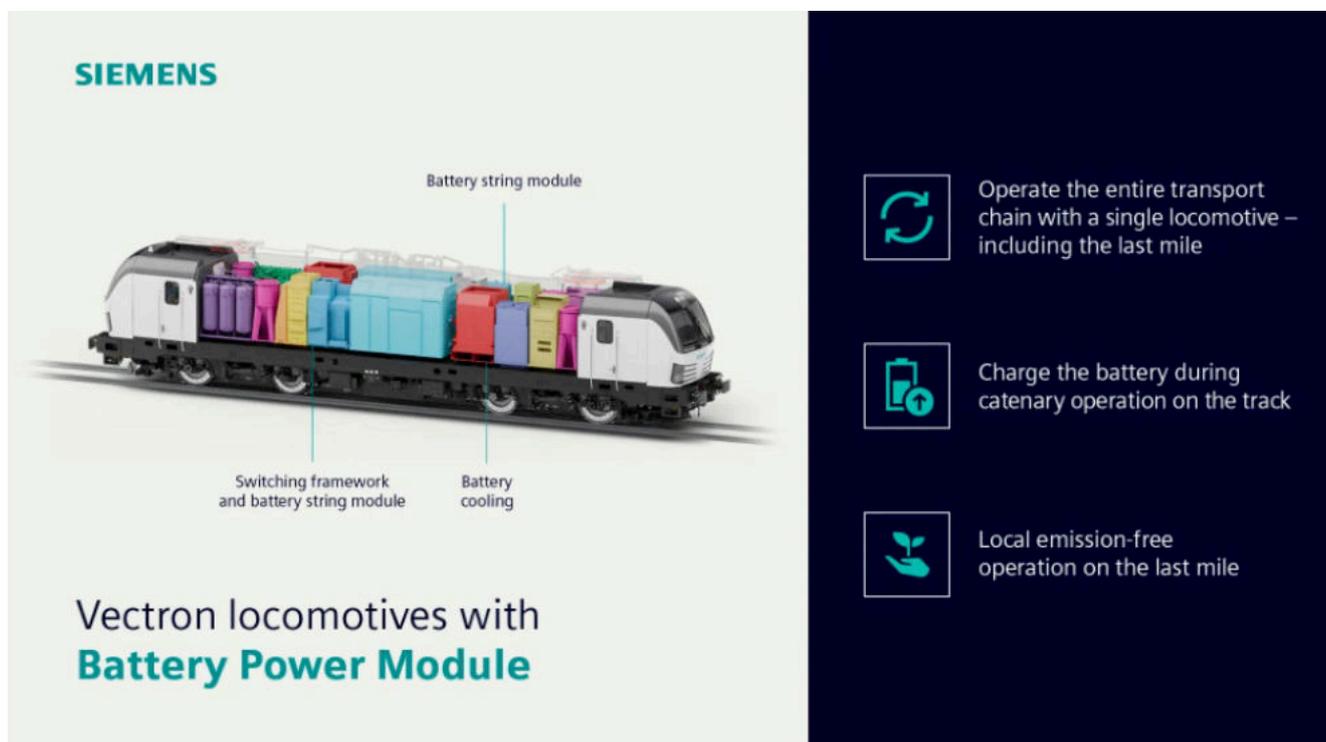
è fornita da un pacco batterie agli ioni di litio ad alta tensione con un sistema di gestione intelligente della batteria per controllare la carica e la scarica. Lo sviluppo di questo pacchetto funzionale è stato finanziato come parte del programma federale "Future of Rail Freight Transport", finalizzato a portare rapidamente sul mercato innovazioni ferroviarie che rafforzano la competitività e le capacità logistiche.

JeMyn AG, un'affiliata di Widmer Rail Services AG, ha ordinato le due locomotive Vectron con moduli di alimentazione a batteria. Il finanziamento per l'accordo è stato garantito in una fase iniziale grazie a una so-

luzione di finanziamento strutturata concordata con la sua banca partner, Raiffeisen Schweiz Genossenschaft. La consegna delle locomotive è prevista per il 2027.

"Siamo lieti di ampliare ulteriormente la nostra flotta Vectron con Widmer Rail Services AG e vorremmo ringraziarli per la fiducia nella nostra piattaforma di locomotive. Con il modulo di alimentazione a batteria, i nostri clienti possono ora coprire tutti i loro percorsi operativi elettricamente e con batterie, riducendo ulteriormente le emissioni di CO₂ nel trasporto ferroviario. Per i nostri clienti, questo sviluppo aggiunge un altro pacchetto funzionale innovativo alla famiglia di successo Vectron", ha affermato A. RODENBECK, CEO di Rolling Stock presso Siemens Mobility.

"Con il suo nuovo modulo di alimentazione a batteria, la Vectron è la locomotiva ideale per noi. Grazie a questo pacchetto funzionale, ora possiamo gestire le operazioni di manovra in modo ancora più efficiente senza l'assistenza di locomotive di



(Fonte - Source: Siemens Mobility)

Figura 1 – Il nuovo modulo di alimentazione della batteria consente una connettività dell'ultimo miglio ecosostenibile.
Figure 1 – The new Battery Power Module enables environmentally friendly last-mile connectivity.

manovra aggiuntive. Ciò ci consentirà di ottimizzare ulteriormente i nostri processi operativi e risparmiare sui costi”, ha affermato P. WIDMER, CEO di Widmer Rail Services AG. “Siamo lieti di contribuire attivamente al trasporto ferroviario sostenibile con la nostra soluzione di finanziamento strutturato e di supportare JeMyn AG e Widmer Rail Services AG nel loro sviluppo aziendale”, ha affermato P. VON FLÜE di Raiffeisen Schweiz Genossenschaft.

- Aspetti ambientali e importanza dell'ultimo miglio

L'esclusiva modularità dell'attrezzatura Vectron offre agli operatori la massima flessibilità per le loro operazioni, anche in assenza di linee elettriche aeree. Il modulo di alimentazione a batteria elimina la necessità di utilizzare locomotive di manovra elettriche o diesel, il che non solo ha senso dal punto di vista economico, ma è anche vantaggioso per l'ambiente. Il nuovo pacchetto funzionale segna un passo importante verso la fornitura di un trasporto ferroviario sostenibile, poiché aiuta a ridurre le emissioni e l'inquinamento acustico.

- Fatti e cifre sulla piattaforma Vectron

Con l'ultimo ordine, Siemens Mobility ha venduto oltre 2.600 locomotive della famiglia Vectron a 103 clienti in 16 paesi. Al momento, la flotta Vectron ha percorso un totale di oltre un miliardo di km e sta dimostrando la sua efficienza nelle operazioni quotidiane. Le locomotive della famiglia Vectron hanno ricevuto l'approvazione operativa in 20 paesi europei (Da: *Comunicato Stampa Siemens Mobility*, 5 febbraio 2025).

Germany: first order for Vectron locomotives with battery module

Siemens Mobility has received its first order for Vectron locomotives equipped with a battery module (Fig. 1). The battery module enables the Vectron to operate for short distances without an overhead power line, offering an eco-friendly way to cover the so-called

last mile of service and carry out shunting runs without an overhead line. The energy needed for this is supplied by a high-voltage lithium-ion battery pack with an intelligent battery management system to control charging and discharging. Development of this functional package was funded as part of the federal "Future of Rail Freight Transport" program, aimed at quickly bringing to market rail innovations that strengthen competitiveness and logistics capabilities.

JeMyn AG, an affiliate of Widmer Rail Services AG, ordered the two Vectron locomotives with battery power modules. Financing for the deal was secured at an early stage thanks to a structured financing solution arranged with its partner bank, Raiffeisen Schweiz Genossenschaft. Delivery of the locomotives is planned as of 2027.

"We are delighted to be further expanding our Vectron fleet with Widmer Rail Services AG and would like to thank them for their trust in our locomotive platform. With the battery power module, our customers can now cover their entire operational routes electrically and with batteries, further reducing CO₂ emissions in rail transport. For our customers, this development adds another innovative functional package to the successful Vectron family," said A. RODENBECK, CEO of Rolling Stock at Siemens Mobility.

"With its new battery power module, the Vectron is the ideal locomotive for us. Thanks to this functional package, we can now handle shunting operations even more efficiently without the assistance of additional shunting locomotives. This will enable us to further optimize our operating processes and save costs," said P. WIDMER, CEO of Widmer Rail Services AG.

"We are pleased to be making an active contribution to sustainable rail transport with our structured financing solution, and to be supporting JeMyn AG and Widmer Rail Services AG in their corporate development," said P. VON FLÜE from Raiffeisen Schweiz Genossenschaft.

- Environmental aspects and the importance of the last mile

The unique modularity of the Vectron's equipment gives operators full flexibility for their operations, even when there are no overhead power lines. The battery power module eliminates the need for using electric or diesel-powered shunting locomotives, which not only makes economic sense, but also benefits the environment. The new functional package marks an important step toward providing sustainable rail transport, since it helps reduce emissions and noise pollution.

- Facts and figures for the Vectron platform

*With the latest order, Siemens Mobility has sold over 2,600 locomotives from the Vectron family to 103 customers in 16 countries. To date, the Vectron fleet has completed a total mileage of over one billion km and is proving its efficiency in daily operations. Locomotives from the Vectron family have received operating approval in 20 European countries (From: *Siemens Mobility Press Release, February 5th, 2025*).*

India: prova di velocità per il ponte strallato Anji Khad

Nell'ambito della progettazione del Ponte dell'Anji Khad nella regione di Jammu (Fig. 2), Italferr, incaricata nel 2016 della progettazione esecutiva e supervisione del ponte grazie all'accordo con IRCON/KRCL, ha portato a termine con successo la prova di velocità del treno a 110 km/h, confermando, così la stabilità strutturale del ponte e la sua conformità agli standard di progettazione.

Questo ponte strallato all'avanguardia è il primo del suo genere per il sistema ferroviario indiano, grazie all'eccellenza ingegneristica che lo contraddistingue e al suo design innovativo. Il ponte dell'Anji Khad è la testimonianza concreta della visione e dell'impegno dell'India nel potenziamento del sistema ferroviario nella regione di Jammu e Kashmir.

La struttura conetterà il tunnel T2 e il T3 sul tratto Katra-Banihal del progetto Udhampur-Srinagar-Baramulla Rail Link. Con una lunghezza totale di 473.25 m, compresi gli ac-

cessi, il ponte attraverserà maestosamente il fiume Anji Khad.

La sua campata principale di 290 m lo renderà il più lungo ponte strallato delle ferrovie indiane, stabilendo un nuovo standard di riferimento nella costruzione di ponti. Il ponte è stato progettato per una durata di 120 anni e per una velocità massima di 100 km/h.

La messa in funzione del ponte, con l'inaugurazione della tratta Udhampur-Srinagar-Baramulla, è prevista nelle prossime settimane (Da: *Comunicato Stampa Italferr Gruppo FSI*, 8 gennaio 2025).

India: Speed test for the Anji Khad cable-stayed bridge

As part of the design of the Anji Khad Bridge in the Jammu region (Fig. 2), Italferr, entrusted in 2016 with the executive design and supervision of the bridge thanks to the agreement with IRCON/KRCL, has successfully completed the speed test of the train at 110 km/h, thus confirming the structural stability of the bridge and its compliance with the design standards.

This cutting-edge cable-stayed bridge is the first of its kind for the Indian railway system, thanks to its distinctive engineering excellence and its innovative design. The Anji Khad bridge is the concrete testimony of India's vi-

sion and commitment to strengthening the railway system in the Jammu and Kashmir region.

The structure will connect the T2 and T3 tunnels on the Katra-Banihal section of the Udhampur-Srinagar-Baramulla Rail Link project. With a total length of 473.25 meters, including approaches, the bridge will majestically span the Anji Khad River.

Its main span of 290 meters will make it the longest cable-stayed bridge on the Indian Railways, setting a new benchmark in bridge construction. The bridge has been designed to last 120 years and for a maximum speed of 100 km/h.

The bridge is expected to be commissioned in the coming weeks, with the inauguration of the Udhampur-Srinagar-Baramulla section (From: Press Release Italferr Gruppo FSI, 8 January 2025).

TRASPORTI URBANI URBAN TRANSPORTATION

Francia: quindici convogli con il nuovo sistema di segnalazione e controllo automatizzato per la metro di Lille

Alstom fornirà alla Métropole Européenne de Lille (MEL) quindici

ulteriori convogli metropolitani automatizzati di nuova generazione lunghi 52 m (Fig. 3), per un costo di circa 210 milioni di euro (questo contratto è stato registrato durante il terzo trimestre dell'anno fiscale 2024/25 di Alstom).

Questi nuovi treni (Fig. 1) completeranno il primo lotto di 27 treni già ordinati dalla MEL (dotati del sistema di segnalazione e controllo automatizzato Urbalis Fluence all'avanguardia).

I convogli metropolitani di questo nuovo ordine sostituiranno i vecchi convogli VAL-208 dal 2028 in poi. Questo ordine fa parte di una politica generale per modernizzare la rete metropolitana di Lille, con l'obiettivo di introdurre nuovo materiale rotabile e modificare il sistema di controllo automatico dei treni, per migliorare i servizi di trasporto sulle linee 1 e 2.

“Alstom è lieta di questo nuovo ordine della Métropole Européenne de Lille per questa attrezzatura di nuova generazione. Queste nuove, moderne e comode metropolitane rappresentano una risorsa considerevole per migliorare la rete e l'esperienza dei passeggeri”, ha affermato F. WISCART, Presidente di Alstom Francia.

- *Metropolitane più comode, più accessibili e più rispettose dell'ambiente*



Figura 2 – Il ponte strallato Anji Khad, oggetto della prova di velocità.
Figure 2 – The Anji Khad cable-stayed bridge, subject of the speed test.

Basate sulle soluzioni metropolitane su gomma di Alstom, le nuove metropolitane da 52 m offriranno maggiore comfort, migliore accessibilità e migliori informazioni ai passeggeri. Ogni treno sarà in grado di ospitare fino a 545 passeggeri e di facilitare il flusso di passeggeri grazie alla sua configurazione “boa” (passerelle ampie e circolazione aperta senza separazioni tra le quattro carrozze) che consente ai passeggeri di spostarsi da un’estremità all’altra del treno. L’aggiunta di queste 15 nuove metropolitane darà alla linea 1 una flotta composta esclusivamente da treni di nuova generazione.

A bordo di queste metropolitane, le informazioni ai passeggeri saranno migliorate da display e schermi multimediali posizionati in tutto il treno. Ci saranno aree dedicate alle persone con mobilità ridotta e un sistema di protezione video integrato contribuirà alla sicurezza dei passeggeri a bordo dei treni e sulle banchine. Le nuove metropolitane ecosostenibili della metropolitana di Lille sono dotate di apparecchiature di trazione ad alte prestazioni per una migliore efficienza energetica.

- *Intervalli che possono essere ridotti a 66 secondi durante l’ora di punta*

I treni saranno dotati del sistema di pilota automatico Urbalis Fluence di nuova generazione, la cui prima applicazione mondiale è per la Métropole Européenne de Lille. Una soluzione ultra-innovativa, che integra l’intelligenza del sistema nei treni, rendendoli più autonomi e migliorando le prestazioni complessive del sistema.

La rete metropolitana di Lille ri-marrà la metropolitana più frequente al mondo, con un treno in partenza ogni 66 secondi durante l’ora di punta.

- *Una metropolitana made in France*

I nuovi treni saranno progettati e assemblati in Francia. Sei dei sedici siti Alstom in Francia stanno prendendo parte al progetto:

- Valenciennes-Petite Forêt, responsabile di studi, progettazione, as-



(Fonte – Source: Alstom)

Figura 3 – Alstom fornirà quindici metropolitane aggiuntive dotate del nuovo sistema di segnalazione e controllo automatizzato Urbalis Fluence all’area metropolitana di Lille, in Francia.

Figure 3 – Alstom will supply fifteen additional metros equipped with the new Urbalis Fluence signalling and automated control system to the Lille metropolitan area, in France.

semblaggio dei treni, test/validazioni e omologazione,

- Le Creusot, per i carrelli,
- Ornans, per i motori,
- Tarbes, per le apparecchiature del gruppo propulsore,
- Saint-Ouen, per i sistemi automatizzati e lo sviluppo di Urbalis Fluence, e
- Villeurbanne, per l’informatica di bordo e le informazioni ai passeggeri.

Le metropolitane automatizzate per Lille fanno parte delle soluzioni metropolitane Metropolis leader di mercato di Alstom, progettate per far respirare le città per oltre 60 anni. Oltre 80 clienti in tutto il mondo gestiscono metropolitane realizzate da Alstom (Da: *Comunicato Stampa Alstom*, 20 gennaio 2025).

France: fifteen additional metros equipped with signalling and automated control system to the Lille

Alstom will supply the Métropole Européenne de Lille (MEL) with fifteen additional 52 m long new-generation

automated metro trainsets (Fig. 3), at a cost of around 210 million euro (This contract was booked during the third quarter of Alstom’s 2024/25 fiscal year).

These new trains (Fig. 1) will complete the first batch of 27 trains already ordered by the MEL (equipped with the state-of-the-art Urbalis Fluence signalling and automated control system).

The metro trainsets in this new order will replace the old VAL-208 trainsets from 2028 onwards. This order is part of a general policy to modernise the Lille metro network, with the aim of introducing new rolling stock and modifying the automated train control system, to improve transport services on lines 1 and 2.

“Alstom is delighted with this new order from the Métropole Européenne de Lille for this new-generation equipment. These new, modern and comfortable metros represent a considerable asset for improving the network and the passenger experience,” said F. WISCART, President of Alstom France.

- More comfortable, more accessible and more environmentally friendly metros

Based on Alstom's rubber-tyred metro solutions, the new 52 m metros will offer greater comfort, improved accessibility and better passenger information. Each train will be able to accommodate up to 545 passengers and ease passenger flow thanks to its "boa" configuration (wide gangways and open circulation without separations between the four cars) which allows passengers to move from one end of the train to the other. The addition of those 15 new metros will give line 1 a fleet exclusively made up of new-generation trains.

On board these metros, passenger information will be enhanced by multimedia displays and screens located throughout the train. There will be areas dedicated to people with reduced mobility, and an integrated video protection system will contribute to passenger safety on board the trains and on the platforms. The Lille metro's new environmentally friendly metros are fitted with high-performance traction equipment for improved energy efficiency.

- Intervals that can be reduced to 66 seconds during rush hour

The trains will be equipped with the new-generation Urbalis Fluence autopilot system, the first worldwide application of which is for the Métropole Européenne de Lille. An ultra-innovative solution, which embeds the system's intelligence into the trains, making them more autonomous and improving the system's overall performance.

The Lille metro network will remain the most frequent metro in the world, with a train running every 66 seconds during rush hour.

- A metro made in France

The new trains will be designed and assembled in France. Six of Alstom's sixteen sites in France are taking part in the project:

- Valenciennes-Petite Forêt, in charge of studies, design, train assembly, tests/validations and homologation,
- Le Creusot, for the bogies,
- Ormans, for the motors,

- Tarbes, for the powertrain equipment,
- Saint-Ouen, for automated systems and the development of Urbalis Fluence, and
- Villeurbanne, for on-board computing and passenger information.

The automated metros for Lille are part of Alstom's market-leading Métropolis metro solutions, designed to keep cities breathing for over 60 years. More than 80 customers worldwide operate metros made by Alstom (From: Alstom Press Release, January 20th, 2025).

TRASPORTI INTERMODALI INTERMODAL TRANSPORTATION

Danimarca: pioniera nell'azione per il clima, con l'implementazione dell'autotrasporto elettrico

Ogni singolo giorno, migliaia di container vengono trasportati in tutto il mondo su camion per il trasporto nell'entroterra, da e verso i porti, tra fabbriche e magazzini o sull'ultimo miglio verso la destinazione finale. Gli innumerevoli trasporti su strada

non solo causano emissioni di gas serra, ma anche fumi di scarico nocivi ed emissioni acustiche per persone e animali.

Ciò rende la conversione delle flotte di camion in tutto il mondo in camion elettrici (cautocarri EV) uno dei compiti più importanti e, allo stesso tempo, uno dei più difficili nella logistica (Fig. 4). Le sfide sono molteplici: i camion elettrici costano fino a tre volte di più dei camion diesel convenzionali, la loro autonomia è notevolmente inferiore e in quasi tutti i paesi mancano ancora infrastrutture di ricarica idonee. Inoltre, i clienti devono essere preparati a pagare un sovrapprezzo per il trasporto su strada con un impatto climatico inferiore a causa dei costi aggiuntivi.

"Si tratta di un compito gigantesco, ma non dobbiamo lasciarne intimidire", afferma B. ODEFORS, amministratore delegato di Maersk Area Nordics, che ospita un numero particolarmente elevato di clienti tra i pionieri della logistica decarbonizzata.

Uno dei clienti pionieri danesi di Maersk è Grundfos. La società di ingegneria danese, specializzata in soluzioni di pompe avanzate e tec-



(Fonte - Source: Maersk)

Figura 4 - La conversione delle flotte di camion in tutto il mondo verso camion elettrici (EV truck) è uno dei compiti più importanti e, allo stesso tempo, più difficili nella logistica.

Figure 4 - The conversion of truck fleets worldwide to electric trucks (EV trucks) is one of the most important and, at the same time, one of the most difficult tasks in logistics.

nologia idrica, sta ora utilizzando l'offerta di camion elettrici di Maersk, dove i container vengono trasportati tra la loro fabbrica e il porto di Aarhus da un camion elettrico. I trasporti pilota sono in corso da ottobre 2024 e in futuro saranno aumentati fino a circa 600-800 container all'anno.

Dal 2020, Grundfos è stato uno dei primi clienti a spedire i propri container marittimi con carburanti a basso impatto climatico con Maersk. Grundfos utilizza già questo prodotto ECO Delivery Ocean per il 100% del suo trasporto marittimo sotto la cura di Maersk. L'uso di un mix di combustibili marini alternativi come il biodiesel ricavato dai rifiuti e il biometanolo riduce le emissioni di gas serra (GHG) fino all'80% rispetto al bunker oil marino fossile. Con i trasporti su strada elettrici, che ora vengono aggiunti, le emissioni dirette dal tubo di scarico dei camion vengono completamente eliminate, poiché l'autocarro elettrico viene caricato esclusivamente con elettricità rinnovabile. Dopo la riduzione del trasporto marittimo da porto a porto, volevamo davvero fare il passo successivo e risparmiare anche sulle emissioni nel pre-trasporto dei container e nell'ultimo miglio verso i nostri stabilimenti o magazzini. L'implementazione dei camion elettrici sulle strade in Danimarca è andata molto bene e questo è un buon caso per l'espansione internazionale dei camion elettrici. Alla luce delle terribili conseguenze climatiche che possiamo vedere nelle notizie quasi ogni giorno, non possiamo aspettare e dobbiamo agire ovunque possiamo. Noi come produttori ed esportatori vogliamo guidare attivamente il tema della decarbonizzazione della catena di fornitura e siamo lieti di collaborare con Maersk che è disposta a provare e implementare nuovi modi. Maersk punta a ridurre significativamente le emissioni di gas serra da tutte le modalità di trasporto e dai suoi oltre 500 centri logistici in tutto il mondo entro il 2030. L'obiettivo di Maersk di zero emissioni nette è l'anno 2040. Grundfos punta a raggiungere zero emissioni nette entro

il 2050 e ha anche, come Maersk, ambiziosi obiettivi intermedi per il 2030. Grundfos e Maersk hanno entrambe ricevuto la piena convalida dei loro percorsi zero emissioni nette dall'iniziativa Science-Based Targets (SBTi), un'organizzazione per l'azione sul clima che consente alle aziende di stabilire obiettivi di riduzione delle emissioni di gas serra (GHG) basati sulla scienza.

- Nota per i lettori: Grundfos

Grundfos è pioniera di soluzioni per le sfide idriche e climatiche del mondo e migliora la qualità della vita delle persone. Come azienda leader mondiale di soluzioni per pompe e acqua, promettiamo di rispettare, proteggere e migliorare il flusso dell'acqua fornendo sistemi e soluzioni efficienti in termini di energia e acqua per un'ampia gamma di applicazioni per servizi idrici, industrie ed edifici.

- Nota per i lettori: Maersk

A.P. Moller - Maersk è un'azienda di logistica integrata che lavora per collegare e semplificare le catene di fornitura dei propri clienti. In qualità di leader globale nei servizi di logistica, l'azienda opera in oltre 130 paesi e impiega circa 100.000 persone. Maersk punta a raggiungere emissioni nette di gas serra (GHG) pari a zero entro il 2040 in tutta l'attività con nuove tecnologie, nuove navi e carburanti con emissioni di GHG ridotte. (Maersk definisce carburanti con emissioni di GHG ridotte/inferiori come carburanti con almeno il 65% di riduzione delle emissioni di GHG in base al ciclo di vita rispetto ai combustibili fossili di 94 g CO₂e/MJ) (Da: *Comunicato Stampa Maersk*, 23 gennaio 2025).

Denmark: pioneering climate action, with electric truck deployment

Every single day, thousands of containers are transported globally by truck for hinterland haulage – to and from ports, between factories and warehouses, or on the last mile to their final destination. The countless road transports not only cause greenhouse

gas emissions, but also harmful exhaust fumes and noise emissions for people and animals.

This makes the conversion of truck fleets worldwide to electric trucks (EV trucks) one of the most important and, at the same time, one of the most difficult tasks in logistics (Fig. 4). The challenges are many: e-trucks cost up to three times as much as conventional diesel trucks, their range is significantly shorter and suitable charging infrastructure is still lacking in almost all countries. In addition, customers must be prepared to pay a surcharge for road transport with lower climate impact due to the additional costs.

"This is a gigantic task, but we must not be intimidated by it," says B. ODEFORS, Managing Director of Maersk Area Nordics, which is home to a particularly large number of customers who are among the pioneers of decarbonised logistics.

One of Maersk's Danish pioneer customers is Grundfos. The Danish engineering company, that specialises in advanced pump solutions and water technology, is now using Maersk's electric truck offering, where containers are transported between their factory and the port of Aarhus by an electric truck. The pilot transports have been running since October 2024 and are to be ramped up to around 600-800 containers per year in the future.

Since 2020, Grundfos has been one of the first customers to ship their seaborne containers with fuels with lower climate impact with Maersk. Grundfos already uses this ECO Delivery Ocean product for 100% of its ocean freight under Maersk care. The use of a mix of alternative marine fuels such as waste-based biodiesel and bio-methanol reduces Greenhouse Gas (GHG) emissions by up to 80% compared to fossil marine bunker oil. With the electric road transports, which are now being added, the direct tailpipe emissions of the trucks are completely eliminated, as the electric truck is charged exclusively with renewable electricity.

After ocean freight port to port reduction, we really wanted to take the next step and also save emissions in

pre-carriage of containers as well as the last mile to our plants or warehouse sites. The implementation of EV trucks on the roads in Denmark went very well and this is a good case for international expansion of EV trucks. In view of the dire climate consequences that we can see in the news almost every day, we cannot wait and must take action wherever we can. We as producers and exporters want to actively drive the topic of decarbonization of the supply chain and are pleased to partner with Maersk who is willing to try and implement new ways.

Maersk aims to significantly reduce its GHG emissions from all modes of transport and its more than 500 logistics centers worldwide by 2030. Maersk's net zero target is the year 2040. Grundfos aims to achieve net-zero emissions by 2050 and also has, same as Maersk, ambitious interim targets for 2030. Grundfos and Maersk have both received full validation of their net-zero pathways from the Science-Based Targets initiative (SBTi), a climate action organisation that enables companies to set greenhouse gas (GHG) emissions reduction targets grounded in science.

- *Note for readers: about Grundfos*

Grundfos pioneers solutions to the world's water and climate challenges and improves the quality of life for people. As a leading global pump and water solutions company, we promise to respect, protect, and advance the flow of water by providing energy and water efficient systems and solutions for a wide range of applications for water utilities, industries and buildings.

Find out more: Grundfos.com

- *Note for readers: about Maersk*

A.P. Moller - Maersk is an integrated logistics company working to connect and simplify its customers' supply chains. As a global leader in logistics services, the company operates in more than 130 countries and employs around 100,000 people. Maersk is aiming to reach net zero greenhouse gas (GHG) emissions by 2040 across the entire business with new technologies, new vessels, and reduced GHG emissions fuels. (Maersk defines reduced

/ lower GHG emissions fuels as fuels with at least 65% reductions in GHG emissions on a lifecycle basis compared to fossil of 94 g CO₂e/MJ) (From: Maersk Press Release, January 23rd, 2025).

Internazionale: FS Italiane, Polo Logistica in collaborazione con Colgate-Palmolive

Mercitalia Intermodal, società del Polo Logistica del Gruppo FS, si è aggiudicata per il sedicesimo anno consecutivo la gara di Colgate-Palmolive per l'export di prodotti per la cura della persona e parafarmaceutici destinati ai principali mercati europei.

L'accordo annuale prevede servizi di trasporto door-to-door tra lo stabilimento italiano di Anzio (RM), il più grande d'Europa, e i centri distribuzione in Olanda, Francia, Germania e Gran Bretagna. Il tutto grazie a sei treni a settimana tra il terminal di Pomezia e Duisburg, polo logistico più importante della Germania.

“La partnership con Colgate-Palmolive, con servizi dedicati dallo stabilimento fino ai punti di distribuzione europei, rappresenta il miglior esempio del nostro lavoro quotidiano – ha dichiarato S. DE FILIPPIS, Amministratore Delegato di Mercitalia Logistics. – Una impostazione che ritroviamo nel nostro nuovo piano strategico 2025-29, con cui puntiamo a presentarci sempre di più come un freight forwarder a supporto del sistema industriale europeo, con un approccio che metta il cliente al centro e un'offerta sostenibile end-to-end”.

La partnership tra le due aziende ha inoltre una grande valenza ambientale, permettendo di ridurre il traffico merci internazionale su gomma e diminuendo sia le emissioni di CO₂ sia le congestioni sulle principali strade europee. Il progetto, inoltre, consente di ridurre i tempi di consegna dei prodotti.

Un ulteriore passo del Polo Logistica per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione dell'Unione Europea e promuovere una rete di trasporto intermodale per consegnare

le merci in modo più sostenibile con servizi di trasporto door-to-door tra le principali aree industriali italiane e la Germania, la Francia, l'Olanda, il Belgio, l'Inghilterra e la Scandinavia.

La relazione Pomezia-Duisburg è una tratta strategica per il Polo Logistica, confermata dalla grande crescita degli ultimi 15 anni in cui si è passati da circa 2.000 a 10.000 spedizioni all'anno, che permettono di togliere dalla strada quasi 20mila camion per un risparmio di CO₂ di oltre 46mila tonnellate annue (Da: *Comunicato Stampa Mercitalia Logistics*, 27 gennaio 2025).

International: FSI, The Logistics Hub in joint to Colgate-Palmolive

Mercitalia Intermodal, a company of the FS Group Logistics Hub, has won the Colgate-Palmolive tender for the sixteenth consecutive year for the export of personal care and pharmaceutical products destined for the main European markets.

The annual agreement includes door-to-door transport services between the Italian plant in Anzio (RM), the largest in Europe, and the distribution centers in the Netherlands, France, Germany and Great Britain. All thanks to six trains per week between the Pomezia terminal and Duisburg, the most important logistics hub in Germany.

“The partnership with Colgate-Palmolive, with dedicated services from the plant to the European distribution points, represents the best example of our daily work – said S. DE FILIPPIS, CEO of Mercitalia Logistics. – A setting that we find in our new strategic plan 2025-29, with which we aim to increasingly present ourselves as a freight forwarder supporting the European industrial system, with a customer-centric approach and a sustainable end-to-end offer”.

The partnership between the two companies also has great environmental value, allowing for a reduction in international road freight traffic and decreasing both CO₂ emissions and congestion on the main European

roads. The project also allows for a reduction in product delivery times.

A further step by the Logistics Hub to achieve the European Union's decarbonisation objectives and promote an intermodal transport network to deliver goods in a more sustainable way with door-to-door transport services between the main Italian industrial areas and Germany, France, the Netherlands, Belgium, England and Scandinavia.

The Pomezia-Duisburg route is a strategic route for the Logistics Hub, confirmed by the great growth of the last 15 years in which it has gone from around 2,000 to 10,000 shipments per year, which allows almost 20 thousand trucks to be taken off the road for a CO₂ saving of over 46 thousand tons per year (From: Mercitalia Logistics Press Release, January 27th, 2025).

INDUSTRIA MANUFACTURES

Internazionale: il mercato auto europeo chiude il 2024 con quasi 3 milioni di veicoli in meno rispetto al 2019

Nell'area UE+EFTA+UK, a dicembre, le auto BEV risultano in lieve ribasso (-0,2%, con il 18,8% di quota), mentre le ibride tradizionali crescono del 29,5% (con il 33,2% di quota) e le ibride plug-in del 2,5% (con l'8,3% di quota). Nel complesso, sono state immatricolate 659.360 vetture ibride di tutti i tipi ed elettriche, che rappresentano, insieme, il 60,4% del mercato. Le auto ricaricabili (BEV e PHEV) raggiungono il 27,2% di quota. Se consideriamo i soli 5 major market, le vendite di auto ricaricabili ammontano invece a 187.998 unità a dicembre, in flessione dell'1,4% e con una quota del 24,7%.

In Italia, i volumi totalizzati a dicembre 2024 si attestano a 105.786 unità (-4,9%). Nel 2024, le immatricolazioni complessive ammontano a 1.559.229 unità, con un calo dello 0,5% rispetto ai volumi dello stesso periodo del 2023.

Secondo i dati ISTAT, a dicembre

l'indice nazionale dei prezzi al consumo aumenta dello 0,1% su base mensile e dell'1,3% su base annua (come nel mese precedente). La stabilità dell'inflazione sottende andamenti contrapposti di diversi aggregati di spesa: in rallentamento risultano principalmente i prezzi degli Alimenti non lavorati (da +3,8% a +2,3%) e dei Servizi ricreativi, culturali e per la cura della persona (da +3,7% a +3,1%); per contro, accelerano i prezzi degli Energetici regolamentati (da +7,4% a +12,7%), mentre si attenua ancora il calo dei prezzi degli Energetici non regolamentati (da -6,6% a -4,2%). Nell'ambito degli Energetici non regolamentati, in media d'anno i prezzi dei Beni energetici hanno registrato una variazione pari a -11,3% (da +7,5% nel 2023). In rallentamento quasi tutte le componenti: invertono la tendenza i prezzi dell'Energia elettrica mercato libero (da +1,8% a -25,7%), del Gas di città e gas naturale mercato libero (da +6,7% a -22,6%), della Benzina (da +1,9% a -2,2%) e quelli dei Combustibili solidi (da +11,5% a -5,1%), mentre i prezzi del Gasolio per mezzi di trasporto osservano una flessione più marcata (da -2% a -3,8%); con una flessione meno ampia invece i prezzi del Gasolio per riscaldamento (da -8,2% a -3,9%) e degli Altri carburanti (da -11,1% a -5,9%).

Analizzando nel dettaglio le immatricolazioni per alimentazione, le autovetture a benzina chiudono dicembre in calo dell'11,4%, con una quota di mercato del 28,4%. In ribasso anche le autovetture diesel (-18,5% su dicembre 2023), con una quota del 13%. Nell'intero 2024, le immatricolazioni di autovetture a benzina sono aumentate dell'1,9% (29,2% di quota), mentre prosegue il trend negativo delle auto diesel (-21,4% e 13,8% di quota). Le autovetture elettrificate rappresentano il 49,3% del mercato di dicembre, mentre, nel cumulato annuo hanno una quota del 47,5%, con volumi in aumento sia nel mese (+3,9%) che nel cumulato (+5,7%). Tra queste, le ibride mild e full crescono del 9,5% nel mese, con una quota di mercato del 40,3%, mentre, nell'intero anno, risultano in crescita del

10,1%, con una quota del 40%. Anche le immatricolazioni di autovetture ricaricabili (BEV e PHEV) diminuiscono del 15,5% nel mese (quota di mercato: 9%) e calano del 12,9% nel cumulato annuo (con quota al 7,5%). Nel dettaglio, le auto elettriche hanno una quota del 5,5% e calano del 14,8% nel mese. In flessione anche le ibride plug-in: -16,7%, con il 3,5% di quota del mercato del mese. Nel cumulato, le BEV e le PHEV risultano entrambe in calo, rispettivamente dell'1% (quota: 4,2%) e del 24,4% (quota: 3,3%). Infine, le autovetture a gas rappresentano il 9,1% dell'immatricolato di dicembre, interamente composto da autovetture Gpl (-4,3% su dicembre 2023). Nel 2024, le autovetture Gpl risultano in crescita dell'1,7% (quota: 9,3%) e quelle a metano in calo del 34,3% (quota: 0,1%).

La Spagna totalizza 105.346 immatricolazioni a dicembre 2024, il 28,8% in più rispetto allo stesso mese dello scorso anno. Nel 2024, il mercato risulta in crescita del 7,1%, con 1.016.885 unità immatricolate.

L'Associazione spagnola dell'automotive ANFAC fa notare che il 2024 registra oltre un milione di unità immatricolate, cifra che non si raggiungeva da prima dell'inizio della pandemia. Il buon andamento delle vendite nell'ultimo trimestre, trainato dallo sprint finale degli acquisti da parte di aziende e società di noleggio, ha permesso infatti di chiudere l'anno sopra la soglia del milione, mantenendo la Spagna sulla strada per recuperare il volume di vendite di 1,2 milioni di unità a cui dovrebbe aspirare come quarta economia europea. Per raggiungere questo obiettivo è necessario sia mantenere i piani di aiuto per l'acquisto di veicoli elettrificati, sia incoraggiare i cittadini ad acquistare un nuovo veicolo, ancora meglio se green.

Nel dettaglio, secondo i canali di vendita, a dicembre 2024 cresce il canale del noleggio (+119%), che si mantiene positivo anche nel cumulato dei dodici mesi (+37%). Anche le immatricolazioni intestate a società aumentano nel dodicesimo mese del 2024, +12%, ma calano del 5% nel

cumulato. Infine, il canale dei privati registra +28% a dicembre e +7% nel cumulato.

Le autovetture a benzina rappresentano il 32,4% del mercato di dicembre (+16% rispetto a dicembre 2023). A seguire, le vetture ibride non ricaricabili rappresentano il 42,9% del mercato di dicembre (+61,8% rispetto a dicembre 2023). Le autovetture diesel sono il 7,1% del mercato mensile (ma diminuiscono del 16,3% rispetto al dodicesimo mese del 2023), seguite dalle elettriche (8,4% nel mese e una variazione di +49,6% rispetto a dicembre 2023), dalle ibride plug-in (6% la quota del mese e -3,7% sullo scorso anno) e dalle auto a gas (3,3% di quota di mercato), che aumentano invece del 12,2%. Nel cumulato calano le autovetture a benzina, -2,3%, con una quota del 37,2%, le diesel, -18,8%, e anche le PHEV, -5,8% (con quota del 5,8%). Al contrario, tutte le altre alimentazioni risultano in crescita: le BEV registrano +11,2% e rappresentano il 5,6% del mercato, che è per il 38,6% formato da ibride non ricaricabili (+29,5%), e, infine, per il 3,3% da vetture a gas (+27,3%).

Le emissioni medie di CO₂ nel mese di dicembre 2024 salgono a 112,2 g/km. Nel 2024 si attestano in media a 116,4 g/km e rispetto al 2023 calano dello 0,5%.

In Francia, a dicembre 2024, si registrano 183.662 nuove immatricolazioni, in crescita dell'1,5% rispetto a dicembre 2023. A gennaio-dicembre 2024, le immatricolazioni si attestano a 1.718.412 (-3,2%).

Rispetto allo stesso mese dello scorso anno, calano ancora le autovetture diesel (-30,9%), a bioetanolo (-98,8%) e le autovetture a benzina (-23%). Le PHEV crescono del 44,9% e anche le ibride mild e full, che aumentano, rispettivamente, del 42,1% e del 44%. Le elettriche hanno una quota di mercato nel mese del 16,1%, mentre 12 mesi fa detenevano il 20,6%. Nel cumulato annuo, le diesel calano del 27,2% e detengono una quota del 7,3%, mentre le elettriche (quota del 16,9%) calano del 2,6%. Infine, le PHEV (quota dell'8,5%) calano del 10,2%.

Nel mercato tedesco sono state immatricolate a dicembre 224.721 unità, in calo del 7,1%.

Nel 2024, le immatricolazioni si attestano a 2.817.331, con una variazione negativa dell'1% rispetto a gennaio-dicembre 2023, ma una flessione del 22% rispetto ai livelli pre-covid del 2019.

Rispetto allo stesso mese dell'anno precedente, a dicembre 2024 si è registrato un aumento del 35% degli ordini domestici, mentre nell'intero 2024 il rialzo è stato del 12% su gennaio-dicembre 2023.

Dal punto di vista delle alimentazioni alternative, le auto ibride (+21,9% nel mese) rappresentano il 39,9% del mercato mensile tedesco, di cui l'8,5% sono ibride plug-in (+6,8%). Con una quota del 14,9%, le auto elettriche (BEV) registrano un calo del 38,6%. Infine, le vetture a GPL calano: -15,7%, con appena 1.113 nuove immatricolazioni.

Le emissioni medie di CO₂ delle auto di nuova immatricolazione aumentano di 4,2% rispetto a dicembre 2023 e si attestano a 114,9 g/km.

Il mercato inglese, infine, a dicembre totalizza 140.786 nuove autovetture immatricolate, con una lieve flessione dello 0,2% rispetto allo stesso mese dello scorso anno.

Nell'intero 2024, le immatricolazioni si attestano a 1.952.778 unità, il 2,6% in più rispetto a gennaio-dicembre 2023.

L'Associazione inglese dell'automotive SMMT sottolinea che il 2024 è stato un anno record per le immatricolazioni di veicoli elettrici, segno dell'impegno continuo dei produttori di veicoli per un mercato delle auto nuove decarbonizzato, con un'offerta più ampia, un'autonomia migliore e una maggiore accessibilità. Tuttavia, ciò ha avuto un costo enorme: i miliardi investiti nei nuovi modelli sono stati integrati da generosi incentivi che non sono più sostenibili. Servono risultati rapidi dalla revisione normativa e un sostegno concreto e urgente per i consumatori, altrimenti gli investimenti nel settore automobilistico saranno a rischio e i posti di lavoro,

la crescita economica e le ambizioni di zero emissioni saranno messi a repentaglio.

Nel mese, le immatricolazioni delle flotte crescono dello 0,2%, mentre le vetture intestate a privati calano dell'1,7% e quelle intestate alle aziende aumentano del 9,6%.

Le vendite di veicoli elettrici registrano un trend positivo: +56,8% e una quota di mercato del 31% nel mese di dicembre. Le ibride plug-in (PHEV) hanno fatto segnare una crescita

(+4,6%) e hanno una quota del 9%, superiore a quella dello scorso anno, che era dell'8,6%. Nell'intero 2024, le BEV aumentano del 21,4% e le PHEV del 18,3%. Le vetture diesel calano nel mese (-27,4%, con quota al 5%), mentre le autovetture a benzina fanno registrare il 20,9% in meno di volumi rispetto allo scorso dicembre, attestandosi su una quota di mercato del 42,2%. Nel cumulato dei dodici mesi, le diesel calano del 13,6% (quota del 6,3%) e le autovetture a benzina del 4,4% (quota del 52,2%) (Da: *Communicato Stampa ANFIA*, 21 gennaio 2025).

International: the European car market closes 2024 with almost 3 million fewer vehicles than in 2019

In the EU+EFTA+UK area, in December, BEV cars are slightly down (-0.2%, with a 18.8% share), while traditional hybrids grow by 29.5% (with a 33.2% share) and plug-in hybrids by 2.5% (with an 8.3% share). Overall, 659,360 hybrid cars of all types and electric cars were registered, which together represent 60.4% of the market. Plug-in cars (BEV and PHEV) reach a 27.2% share. If we consider only the 5 major markets, sales of plug-in cars amount to 187,998 units in December, down by 1.4% and with a share of 24.7%.

In Italy, the total volumes in December 2024 stood at 105,786 units (-4.9%). In 2024, total registrations amounted to 1,559,229 units, with a decrease of 0.5% compared to the volumes of the same period in 2023.

According to ISTAT data, in December the national consumer price index increased by 0.1% on a monthly basis and by 1.3% on an annual basis (as in the previous month). The stability of inflation underlies opposing trends in various spending aggregates: the main slowdowns are in the prices of Unprocessed Food (from +3.8% to +2.3%) and Recreational, Cultural and Personal Care Services (from +3.7% to +3.1%); on the other hand, regulated energy prices accelerated (from +7.4% to +12.7%), while the decline in non-regulated energy prices slowed further (from -6.6% to -4.2%). In the non-regulated energy sector, on average over the year, energy goods prices recorded a change of -11.3% (from +7.5% in 2023). Almost all components slowed down: the prices of free market electricity (from +1.8% to -25.7%), free market town gas and natural gas (from +6.7% to -22.6%), petrol (from +1.9% to -2.2%) and solid fuels (from +11.5% to -5.1%) reversed the trend, while the prices of diesel for means of transport observed a more marked decline (from -2% to -3.8%); with a less significant decline in the prices of Heating diesel (from -8.2% to -3.9%) and Other fuels (from -11.1% to -5.9%). Analyzing registrations by fuel in detail, petrol cars closed December down by 11.4%, with a market share of 28.4%. Diesel cars also fell (-18.5% on December 2023), with a share of 13%. In the whole of 2024, registrations of petrol cars increased by 1.9% (29.2% share), while the negative trend of diesel cars continues (-21.4% and 13.8% share). Electrified cars represent 49.3% of the December market, while in the cumulative year they have a share of 47.5%, with volumes increasing both in the month (+3.9%) and in the cumulative (+5.7%). Among these, mild and full hybrids grow by 9.5% in the month, with a market share of 40.3%, while, in the whole year, they show growth of 10.1%, with a share of 40%. Registrations of plug-in cars (BEV and PHEV) also decrease by 15.5% in the month (market share: 9%) and decrease by 12.9% in the cumulative year (with a share of 7.5%). In detail, electric cars have a share of 5.5% and decrease by 14.8% in the month. Plug-in hybrids

also fell: -16.7%, with a 3.5% market share for the month. In the cumulative, BEVs and PHEVs both fell, by 1% (share: 4.2%) and 24.4% (share: 3.3%) respectively. Finally, gas-powered cars accounted for 9.1% of December registrations, entirely made up of LPG cars (-4.3% on December 2023). In 2024, LPG cars grew by 1.7% (share: 9.3%) and methane-powered cars fell by 34.3% (share: 0.1%).

Spain totals 105,346 registrations in December 2024, 28.8% more than in the same month last year. In 2024, the market is expected to grow by 7.1%, with 1,016,885 units registered.

The Spanish automotive association ANFAC points out that 2024 records over one million units registered, a figure that had not been reached since before the start of the pandemic. The good performance of sales in the last quarter, driven by the final sprint of purchases by companies and rental companies, has in fact allowed the year to close above the one million threshold, keeping Spain on the path to recovering the sales volume of 1.2 million units to which it should aspire as the fourth European economy. To achieve this goal, it is necessary to both maintain the aid plans for the purchase of electrified vehicles, and encourage citizens to buy a new vehicle, even better if it is green.

In detail, according to sales channels, in December 2024 the rental channel grew (+119%), which also remained positive in the cumulative of the twelve months (+37%). Registrations registered to companies also increased in the twelfth month of 2024, +12%, but fell by 5% in the cumulative. Finally, the private channel recorded +28% in December and +7% in the cumulative.

Petrol cars represent 32.4% of the December market (+16% compared to December 2023). Following this, non-plug-in hybrid cars represent 42.9% of the December market (+61.8% compared to December 2023). Diesel cars are 7.1% of the monthly market (but decreased by 16.3% compared to the twelfth month of 2023), followed by electric cars (8.4% in the month and a variation of +49.6% compared to

December 2023), plug-in hybrids (6% share of the month and -3.7% compared to last year) and gas cars (3.3% market share), which instead increased by 12.2%. In the cumulative, petrol cars decreased, -2.3%, with a share of 37.2%, diesel cars, -18.8%, and also PHEVs, -5.8% (with a share of 5.8%). On the contrary, all other fuels are growing: BEVs are up +11.2% and represent 5.6% of the market, which is made up of 38.6% non-plug-in hybrids (+29.5%), and, finally, 3.3% gas-powered vehicles (+27.3%).

Average CO₂ emissions in December 2024 rise to 112.2 g/km. In 2024, they average 116.4 g/km and are down 0.5% compared to 2023.

In France, in December 2024, 183,662 new registrations were recorded, up 1.5% compared to December 2023. In January-December 2024, registrations stood at 1,718,412 (-3.2%).

Compared to the same month last year, diesel cars (-30.9%), bioethanol cars (-98.8%) and petrol cars (-23%) are still decreasing. PHEVs are growing by 44.9% and so are mild and full hybrids, which are increasing by 42.1% and 44% respectively. Electric cars have a market share in the month of 16.1%, while 12 months ago they held 20.6%. In the cumulative annual figure, diesel cars are decreasing by 27.2% and have a share of 7.3%, while electric cars (share of 16.9%) are decreasing by 2.6%. Finally, PHEVs (share of 8.5%) are decreasing by 10.2%.

In the German market, 224,721 units were registered in December, down by 7.1%.

In 2024, registrations stand at 2,817,331, with a negative variation of 1% compared to January-December 2023, but a decrease of 22% compared to pre-covid levels of 2019.

Compared to the same month of the previous year, in December 2024 there was a 35% increase in domestic orders, while in the whole of 2024 the increase was 12% compared to January-December 2023.

From the point of view of alternative fuels, hybrid cars (+21.9% in the month) represent 39.9% of the German monthly market, of which 8.5%

are plug-in hybrids (+6.8%). With a share of 14.9%, electric cars (BEV) recorded a decrease of 38.6%. Finally, LPG vehicles are down: -15.7%, with just 1,113 new registrations.

The average CO₂ emissions of newly registered cars increase by 4.2% compared to December 2023 and stand at 114.9 g/km.

Finally, the English market totaled 140,786 new cars registered in December, with a slight decrease of 0.2% compared to the same month last year.

In the whole of 2024, registrations stood at 1,952,778 units, 2.6% more than in January-December 2023.

The English automotive association SMMT highlights that 2024 was a record year for electric vehicle registrations, a sign of the ongoing commitment of vehicle manufacturers to a decarbonized new car market, with a wider offer, better autonomy and greater accessibility. However, this has come at a huge cost: the billions invested in new models have been supplemented by generous incentives that are no longer sustainable. Rapid results from the regulatory review and urgent, concrete support for consumers are needed, otherwise investment in the automotive sector will be at risk and jobs, economic growth and zero-emission ambitions will be jeopardised.

In the month, fleet registrations increased by 0.2%, while privately registered vehicles fell by 1.7% and those registered by companies increased by 9.6%.

Sales of electric vehicles are on a positive trend: +56.8% and a market share of 31% in December. Plug-in hybrids (PHEVs) recorded growth

(+4.6%) and have a market share of 9%, higher than last year, which was 8.6%. For the whole of 2024, BEVs increase by 21.4% and PHEVs by 18.3%. Diesel cars fell in the month (-27.4%, with a share of 5%), while petrol cars recorded 20.9% less volumes than last December, settling at a market share of 42.2%. In the cumulative twelve months, diesel cars fell by 13.6% (share of 6.3%) and petrol cars by 4.4% (share of 52.2%) (From: ANFIA Press Release, 21 January 2025).

VARIE OTHERS

Internazionale: Thales Alenia Space Italia svilupperà l'Airlock emiratino per il Lunar Gateway

Thales Alenia Space ha siglato un contratto con il Mohammed Bin Rashid Space Centre (MBRSC) per la progettazione e lo sviluppo dell'Airlock emiratino destinato al Lunar Gateway, la stazione spaziale cislunare del programma Artemis della NASA per il ritorno dell'uomo sulla Luna. Il modulo consentirà attività extraveicolari, fungerà da punto di attracco per le navicelle e faciliterà il trasferimento di esperimenti scientifici. La firma dell'accordo, avvenuta ad Abu Dhabi, ha visto la partecipazione del presidente dell'Agenzia Spaziale Italiana, T. VALENTE, a conferma del forte legame tra Italia ed Emirati nel settore spaziale.

“Questa è una giornata significativa per l'industria spaziale italiana e per il nostro Paese - ha dichiarato VALENTE - ad Abu Dhabi è stato firmato il contratto che assegna a Thales Alenia Space Italia la realizzazione del modulo Airlock, destinato a completare il Lunar Gateway, la prima stazione spaziale in orbita lunare, un passo fondamentale per il programma di esplorazione lunare Artemis della NASA. Ho partecipato alla firma di questo importante contratto rappresentando con orgoglio l'Agenzia Spaziale Italiana. Un accordo che testimonia la fiducia nella qualità e nella competenza industriale e accademica dell'intero Sistema Paese che continua a essere un punto di riferimento globale nell'ambito spaziale. È un passo questo che si inserisce anche in un contesto di forte collaborazione internazionale, come dimostrato dalla partecipazione degli Emirati Arabi Uniti agli Artemis Accords. La firma affonda le sue radici nel lungimirante Memorandum of Understanding del 1997 tra ASI e NASA, che ha consolidato la strada di un lungo percorso di collaborazione bilaterale tra le nostre agenzie per l'abitabilità nello spazio. L'Italia, con

il suo patrimonio di competenze, si conferma, quindi, in prima linea nella realizzazione delle grandi sfide spaziali del futuro. Siamo pronti a contribuire con determinazione alla nuova era dell'esplorazione lunare».

Grazie a questa collaborazione, gli Emirati Arabi Uniti rafforzano il loro ruolo nell'esplorazione spaziale, contribuendo allo sviluppo della propria comunità scientifica e formando nuove generazioni di ingegneri e scienziati.

Thales Alenia Space consegnerà l'Airlock al Kennedy Space Center entro maggio 2030. Le prossime tappe del progetto prevedono, nel 2025, la revisione del concetto della missione e dei requisiti di sistema, per arrivare successivamente alla Preliminary Design Review (Da: *Comunicato Stampa Agenzia Spaziale Italiana*, 4 febbraio 2025).

International: Thales Alenia Space Italia to develop the Emirati Airlock for the Lunar Gateway

Thales Alenia Space has signed a contract with the Mohammed Bin Rashid Space Centre (MBRSC) for the design and development of the Emirati Airlock for the Lunar Gateway, the cislunar space station of NASA's Artemis program for the return of man to the Moon. The module will enable extravehicular activities, will serve as a docking point for spacecraft and will facilitate the transfer of scientific experiments. The signing of the agreement, which took place in Abu Dhabi, was attended by the President of the Italian Space Agency, T. VALENTE, confirming the strong bond between Italy and the Emirates in the space sector.

“This is a significant day for the Italian space industry and for our country,” said VALENTE. “The contract was signed in Abu Dhabi that assigns Thales Alenia Space Italia the construction of the Airlock module, destined to complete the Lunar Gateway, the first space station in lunar orbit, a fundamental step for NASA's Artemis lunar exploration program. I participated in the signing of this important contract, proudly rep-

representing the Italian Space Agency. An agreement that demonstrates the trust in the quality and industrial and academic expertise of the entire Country System, which continues to be a global point of reference in the space sector. This is a step that also fits into a context of strong international collaboration, as demonstrated by the participation of the United Arab Emirates in the Artemis Accords. The signature has its roots in the far-sighted 1997 Memorandum of Understanding between ASI and NASA,

which consolidated the path of a long journey of bilateral collaboration between our agencies for habitability in space. Italy, with its wealth of expertise, confirms its position at the forefront of the realization of the great space challenges of the future. We are ready to contribute with determination to the new era of lunar exploration”.

Thanks to this collaboration, the United Arab Emirates strengthens its role in space exploration, contribut-

ing to the development of its scientific community and training new generations of engineers and scientists.

Thales Alenia Space will deliver the Airlock to the Kennedy Space Center by May 2030. The next stages of the project include, in 2025, the review of the mission concept and system requirements, to subsequently arrive at the Preliminary Design Review (From: Press Release Italian Space Agency, February 4th, 2025).

Visita tecnica al deposito della metropolitana M4 del 25 novembre 2024

(Sezione CIFI di Milano)

ATM (Azienda Trasporti Milanesi) e CIFI (sezione di Milano) hanno organizzato una visita tecnica al deposito della linea M4 della Metropolitana Milanese, il cui intero percorso è stato inaugurato il 12 ottobre. I soci CIFI sono stati accolti dai dirigenti ATM nella stazione capolinea di San Cristoforo: da qui il gruppo ha proseguito per l'adiacente deposito (Fig. 1, Fig. 2) con un convoglio "navetta", cioè con un treno che esce dall'esercizio effettuando una manovra normalmente utilizzata verso il deposito. Giunti nell'impianto, l'Ing. A. DEL BUONO, Direttore Esercizio, ha aperto l'incontro e i responsabili ATM dell'esercizio e della gestione del deposito hanno illustrato la complessa vita dell'infrastruttura M4:

- Ing. P. BIASIOLI – Modalità di esercizio e gestione della M4.
- Dr. G. BONISSONI – Segnalamento della linea.
- Ing. G. Bozzo - Tipologie di armamento della M4.
- Ir. L. CAUZZO - Materiale Rotabile e deposito di San Cristoforo.

Ecco i principali dati di esercizio:

- Treni senza conducente cioè a ATO (*Automatic Train Operation level 4*).
- Distanziamento in regime di blocco mobile.
- Tempo di percorrenza tra i capolinea di San Cristoforo e Linate Aeroporto: mezz'ora.
- 21 fermate per 15 km.
- La linea incontra altre linee metropolitane, ferroviarie e l'aeroporto in 7 stazioni:
 - San Cristoforo: linea S9 e treni regionali.



Figura 1 - Il deposito con convoglio "navetta".



Figura 2 - I treni della M4 nel deposito adiacente alla stazione di San Cristoforo.

- Sant'Ambrogio: metro M2.
- Sforza Policlinico: metro M3, stazione Missori.
- San Babila: metro M1.
- Dateo e stazione Forlanini: linee S.

- Linate: Aeroporto.

Il deposito è situato su una vasta area e consta di vari reparti razionalmente disposti e dimensionati per un esercizio continuo ed efficiente. I principali siti riguardano la struttura per il parcheggio dei treni mantenuti accesi per il pronto rientro in linea, le officine in grado di svolgere le manutenzioni ordinarie, il tunnel di lavag-

gio e lo speciale sito per la rimozione dei graffiti.

Vi è inoltre un'officina per l'armamento, che al momento non è completamente allestita. Di grande utilità è l'anello ("racchetta") per la giratura dei treni. All'interno dei fabbricati degli uffici vi è una Sala Operativa mantenuta in "riserva calda" in grado di subentrare, in breve,

alla Sala Operativa sita in Milano, nel caso di indisponibilità della stessa. Alla fine dell'incontro il gruppo CIFI è risalito su un convoglio che è rientrato nel normale esercizio percorrendo l'intera tratta fino a Linate Aeroporto: durante il tragitto si potevano vedere le luci di coda del convoglio precedente a dimostrazione dell'efficienza del distanziamento con il blocco mobile.



IF Biblio

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 2025

(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 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. 06.4742987 - 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** 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 2025

(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: +39.06.4742987 – 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 € **9,50** shipping included; € **7,50** PDF article.

The payment, anticipated, may be performed according to the same procedures applied for subscriptions.

	IF Biblio	<i>Politica ed economia dei trasporti, tariffe</i>	27
	<p>175 <i>Oscillazioni periodiche di equilibrio nei processi di diffusione delle innovazioni nei trasporti</i> (FERRARI) <i>Periodic equilibrium oscillations in the diffusion processes of transport innovations.</i> <i>Ingegneria Ferroviaria, settembre 2022, pp. 647-664, figg. 8. Biblio 27 titoli.</i></p>		<p>178 <i>Un'analisi della competitività della nuova linea ferroviaria Torino-Lione.</i> (LUPI – CONTE – MANGIACACCHI – SECONDULFO – SEMINARA – FARINA) <i>An analysis of the competitiveness of the new Turin-Lyon railway line.</i> <i>Ingegneria Ferroviaria, gennaio 2023, pp. 31-71, figg. 11, tabb.6. Biblio 50 titoli.</i></p>
	<p>176 <i>Trasporto ferroviario equo e sostenibile a servizio dell'intera comunità.</i> (GATTUSO) <i>Fair and sustainable railway transport at the service of the whole community.</i> <i>Ingegneria Ferroviaria, ottobre 2022, pp. 761-786, figg. 7, tabb. 8. Biblio 22 titoli.</i></p>		<p>179 <i>Conseguenze del bando alle vendite di auto con motore a combustione interna in Europa.</i> (FERRARI) <i>Consequences of the ban on sale of internal combustion engine cars in Europe.</i> <i>Ingegneria Ferroviaria, marzo 2023, pp. 201, tabb. 216. Biblio 23 titoli.</i></p>
	<p>177 <i>L'evoluzione della Politica dei Trasporti dell'Unione Europea.</i> (CALISE) <i>Evolution of the Transport Policy of the European Union.</i> <i>Ingegneria Ferroviaria, dicembre 2022, pp. 963-992, figg. 8, tabb. 5. Biblio 58 titoli.</i></p>		<p>180 <i>Alta formazione in campo ferroviario in Europa: analisi della situazione attuale in vista dei futuri sviluppi.</i> (ABRAMOVIĆ - BARDHI - CASANUEVA PEREZ - DOLINAYOVA - DOMENY - HADEED - LEHNERT - MARINOV - MARTINI - OSBODA - RICCI - ŠIPUS) <i>Rail higher education in Europe: current situation analysis for future developments.</i> <i>Ingegneria Ferroviaria, aprile 2023, pp. 331-346, figg. 13, tabb. 3. Biblio 11 titoli.</i></p>



PLASTIROMA SRL

19 20
66 25



Cassetta 120 con il coperchio più alto

Cassetta con **nuovo coperchio ampliato** in altezze in confronto a quell'analogo della cassetta *Cat. 831/120*. Questo aumento di dimensioni permette di inserire frutti maggiori il cui ingombro sviluppa in verticale.



Cassetta Cat. 831/120

Cassetta PLA.24.120.337.A

Il coperchio ed il fondo sono realizzati da un materiale polimerico ad alte prestazioni, appartenente alla famiglia dei policarbonati, rinforzato con fibra di vetro. È noto per la sua eccezionale combinazione di proprietà meccaniche, termiche ed elettriche, che lo rendono ideale per la nostra cassetta.

Caratteristiche principali:

- **Elevata resistenza all'impatto:** Il policarbonato (PC) è in grado di assorbire forti impatti senza rompersi, è ideale per la nostra cassetta che richiede una grande robustezza.
- **Alta resistenza termica:** Può sopportare temperature elevate senza deformarsi o perdere le sue proprietà meccaniche.
- **Ottime proprietà elettriche:** È un buon isolante elettrico e resiste all'arco elettrico.
- **Buona resistenza ai raggi UV:** Resiste al degrado causato dai raggi ultravioletti, preservando le sue caratteristiche nel tempo.
- **Facilità di lavorazione:** Può essere facilmente lavorato con la nostra tecnica iniezione dei termoplastici.

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
- 1.1.8 G. PIRO - G. VICUNA – “Il materiale rotabile motore”.. € 20,00
- 1.1.10 A. MATRICARDI - A. TAGLIAFERRI – “Nozioni sul freno ferroviario” € 15,00
- 1.1.11 V. MALARA – “Apparecchiature di sicurezza per il personale di condotta” € 30,00
- 1.1.12 G. PIRO – “Cenni sui sistemi di trasporto terrestri a levitazione magnetica” € 15,00

1.2 – Cultura Professionale - Armamento ferroviario

- 1.2.3 L. CORVINO – “Riparazione delle rotaie ed apparecchi del binario mediante la saldatura elettrica ad arco” (Vol. 6°) € 15,00
- 1.2.4 F. SCHINA “La Costruzione del Binario” € 30,00
- 1.2.5 F. NATONI “Gli scambi ferroviari” € 30,00

1.3 – Cultura Professionale - Impianti Elettrici Ferroviari

- 1.3.16 A. FUMI – “La gestione degli impianti elettrici ferroviari” € 35,00
- 1.3.17 U. ZEPPA – “Impianti di Sicurezza - Gestione guasti e lavori di manutenzione” € 30,00

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
- 2.24 G. ACQUARO – “La Sicurezza Ferroviaria - Principi, approcci e metodi nelle norme nazionali ed europee” € 25,00
- 2.25 F. BOCCHIMUZZO – “La Realizzazione dei Lavori pubblici nelle Ferrovie - volume 1 Le regole generali” € 38,00
- 2.26 ERTMS/ETCS – Pianificazione e Funzioni Base - Volume A - Fabio Senesi e Autori Vari prezzo di copertina € 32,00
- 2.33 Collana ERTMS/ETCS – Cofanetto contenente i Volumi A-B-C-D-E-F + Appendice - Fabio Senesi e Autori Vari € 224,00
- 2.34 M. MORZIELLO – “High Speed Railway System” € 34,00
- 2.35 F. SENESI e AUTORI VARI – “ERTMS/ETCS - Planning and Basic Functions” € 32,00
- 2.36 G.P. PAVIRANI “La Manutenzione della Infrastruttura” € 36,00
- 2.37 V. VALFRÈ – G. STANZANI – D. OCCHIENA “Le Protezioni da Doppie Contatti Ordinati e Separati Con Verifica Dimensionale dei Parametri di Linea” Formato Digitale PDF € 34,00
- 2.38 G.P. PAVIRANI “La Manutenzione della Infrastruttura” € 36,00

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. M. GERLINI – P. MORI – R. PAIELLA “Architettura Ferroviaria” € 120,00

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	6.12.	A. BUSSI (ed. Luigi Pellegrini Editore) “Due Vite, Tante Vite (Storie di ferrovia e resistenza)”	€ 16,00
6.6.	E. PRINCIPE (ed. Veneta) – “Treni italiani con carrozze a due piani”	€ 28,00	6.61.	M. MORZIELLO “Sistema Ferroviario Italiano Alta Velocità”	€ 34,00
6.7.	E. PRINCIPE (ed. La Serenissima) – “Treni italiani Eurostar City Italia”	€ 35,00	6.64.	G. MAGENTA (ed. Gaspari) – “Un Mondo su rotaia”	€ 29,00
6.8.	E. PRINCIPE – “Treni italiani - ETR 500 Frecciarossa”	€ 25,00	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
6.9.	V. FINZI (ed. Coedit) – “I miei 50 anni in ferrovia”	€ 20,00	6.66.	P. MESSINA – “Ferrovie e Filobus nella Pubblicità” ...	€ 26,00
6.10.	E. PRINCIPE (ed. Veneta) – “Le carrozze dei nuovi treni di Trenitalia”	€ 24,00	6.67.	P. MESSINA – “Per Mare intorno all'Elba e verso il Continente – Traghetti, imbarcazioni e navi da crociera”	€ 23,00
6.11.	R. MARINI (ed. Plasser & Theurer - Plasser Italiana) . “Treni nel Mondo”	€ 30,00	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

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.

L. Franceschini, A. Garofalo, R. Marini e V. Rizzo
ELEMENTI GENERALI DELL'ESERCIZIO FERROVIARIO
Tradizione, evoluzione, sviluppi
Seconda edizione

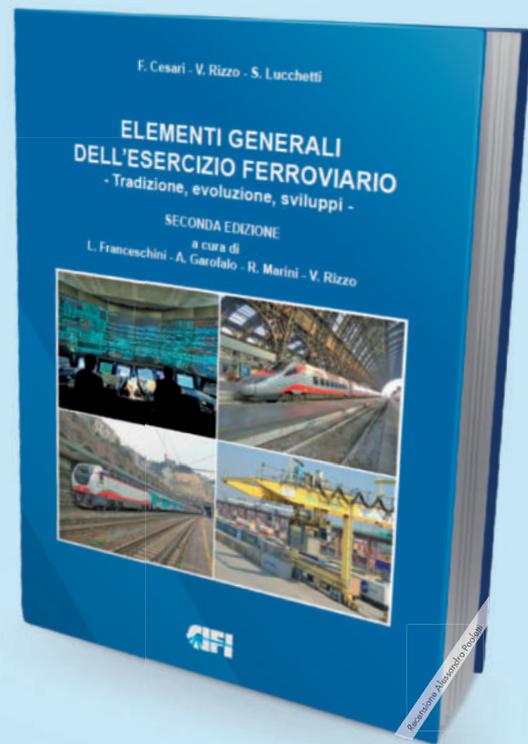
Il CIFI ha pubblicato la seconda edizione del libro "Elementi generali dell'esercizio ferroviario". La prima edizione era stata data alle stampe nel 1999. Andata esaurita anche la ristampa, il CIFI ha giustamente ritenuto opportuno, anziché procedere ad un'ulteriore ristampa, di pubblicare una nuova 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, immanicabile 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).

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, HYPERLINK “mailto:info@mefa.it”info@mefa.it, HYPERLINK “http://www.mefa.it”www.mefa.it Vendita e dimensionamento di elementi di supporto e fissaggio di impianti, sistemi modulari di sostegno anche antisismici, collari per tubazioni, giunti, raccordi, stazioni di allarme per impianti antincendio.

D **Meccanica, metallurgica,
macchinari, materiali,
impianti elettrici ed elettronici**

ARTHUR FLURY S.r.l. – Via Settimio Raimondi, 7G – 44034 COPPARO (FE) – Tel. +39/3471759819 – E-mail: info@fluryitalia.it – Produzione materiali per linee aeree ferroviarie, tranviarie e metropolitane (trazione elettrica). Isolatori di sezioni per tutte le velocità (da 30 a 250 Km/h) e tensioni elettriche in corrente continua e alternata. Morsetteria in CuNiSi ad alta resistenza meccanica per tutti i tipi di filo di contatto, terminali, morse di amarro e giunti a innesto rapido per fune portante. Pendini tradizionali e regolabili in altezza, pendini elastici – smorzatori per usi su alta velocità e linee tradizionali. Dispositivi di messa a terra e corto circuito. Soluzioni personalizzate e speciali su misura.

BONOMI EUGENIO S.p.A. – Via Mercanti, 17 – 25018 MONTICHIARI (BS) – Tel. 030/9650304 – Fax 030/962349 – E-mail: info.eb@gruppo-bonomi.com – www.gruppo-bonomi.com – Progettazione linee ferroviarie e tranviarie – Produzione di componenti ed accessori per i settori trazione elettrica e segnalamento – Sospensioni per linee tradizionali ed Alta Velocità – Dispositivi di pensionamento a contrappesi ed oleodinamici, morsetteria e connettori, attrezzatura ed utensili meccanici ed oleodinamici (prodotti per linee da 1,5 kV a 25 kV).

BOSCH SECURITY SYSTEMS S.p.A. – Via M.A. Colonna, 35 – 20149 MILANO (MI) – Tel. 02/36961 – E-mail: it.securitysystems@bosch.com – Prodotti e soluzioni in ambito Security, Safety e Communication per applicazioni di: videosorveglianza e artificial intelligence, rilevazione intrusione, rivelazione incendio, audio evacuazione e controllo degli accessi. Tecnologie innovative per la protezione dei beni e delle persone, e per l'efficientamento dei processi e dei servizi.

CANAVERA & AUDI S.p.A. – Regione Malone, 6 – 10070 CORIO (TO) – Tel. 011/928628 – Fax 011/9282709 – E-mail: canavera@canavera.com – www.canavera.com – Stampaggio a caldo particolari in acciaio fino a 200 kg – Lavorazioni meccaniche – Costruzione componenti per carri, carrozze, tram e metropolitane.

CEMBRE S.p.A. – Via Serenissima, 9 – 25135 BRESCIA – Tel. 030/36921 – (r.a. + Sel. pass.) – Fax 030/3365766 – E-mail: info@cembre.com – Produzione e commercio di: capicorda e connettori elettrici – Utensili per la compressione dei capicorda e connettori, tranciacavi e tranciacuni oleodinamici – Trapani adatti alla foratura di rotaie e di apparecchi del binario nelle applicazioni ferroviarie – Trapani per traverse in legno – Pandrolatrici – Avvitatori portatili – Troncatrici di rotaie.

CINEL OFFICINE MECCANICHE S.p.A. Via Sile, 29 – 31033 CASTELFRANCO VENETO (TV) – Tel. 0423/490471 – Fax 0423/498622 – E-mail: info@cinelspa.it – www.cinelspa.it – Stabilimenti: Via Sile, 29 – 31033 Castelfranco Veneto (TV) – Via Scalo Merci, 21 – 31030 Castello di Godego (TV) – Forniture per i settori ferroviario e tranviario: scambi ferroviari e tranviari, Kit cuscinetti elastici e autolubrificanti, Kit piastre per controrotaie 33C1, giunti isolanti incollati, piastre, piastrine, ganasce di giunzione, blocchi, caviglie, chiavarde, casse di manovra per deviatoio e accessori, tiranterie, zatteroni, traverse cave, fermascambi, immobilizzatori, dispositivi di bloccaggio, apparecchiature per segnalamento e sicurezza, passaggi a livello, materiali per rotabili.

G.C.F.E. S.p.A. – Via F. Fellini, 4 – 20097 SAN DONATO MILANESE (MI) – Tel. 02/89536.100 – Fax 02/89536536 – www.colasrail.com – Impianti fissi di trazione elettrica chiavi in mano per trasporti ferroviari, metropolitane e tranvie – Studi di fattibilità, progettazione e realizzazione di linee di contatto, ferroviarie ed urbane – Sottostazioni elettriche per alimentazione in c.c. e c.a. – Linee primarie; impianti di telecomando – Impianti luce e forza motrice.

CRONOS SISTEMI FERROVIARI S.r.l. – Via Cortemilia, 71 – 17014 CAIRO MONTENOTTE (SV) – Tel. 019/502571 – www.cronosrail.com – Installazione impianti ed apparecchiature per la trazione elettrica per trasporti ferroviari, metropolitane e tranvie – Sottostazioni elettriche e impianti IFM – Impianti e sistemi elettrici ed elettronici anche complessi, integrati ed informatici, quadri elettrici e cabine di trasformazione – Infrastrutture per le vie di comunicazione, impianti e sistemi telematici in generale, reti telematiche e informatiche, di trasporto e di connessione dati – Progettazione e realizzazione di linee di contatto, ferroviarie ed urbane.

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 co-

municazione 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.

E.T.A. S.p.A. – Via Monte Barbaghino, 6 – 22035 CANZO (CO) – Tel. +39/031/673611 – Fax +39/031/670525 – E-mail: infosed@eta.it – www.eta.it – Carpenteria: quadri elettrici non cablati – Armadi e contenitori elettrici per esterni – Armadi 19" – Quadri inox per gallerie – Cassette inox lungo linea – Saldatura al tig certificata – Conformità alle specifiche RFI.

FAIVELEY TRANSPORT ITALIA S.p.A. – Via Volvera, 51 – 10045 PIOSSASCO (TO) – Tel. 011/9044.1 – Fax 011/9064394 – www.faiveley.com

Sistemi e prodotti a marchio SAB WABCO: Impianti di frenatura pneumatici, elettropneumatici, elettromeccanici ed elettroidraulici, freni a pattino tradizionali e a magneti permanenti, per veicoli ferroviari, metropolitani e tranviari – Sistemi di frenatura per treni ad alta velocità – Sistemi di antipattinaggio e antislittamento – Attuatori pneumatici, unità frenanti, regolatori di timoneria, gamma completa dei dischi del freno in ghisa e in acciaio – Compressori a pistoncini, compressori rotativi a vite, essiccatori d'aria, unità di produzione e trattamento dell'aria compressa – Sistemi diagnostici di bordo di manutenzione – Apparecchiature elettroniche di comando e controllo del freno.

Sistemi e prodotti a marchio faiveley: Convertitori statici di potenza e carica batterie – Impianti di riscaldamento e condizionamento – Porte e comandi porte – Sistemi di piattaforme – Porte di accesso treno – Pantografi – Interruttori di alta tensione – Sistemi di scatola nera – Registratori di eventi (DIS) – Sistemi diagnostici e telediagnostici di bordo – Sistemi di videosorveglianza.

FASE S.a.s. di Eugenio Di Gennaro & C. – Via del Lavoro, 41 – 20030 SENAGO (MI) – Tel. 02/9986557-02/9980622 – Fax 02/9986425 – E-mail: info@fase.it – www.fase.it –

Strumentazione da quadro (indicatori analogici e digitali – TA e TV – Shunts e divisori di tensione) – Convertitori statici di misura – Strumentazione di bordo per mezzi rotabili (Treni A.V. – Locomotive elettriche e diesel-idrauliche – Veicoli ferroviari – Metropolitane e tranvie) – Apparecchiature elettroniche di misura e diagnostica costruite su specifica del Cliente – Fanali di coda e indicatori luminosi a led.

GALLOTTI 1881 S.r.l. – Via Codrignano, 57/a – 40026 IMOLA (BO) – Tel. 0542/690987 – Fax 0542/690987 – E-mail: gallotti@gallotti1881.com – www.gallotti1881.com – Costruzione con progettazione di strutture metalliche per il segnalamento ferroviario, strutture metalliche speciali, piantane ed attrezzature unifer, carpenterie metalliche e meccaniche.

GECO S.r.l. – Via Ugo Foscolo, 9 – 28066 GALLIATE (NO) – CF e P. Iva: IT01918320035 – Tel. 0321/806957 – E-mail: info@gecoitalia.biz – Progettazione, integrazione, prodotti, servizi ingegneristici e sviluppo software per applicazioni di informazione al pubblico, sincronizzazione oraria, videosorveglianza, diffusione audio, rilevazione incendio, sicurezza, antintrusione avvalendosi di tecnologie innovative e partner altamente qualificati in ambito ferroviario.

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.

KNORR-BREMSE Rail Systems Italia S.r.l. – Via San Quirico, 199/I – 50013 CAMPI BISENZIO (FI) – Tel. 055/3020.1 – Fax 055/3020333 – E-mail: kbrsitalia@knorr-bremse.it – www.knorr-bremse.it – Impianti di frenatura pneumatici, elettropneumatici ed elettroidraulici per veicoli ferroviari, metropolitani e tranviari – Sistemi di frenatura per treni ad alta velocità – Attuatori pneumatici, unità frenanti, regolatori di timoneria, dischi freno – Compressori a vite e a pistoncini, essiccatori d'aria, unità di produzione e trattamento aria compressa – Impianti toilette ecologici a recupero – Sistemi ed apparecchiature elettroniche di comando, controllo e diagnostica – Servizi di assistenza, riparazione e manutenzione di sistemi frenanti.

LA CELSIA SAS – Via A. Di Dio, 109 – 28877 ORNAVASSO (VB) – Tel. 0323/837368 – Fax 0323/836182 – Dal 1974 progettazione, produzione e vendita di contatti elettrici sinterizzati ed affini, materiali sinterizzati da metallurgia delle polveri, connessioni flessibili e particolari vari, annessi per interruttori, commutatori, sezionatori per tutte

le apparecchiature elettromeccaniche di potenza e trasmissione dell'energia.

LUCCHINI RS S.p.A. – Via G. Paglia, 45 – 24065 LOVERE (BG) – Tel. 035/963562 – Fax 035/963552 – E-mail: rollinstock@lucchini.it – www.lucchini.it – Materiale rotabile per trasporti ferroviari urbani, suburbani e metropolitani; ruote cerchiate; ruote elastiche; ruote monoblocco; assili; cerchioni; boccole; sale montate da carro, carrozza e locomotiva completa di componenti; cuori fusi al manganese per scambi ferroviari – Riparazione e ripristino di sale montate con sostituzione di ruote e cerchioni – Revisione e collaudo di altri componenti.

MARINI IMPIANTI INDUSTRIALI S.p.A. – Via A. Chiarucci, 1 – 04012 CISTERNA DI LATINA – Tel. 06/96871088 – Fax 06/96884109 – E-mail: info@mariniimpianti.it – www.mariniimpianti.it – Registratori Cronologici di Eventi (RCE) – Monitoraggio della temperatura delle rotaie (UMTR) – Apparecchiature di diagnostica centralizzate degli impianti di Segnalamento di linea e di stazione (SDC) – Sistemi di supervisione – Strumenti di misura per sotto stazioni – Rilevatore differenziale per segnali luminosi alti a commutazione statica SDO – Generatore di alimentazione 83 Hz PSK – Progettazione ed installazione degli impianti.

MATISA S.p.A. – Via Ardeatina, km. 21 – Loc. S. Palomba – 00040 POMEZIA (ROMA) – Tel. 06/918291 – Telefax 06/91984574 – E-mail: matisa@matisa.it – Vagliatrici, rinalzatrici, profilatrici, veicoli di servizio per infrastruttura e catenaria, drasine di misura della geometria del binario, treni di costruzione nuovo binario, incavigliatrici, foratrasverse, forarotaie, apparecchiatura di controllo, segarotaie, gruppi rinalzatrici a lame vibranti.

MICROELETRICA SCIENTIFICA S.p.A. – Via Lucania, 2 – 20090 BUCCINASCO (MI) – Tel. +39/02/575731 – E-mail: info.MIL@microelettrica.com – www.microelettrica.com – Applicazioni Bordo Veicolo ed Industriali di: – Contattori e Sezionatori fino a 4.000V ca/cc – Interruttori Extrarapidi in fino a 4.000V e 10.000A in cc – Relè di protezione ca/cc – Trasduttori e Sistema di Misura – Resistenze di frenatura, MAT del neutro, filtri e banchi di carico – Metering, Sistemi di misura in Tensione e Corrente, Misura dell'Energia a bordo veicolo secondo norma EN50463 – Unità Funzionali e Box integrati – Ventilatori Assiali e Ventilatori Centrifughi.

MONT-ELE S.r.l. – Via Cavera, 21 – 20034 GIUSSANO (MI) – Tel. 0362/850422 – Fax 0362/851555 – E-mail: mont-ele@mont-ele.it – www.mont-ele.it – Ingegneria di sottostazioni di conversione e di sottostazioni di alimentazione sistemi A.V. 25 kV – Produzione di quadri innovativi, alimentatori, raddrizzatori, sezionatori bipolari, quadri filtri, quadri misure – Produzione commutatori 3600 V 3000 A, sezionatori bipolari 3000 A, trasduttori di corrente, quadri di sezionamento 25 kV (52 kW) e sezionatori di alta tensione – Realizzazione di impianti, sottostazioni fisse e mobili lato alternata e continua.

MOSDORFER RAIL S.r.l. – Sede operativa: Via Achille Grandi, 46 – 20017 RHO (MI) – Tel. +39 02/64088142 – E-mail: inforail.it@mosdorfer.com – Sviluppo e produzione di componenti T.E. per la linea di contatto ferroviaria e tramviaria: TENSOREX C+, sospensioni in alluminio ed acciaio, isolatori compositi, dispositivi di messa a terra, morsetti in CuNiSi, in bronzo/alluminio ed acciaio forgiato. MOSDORFER RAIL S.r.l. fa parte della Multinazionale austriaca KNILL GROUP, leader mondiale nella progettazione, produzione e fornitura di morsetteria per linee di trasmissione ad alta tensione.

ORA ELETTRICA S.r.l. a socio unico – Sede legale: Corso XXII Marzo, 4 – 20135 MILANO – Sede operativa: Via Filanda, 12 – 20010 CORNAREDO (MI) – Tel. +39/02/93563308 – Fax +39/02/93560033 – E-mail: info@ora-elettrica.com – www.ora-elettrica.com – Progettazione, produzione, commercializzazione, installazione e manutenzione di apparecchiature elettroniche specifiche per la gestione del tempo: centrali orarie controllate via DCF e GPS, NTP server, sistemi di supervisione, orologi analogici e digitali (per interni ed esterni), orologi da pensilina, orologi monumentali da facciata, RCE Registratori Cronologici di Eventi, sistemi integrati per il controllo degli accessi veicolari e pedonali, sistemi TVPL, TVCC, sistemi di rilevamento presenze certificati SAP.

PANDROL S.r.l. – Via De Capitani, 14/16 – 20864 AGRATE BRIANZA (MB) – Tel. +39/039/9080007/ +39/039/9153752 – E-mail: info.it@pandrol.com – www.pandrol.com – Sistemi di attacco ferroviari per traverse in calcestruzzo armato e precompresso.

PISANI S.r.l. – Via Vilfredo Pareto, 20 – 27058 VOGHERA (PV) – Tel. +39/347/4318990 – E-mail: giorgio@pisani.eu – Sistemi informatizzati, non invasivi di monitoraggio e certificazione dei processi di realizzazione e controllo in esercizio della lunga rotaia saldata e della posizione piano altimetrica del binario.

PLASSER ITALIANA S.r.l. – Via del Fontanaccio, 1 – 00049 VELLETRI (ROMA) – Tel. 06/9610111 – Fax 06/9626155 – E-mail: info@plasser.it – www.plasser.it – Commercializzazione, riparazione e manutenzione di macchine per la costruzione e la manutenzione del binario ferroviario – Risanatrici, rinalzatrici, profilatrici, stabilizzatrici dinamiche, vetture di rilevamento e sistemi per la diagnostica del binario e della linea di contatto, saldatrici mobili per rotaie, autocarrelli con gru e piattaforme, autocarrelli per tesatura frenata linee di contatto, carrelli portabobine, dispositivi per video-ispezione linee ferroviarie e binario, rappresentanza attrezzature Robel.

POSEICO S.p.A. – Via Pillea, 42-44 – 16153 GENOVA – Tel. 010/8599400 – Fax 010/8682006-010/8681180 – E-mail: semicond@poseico.com – www.poseico.com – Dispositivi a semiconduttori di potenza (Diodi, Tiristori, GTO's, IGBT Press-pack, ecc.) – Dissipatori ad acqua per il raffreddamento di dispositivi di potenza sia press-pack che moduli – 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.

SCHUNK CARBON TECHNOLOGY S.r.l. – Via Romolo Murri, 22/28 – 20013 MAGENTA (MI) – Tel. 02/972190-1 – Fax 02/97291467 – E-mail: info@schunkitalia.it – www.schunk-group.com – Spazzole, portaspazzole, pantografi, striscianti, dispositivi di messa a terra, prese di corrente laterale, sistemi ungiabordo, dispositivi di protezione corrente parassite, ricambi.

S.I.D.O.N.I.O. S.p.A. – Via IV Novembre, 51 – 27023 CAS-SOLNOVO (PV) – Tel. 0381/92197 – Fax 0381/928414 – E-mail: sidonio@sidonio.it – Impianti di sicurezza e segnalamento ferroviario – Impianti di elettrificazione ed illuminazione (linee BT/MT) – Opere stradali e ferroviarie – Scavi, demolizioni e costruzioni murarie – Impianti di telecomunicazione.

SIRTEL S.r.l. – Via Taranto, 87A/10 – 74015 MARTINA FRANCA (TA) – Tel. 080/4834959 – E-mail: info@sirtelsrl.it – www.sirtelsrl.it – Lanterne portatili ricaricabili ad uso ferrotranviario con luce principale LED e segnalazione posteriore con corone LED ad elevata luminosità (fino a 3 diversi colori sulla stessa lanterna).

SITE S.p.A. – Divisione Trasporti – Via della Chimica, 3 – 40064 OZZANO DELL'EMILIA (BO) – Tel. 051/794820 – E-mail: site@sitespa.it – www.sitespa.it/railways – IMPIANTI DI 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, Apparat Centrali Elettrici a Itinerari, etc. – Manutenzione, formazione e assistenza tecnica – RETI & SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONI: Progettazione e realizzazione di reti Wireline e Wireless, di reti GSM-R e di sistemi SDH – Progettazione, fornitura, installazione, integrazione e messa in servizio di sistemi di: Informazione al Pubblico, Videosorveglianza, Supervisione per la sicurezza e la manutenzione, telefonia selettiva, Bigliettazione, etc. – Manutenzione, Formazione e assistenza tecnica – MESSA IN SICUREZZA GALLERIE: Progettazione layout impianti di Messa in Sicurezza delle Gallerie – Realizzazione di impianti per la copertura radio, il rilevamento e spegnimento incendi, la telefonia d'emergenza, diffusione sonora d'emergenza, illuminazione d'emergenza, etc.

SPII S.p.A. – Via Don Volpi, 37 angolo Via Montoli – 21047 SARONNO (VA) – Tel. 02/9622921 – Fax 02/9609611 – www.spii.it – info@spii.it – Temporizzatori elettromeccanici, multifunzione e digitali – Programmatori elettromeccanici, multifunzionali e digitali – Microinterruttori ed elementi di contatto di potenza – Elettromagneti – Relè di potenza e ausiliari – Relè di controllo tensione frequenza e corrente – Teleruttori per c.a. e per c.c., per bassa ed alta tensione – Sezionatori – Motori e motoriduttori frazionari in c.c. – Connettori – Dispositivi di interblocco multiplo a chiave – Combinatori e manipolatori – Equipaggiamenti integrati completi per la trazione pesante e leggera.

SUPERUTENSILI S.r.l. – Via A. Del Pollaiuolo, 14 – 50142 FIRENZE – Tel. 055/717457 – Fax 055/7130576 – Forniture ferrotranviarie: filtri e pannelli filtranti, utensili, macchinari, strumenti di misurazione, rimozione graffiti, certificazioni CE e rimessa a norma macchinari, grassi e lubrificanti.

TECNEL SYSTEM S.p.A. – Via Brunico, 15 – 20126 MILANO – Tel. 02/2578803 r.a. – Fax 02/27001038 – E-mail: tecnel@tecnelsystem.it – www.tecnelsystem.it – Pulsanti – Interruttori – Selettori – Segnalatori serie SWT04 per banchi manovra – Segnalatori a LED serie SI 30 – Pulsanti apertura/chiusura porte serie 56 e 57 – Pulsanti mancorrente richiesta fermata serie SWT84 – Pulsanti ed interruttori antivandalo - Sistemi di comando e protezione porte – Avvisatori ottici ed acustici – Sirene – Temporizzatori – Sensori movimento/presenza apertura porte – Pressacavi AGRO in materiale sintetico, ottone nichelato, acciaio inox – Guaina aperta autoavvolgente AGROsnap.

TEKFER S.r.l. – Via Gorizia, 43 – 10092 BEINASCO (TO) – Tel. 011/0712426 – Fax 011/0620580 – E-mail: segreteria@tekfer.com – www.tekfer.com – Sistemi per impianti di sicurezza e segnalamento – Apparecchiature per il blocco automatico – INFILL – Codificatori statici – Relè elettronici (TR, HR, DR, relè a disco e altri) – Prodotti per 83,3 Hz (generatori di potenza fino a 15 kVA, filtri e rifasatori) – Telecomandi in sicurezza – Diagnostica impianti – Progettazione e installazione impianti.

THERMIT ITALIANA S.r.l. – Via Sirtori, 11 – 20017 RHO (MI) – Tel. 02/93180932 – Fax 02/93501212 – Materiali ed attrezzature per la saldatura alluminotermica delle rotaie.

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 rinalzata del binario e di compattamento della massicciata.

VOESTALPINE RAILWAY SYSTEMS GMBH – Sales Office Italia – Via Alessandria, 91 – 00198 ROMA – Tel. 06/84241106 – Fax 06/96037869 – E-mail: Railwaysystems-Italia@voestalpine.com – www.voestalpine.com/railway-systems – Scambi ferroviari A.V., apparecchi di binario convenzionali e tranviari, cuscinetti autolubrificanti, piastre per controrotaia, casse di manovra ferroviarie e tranviarie – Sistemi diagnostici e monitoraggio per scambi e materiale rotabile – Rotaie Vignole, a gola, consulenza saldature, analisi LCC e service (rilievi usura e difettosità, fresatura profili in loco).

E Impianti di aspirazione e di depurazione aria

F Prodotti chimici ed affini

G Articoli di gomma, plastica e vari

FLUORTEN S.r.l. – Via Cercone, 34 – 24060 CASTELLI CALEPIO (BG) – Tel. 035/4425115 – Fax 035/848496 – E-mail: fluorten@fluorten.com – www.fluorten.com – Semilavorati e prodotti finiti in PTFE e RULON® per industria meccanica, chimica, elettrica ed elettronica – Progettazione, costruzione stampi e stampaggio tecnopolimeri – Esclusivista Du Pont per l'Italia di semilavorati e finiti in Du Pont™ VESPEL®. Produzione di piastre in PTFE Certificate dal Politecnico di Milano a norma EN 1337-2. Certificazione sistema di gestione qualità per il settore aerospaziale EN 9100:2009 Certificate n. 5695/0. Certificazione sistema di gestione qualità ISO 9001:2008 Certificate n. 21. Certificazione sistema di gestione ambientale ISO 14001:2004 Certificate n. 27.

KRAIBURG STRAIL GmbH & Co. KG – Goellstrasse, 8 – D-84529 TITTMONING (Germania) – Tel. +49(8683)701-151 – Fax +49(8683)701-45151 – www.strail.com – STRAIL sistemi di attraversamenti a raso & STRAILastic sistemi di isolamento per rotaie – Goellstrasse, 8 – D 84529 TITTMONING – Tel. +39/392/9503894 – Fax +39/02/87151370 – E-mail: tommaso.sa.vi@strail.it – www.strail.it – Sistemi modulari in gomma vulcanizzata per attraversamenti a raso STRAIL, innoSTRAIL, pedeSTRAIL, pontiSTRAIL – Moduli esterni per i carichi più pesanti – veloSTRAIL – Moduli interni che eliminano la gola – Per tutti i tipi di traffico, strade e armamento (anche per ponti, scambi, gallerie, curve, impianti industriali) – Dispositivi elastici per la riduzione del rumore, delle vibrazioni oltre che per l'isolamento elettrico del binario – STRAILastic_P, STRAILastic_S, STRAILastic_R, STRAILastic_K, STRAILastic_DUO, STRAILastic_USM ed infine STRAILastic_A costituiscono la gamma completa di questa nuova linea.

PANTECNICA S.p.A. – Via Magenta, 77/14A – 20017 RHO (MI) – Tel. 02/93261020 – Fax 02/93261090 – E-mail: info@pantecnica.it – www.pantecnica.it – Sistemi antivibranti per materiale rotabile e per armamento ferrotranviario – Completa gamma di guarnizioni per tenuta fluidi – Certificata ISO 9001:2015 e EN 9120:2018 – Fornitore Trenitalia.

PLASTIROMA S.R.L. – VIA PALOMBARESE, km 19,100 – 00012 GUIDONIA MONTECELIO (ROMA) – Tel. 0774/367431-32 – Fax 0774/367433 – E-mail: info@plastiroma.it – www.plastiroma.it – Morsetterie, contropiastre,

cassette per C.D.B., materiale isolante per C.D.B., segnali bassi di manovra, segnali alti di chiamata, shunt, componenti in materiale plastico per relè FS, progettazione di articoli tecnici.

H Rilievi e progettazione opere pubbliche

ABATE dott. ing. Giovanni – Via Piedicavallo, 14 – 10145 TORINO – Tel./Fax 011/755161 – Cell. 335/6270915 – E-mail: abateing@libero.it – Armamento ferroviario – Progettazione e direzione lavori di linee ferroviarie, metropolitane e tranviarie – Armamento ferroviario e linee per trazione elettrica – Redazione di progetti costruttivi preliminari e definitivi comprensivo dei piani di sicurezza e di coordinamento sia in fase di progettazione che in fase di esecuzione per raccordi industriali – Rilievi e tracciamenti finalizzati alla progettazione di linee ed impianti ferroviari.

ARMAMENTO FERROVIARIO – Ing. Marino CINQUEPALMI – Tel. 347/6766033 – E-mail: info@armamentoferroviario.com – www.armamentoferroviario.com – Rilievo dello stato dei luoghi con restituzione cartografica in coordinate rettilinee assolute e relative – Progettazione preliminare, definitiva, esecutiva, costruttiva dell'armamento in coordinate rettilinee assolute e relative – Redazione, valutazione computi metrici estimativi armamento – Redazione, valutazione fabbisogno materiali armamento – Redazione piani di manutenzione armamento – Redazione piani della qualità per lavori d'armamento – Correzione delle curve su base relativa con il metodo Hallade – Analisi di adeguamento delle infrastrutture ferroviarie alle STI "Infrastruttura" – Analisi di velocizzazione delle linee ferroviarie – Studi di fattibilità per nuove linee ferroviarie e stazioni – Project Management nei progetti di infrastrutture ferroviarie.

ISiFer S.r.l. – Sede legale: Via Mazzini, 15 – 80053 CASTELLAMMARE DI STABIA (NA) – Sede operativa: Via Gorizia, 1 – CICCIANO (NA) – Tel. 081/5741055 – Fax 081/5746835 – E-mail: segreteria@isifer.com – info@isifer.com – www.isifer.com – Azienda di ingegneria specializzata nel settore ferroviario con particolare riferimento alle attività di Concezione, Progettazione, Realizzazione, Verifica, Validazione, Collaudo, Messa in Servizio, Diagnostica e Manutenzione.

PRISMA ENGINEERING S.r.l. – Via Villa Lidia, 45 – 16014 CERANESI (GE) – Tel./Fax 010/7172078 – E-mail: nadia.barbagelata@prismaengineering.net – www.prismaengineering.net – Impianti di segnalamento ferroviario – Realizzazione Progetti di Fattibilità, Definitivi, Esecutivi e Costruttivi di impianti IS (ACEI-ACC-ACCM-SCMT-ERT-MS_L2) – Realizzazioni di Verifiche e Validazioni dei progetti comprese prove di campo.

I Trattamenti e depurazione delle acque

L Articoli e dispositivi per la sicurezza sul lavoro

SCHWEIZER ELECTRONIC S.r.l. (SEIT) – Sede Centrale: Via Santa Croce, 1 – 20122 MILANO – Tel. +39/02/89426332 – Fax +39/02/83242507 – E-mail: franco.pedrinazzi@schweizer-electronic.com – www.schweizer-electronic.com – **Sede legale: Via Gustavo Modena, 24 – 20129 Milano** – Sistemi di Sicurezza Protezione Cantieri (SAPC) e può fornire servizio chiavi in mano, di protezione cantieri con SAPC “Sistema Minimel 95”, comprensivo di: Progettazione, installazione, formazione del personale, disinstallazione, manutenzione ed a richiesta gestione del SAPC in cantiere con proprio personale – Sistemi di segnalamento fisso, Minimel, ISP, che integrano le parti mobili di SAPC Minimel 95 nel segnalamento esistente – Sistemi di comunicazione nell’ambito della sicurezza ad alto contenuto tecnologico.

M Tessuti, vestiario, copertoni impermeabili e manufatti vari

N Vetrofanie, targhette e decalcomanie

O Formazione

TRAINing S.r.l. – Via Sommacampagna, 63H – 37137 VERONA – Tel. 045/511 82 58 – E-mail: info@trainingsrl.it – www.trainingsrl.it – Facebook, LinkedIn e Instagram: trainingsrl – TRAINing assicura formazione per le attività di sicurezza e consulenza per il settore ferroviario. Il proprio Centro di Formazione, riconosciuto dalle National Safety Authorities in Italia (2012) e in Austria (2021), assicura la formazione mirata al conseguimento e al mantenimento delle abilitazioni per la Condotta, l’Accompagnamento e la Preparazione dei Treni, formazione per specialisti, (professional e/o manager) sull’organizzazione, sulla tecnica ferroviaria e sulla normativa di settore. TRAINing svolge altresì servizi di consulenza per lo sviluppo e l’aggiornamento dei Sistemi di Gestione della Sicurezza (SGS) ed assicura la fornitura ed il costante aggiornamento dei manuali di mestiere per le attività di sicurezza. Maggiori informazioni

si possono ottenere consultando il sito o richiedendole espressamente a TRAINing a mezzo mail o call center.

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.

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 fidejussori 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 Febbraio 2025

ALTA PRESTAZIONE | PRECISIONE | AFFIDABILITÀ

Plasser Italiana



UNIMAT 09-4X8/4S DYNAMIC: Un'unica macchina, molteplici soluzioni.

La versatilità della rinalzatrice da linea e scambi più completa, unita all'essenzialità della stabilizzatrice dinamica integrata. Per una lavorazione veloce, perfetta e sicura, con il supporto di tutta la tecnologia P&T.



MACHINE

plassertheurer.com    

"Plasser & Theurer", "Plasser" e "P&T" sono marchi registrati a livello internazionale.

IL CIFI PRESENTA UNA NUOVA PUBBLICAZIONE



Intero € 120,00
Soci CIFI € 96,00

Architettura Ferroviaria

Progetti di fabbricati civili e industriali in Italia dall'Ottocento all'alta velocità

Massimo Gerlini - Paolo Mori - Raffaello Paiella



PER INFO E PRENOTAZIONI

info@cifi.it 

+39 - 064742986 - 064882129 

