ADVANCING PUBLIC TRANSPORT

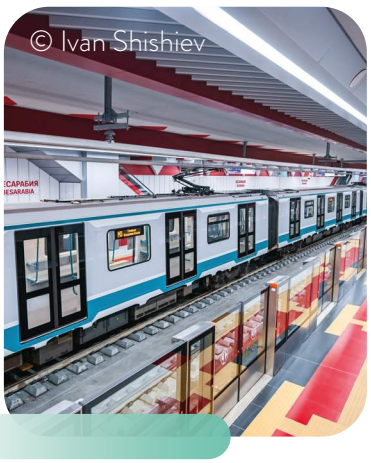
NEXUS

→ Project Insights

NEXUS



© Ivan Shishiev


© Ivan Shishiev

Scopo di questo Project Insight

Il presente Project Insight riassume i punti salienti del progetto NEXUS, offrendo una panoramica completa dei suoi elementi principali, delle soluzioni e del loro impatto.

International Association of Public Transport (UITP)
Rue Sainte-Marie, 6 | B-1080 Brussels | Belgium

Tel: +32 2 673 61 00
info@uitp.org
www.uitp.org

© UITP – International Association of Public Transport, 2026

All rights reserved / No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means without the written permission of the International Association of Public Transport

INDICE

04
Introduzione e contesto

05 Analisi dettagliata delle soluzioni
06 Il punto di vista degli operatori

07
Una metropolitana più adattabile e flessibile

09 Concetto di veicolo del futuro
13 Controllo dei treni del futuro
15 Applicazioni IA per le metropolitane del futuro
17 Cybersecurity e IA affidabile

18
Caso d'uso dell'IA: Rilevamento dei rifiuti, ...

19 Il punto di vista degli operatori: Le metropolitane del futuro
20 I risultati utilizzabili di NEXUS in sintesi
21 Benefici: Società, sostenibilità, ...
22 Conclusioni e ringraziamenti

23
Scheda del progetto NEXUS

Introduzione e contesto

Le metropolitane sono fondamentali per una mobilità urbana sostenibile, ma devono affrontare sfide crescenti dovute, tra gli altri fattori, a flussi di traffico variabili, aspettative ed esigenze dei passeggeri in continua evoluzione, carenza di personale e vincoli finanziari.

L'esercizio tradizionale delle metropolitane si basa su una domanda prevedibile e su una pianificazione rigida delle risorse, il che ne limita la capacità di adattamento in un contesto in rapido cambiamento come quello attuale. Con l'evoluzione dei comportamenti dei passeggeri, le metropolitane devono evolvere grazie all'automazione, alla digitalizzazione, all'Intelligenza Artificiale (IA) e alla data science. Sebbene politiche come l'European Green Deal su uno spostamento modale verso il trasporto pubblico, poche ricerche hanno esplorato come le metropolitane possano sfruttare appieno le tecnologie emergenti, trasformandole in un potente strumento per migliorare la qualità del servizio.

Il progetto NEXUS colma questa lacuna ripensando la metropolitana del futuro attraverso l'innovazione e un'integrazione tecnologica avanzata. Ciò avviene tramite dimostrazioni reali a Genova, in Italia, e a Sofia, in Bulgaria, e grazie al coinvolgimento attivo di stakeholder provenienti da tutta Europa e non solo. Il progetto analizza come le metropolitane possano migliorare efficienza, sostenibilità, resilienza e attrattività per i passeggeri, sostenendo al tempo stesso la transizione digitale e green dell'Europa. NEXUS adotta un quadro complessivo articolato in tre Workstream (WS) interconnessi.

- Il WS1 si concentra sull'acquisizione di una conoscenza più approfondita dei comportamenti di viaggio e delle condizioni in tempo reale, a partire dalle esperienze dirette di operatori e passeggeri; inoltre, il WS1 punta a migliorare la flessibilità e l'adattabilità dei servizi metropolitani alla domanda variabile, ottimizzando personale, risorse ed esperienza dei passeggeri attraverso soluzioni predittive e incentrate sull'utente.
- Il WS2 studia il futuro dei sistemi di controllo dei treni, tra cui il controllo basato sulla comunicazione (CBTC) e la guida automatica dei treni (ATO), immaginando sistemi completamente automatizzati, sicuri e affidabili che integrino informazione ai passeggeri, programmazione della manutenzione e analisi dei dati operativi.
- Il WS3 integra IA e data science per rendere possibili innovazioni economicamente vantaggiose come la manutenzione predittiva, la previsione della domanda, la gestione delle perturbazioni del servizio e la protezione dalle minacce informatiche, garantendo così un'implementazione fluida di soluzioni metropolitane intelligenti e autonome.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

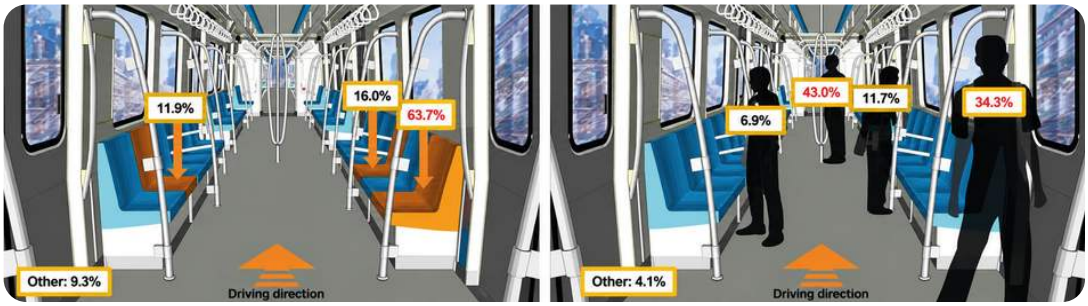
Un'analisi dettagliata delle soluzioni proposte dal progetto NEXUS, che offre indicazioni sui costi e benefici economici e finanziari, insieme a un'approfondita analisi di sostenibilità, è parte integrante delle attività di progetto e rafforza la capacità del progetto di essere uno strumento di supporto decisionale per gli operatori di metropolitane nell'accelerare l'adozione delle soluzioni studiate.

Rispondere a esigenze e requisiti

Per comprendere a fondo i requisiti di passeggeri e operatori, nonché l'evoluzione tecnologica futura, nell'ambito del progetto NEXUS sono state condotte tre indagini. Un'indagine rivolta ai passeggeri, portata avanti in diverse città europee, ha raccolto quasi 900 risposte, mentre due indagini rivolte agli operatori hanno coinvolto operatori di metropolitane di quattro continenti su temi che spaziano dall'automazione e dall'adozione dell'IA alla preparazione organizzativa e all'efficienza energetica.

Il punto di vista dei passeggeri

I passeggeri sottolineano costantemente il ruolo cruciale delle informazioni in tempo reale e adeguate al contesto, soprattutto in caso di perturbazioni del servizio o in ambienti poco familiari. I messaggi statici sono spesso considerati inadeguati, mentre i passeggeri apprezzano sistemi che favoriscono decisioni informate, come le indicazioni sull'affollamento delle carrozze. Il design degli interni, con visuali libere e sedute flessibili, risulta fondamentale per garantire comfort, sicurezza e ottimizzazione dei flussi. La fiducia nelle metropolitane automatiche è generalmente alta, ma sono emerse anche preoccupazioni per l'assenza di personale in caso di emergenza, che evidenziano la necessità di misure di sicurezza visibili e di una comunicazione trasparente e
chiara in caso di problemi. L'importanza di un design inclusivo e di messaggi mirati è condivisa da quasi tutti i gruppi demografici coinvolti nell'indagine.



→ Figura 1: Posizione preferita a bordo (indagine passeggeri)

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union



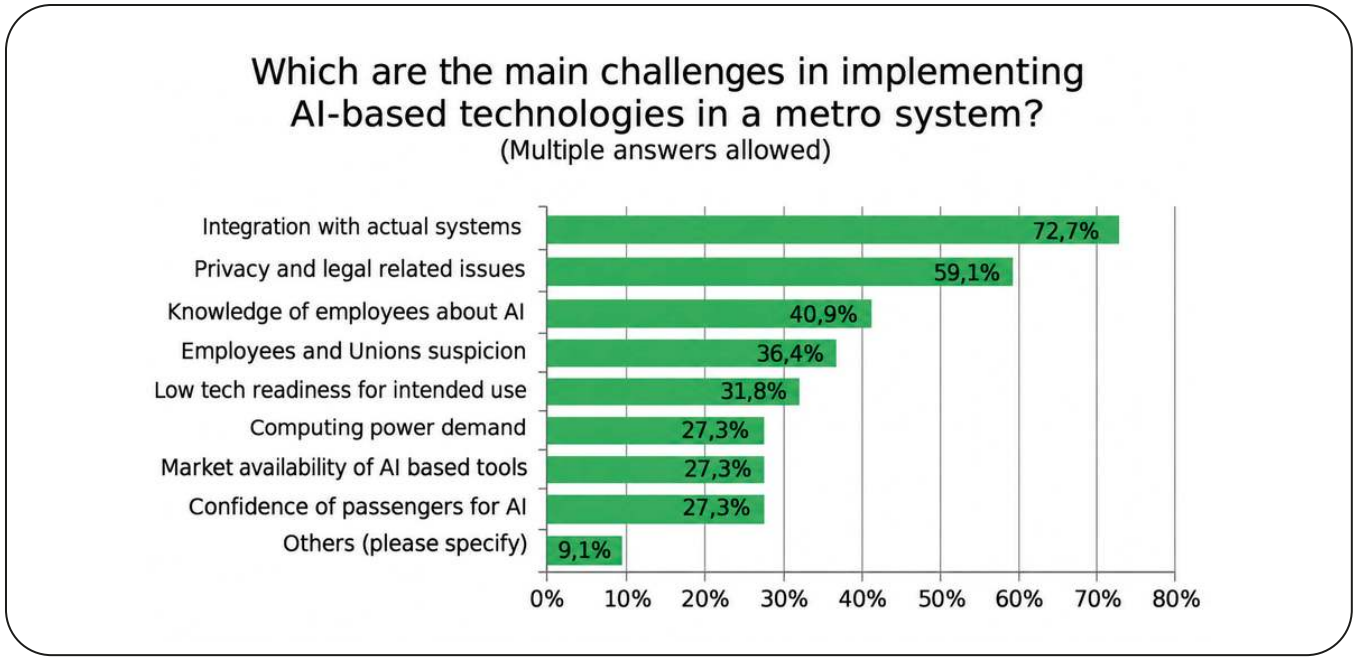
→ Figura 2: Posizione di attesa preferita sulla banchina (indagine passeggeri)

Il punto di vista degli operatori

Dal lato degli operatori, l'automazione è ampiamente considerata vantaggiosa, anche se la sua attuazione dipende in larga misura dai modelli di governance, dalla maturità tecnica e dai vincoli di finanziamento, per citare tre dei fattori principali. Sebbene molte delle organizzazioni coinvolte nell'indagine aspirino a un Grado di Automazione più elevato, permangono preoccupazioni riguardo alla transizione della forza lavoro, alla complessità dei sistemi e alla gestione delle emergenze. L'adozione dell'IA è ancora agli inizi, ma il suo potenziale, in particolare per la manutenzione predittiva e l'informazione ai passeggeri, è ampiamente riconosciuto. L'integrazione dei dati e le questioni legate alla privacy restano ostacoli importanti alla sua piena attuazione. La cybersicurezza è una priorità urgente, soprattutto negli ambienti automatizzati, e la maggior parte degli operatori adotta standard internazionali.

In materia di innovazione, la preparazione organizzativa emerge come fattore decisivo. Gli operatori riportano modelli di governance diversi, ma la collaborazione in fase di pianificazione e le strutture ibride (che combinano una supervisione centrale con l'autonomia operativa locale) risultano efficaci. Protocolli di sicurezza, comunicazione gerarchica e processi decisionali formalizzati sono ampiamente diffusi. Inoltre, le iniziative di manutenzione predittiva e di efficienza energetica sono sempre più applicate, anche se in alcuni casi limitate dai costi e dai sistemi esistenti. In particolare, alcuni operatori hanno registrato miglioramenti misurabili quando le tecnologie sono state integrate in modo sistematico.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union



→ Figura 3: Principali sfide nell'adozione di tecnologie basate sull'IA nei sistemi metropolitani (indagine operatori)

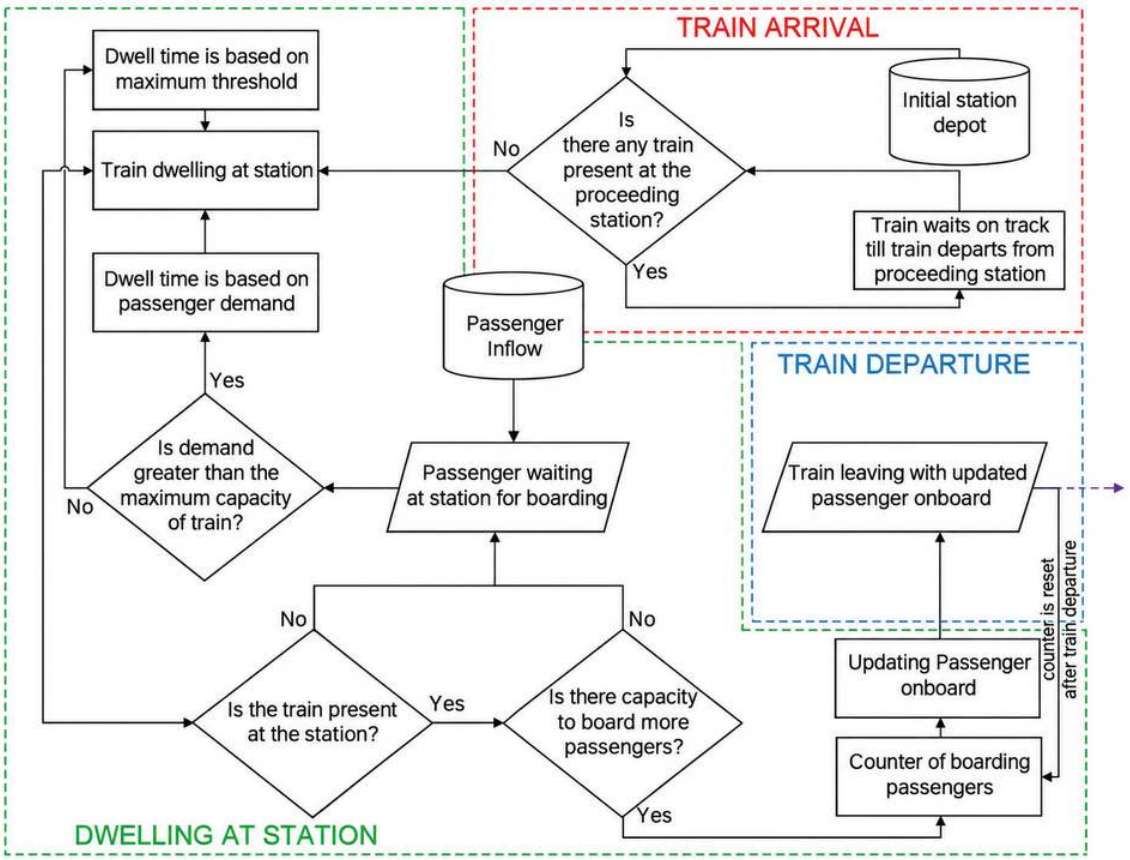
Una metropolitana più adattabile e flessibile

NEXUS si è concentrato sullo sviluppo di modelli di simulazione avanzati per comprendere meglio il funzionamento reale dei sistemi metro e come migliorarne le prestazioni. Utilizzando dati reali forniti dagli operatori, è stata creata una rappresentazione digitale (digital twin) di alcune reti e stazioni metropolitane.
Il quadro di modellazione combina due livelli di analisi complementari. A livello di rete, i modelli riproducono i movimenti dei treni, la frequenza del servizio, i distanziamenti, i tempi di viaggio e la capacità del materiale rotabile. A livello di stazione, simulano in dettaglio il comportamento dei passeggeri, compresi gli arrivi, le salite/discese, l'occupazione delle banchine, la circolazione verticale (scale, scale mobili, ascensori) e il congestionamento degli spazi.

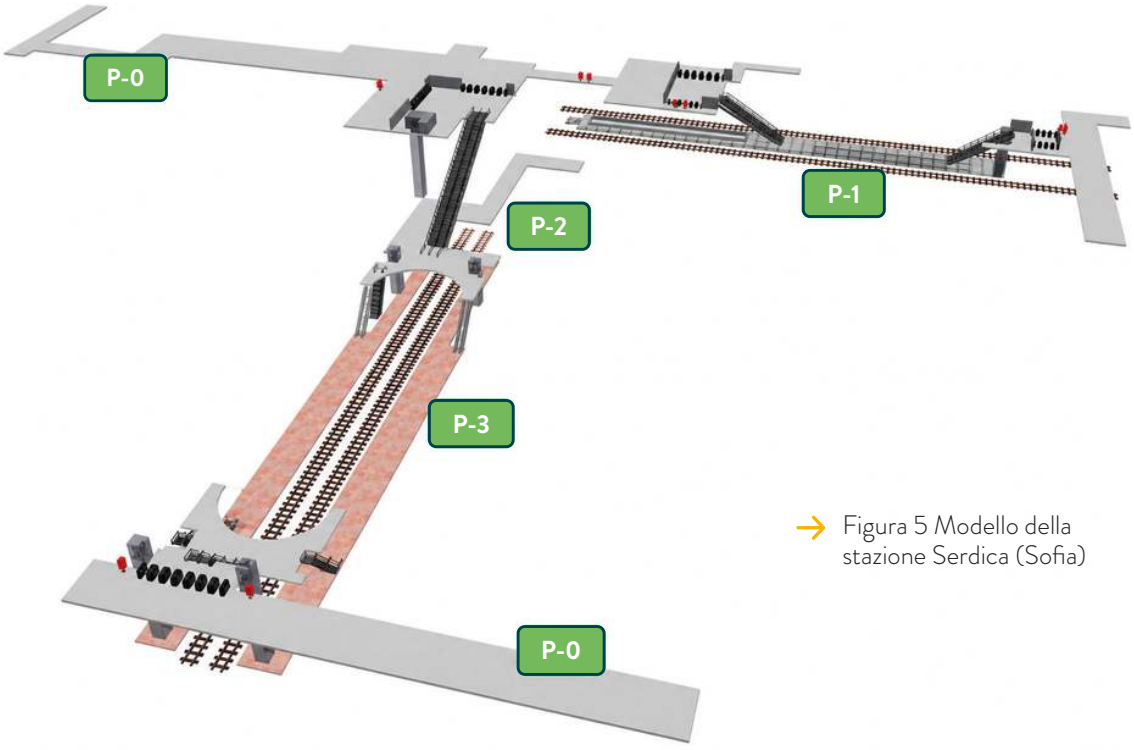
Una parte fondamentale del lavoro è stata la calibrazione e la validazione. Dati storici come i conteggi dei passeggeri, le matrici origine–destinazione, i tempi di sosta e gli orari dei treni sono stati utilizzati per regolare i parametri dei modelli, in modo che i risultati simulati corrispondessero fedelmente alle condizioni osservate. Indicatori di prestazione come i tempi di attesa, i livelli di occupazione dei treni, la distribuzione dei passeggeri lungo le banchine e le aree aree piu' sovraffollate sono stati confrontati con misurazioni reali. Questo processo di calibrazione costante ha garantito che i modelli riflettano in modo affidabile il comportamento effettivo del sistema.

Il risultato finale è quindi un ambiente di simulazione digitale solido e flessibile, in grado di riprodurre le reali condizioni operative e di testare configurazioni di servizio alternative o futuri scenari di automazione in modo sicuro e controllato, a supporto di decisioni informate da parte degli operatori. La logica alla base del modello di simulazione NEXUS è rappresentata nel diagramma (figura 4), mentre la figura 5 illustra il digital twin delle stazioni Serdica di Sofia e De Ferrari di Genova, scelte proprio per la loro complessità e per i volumi di passeggeri.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

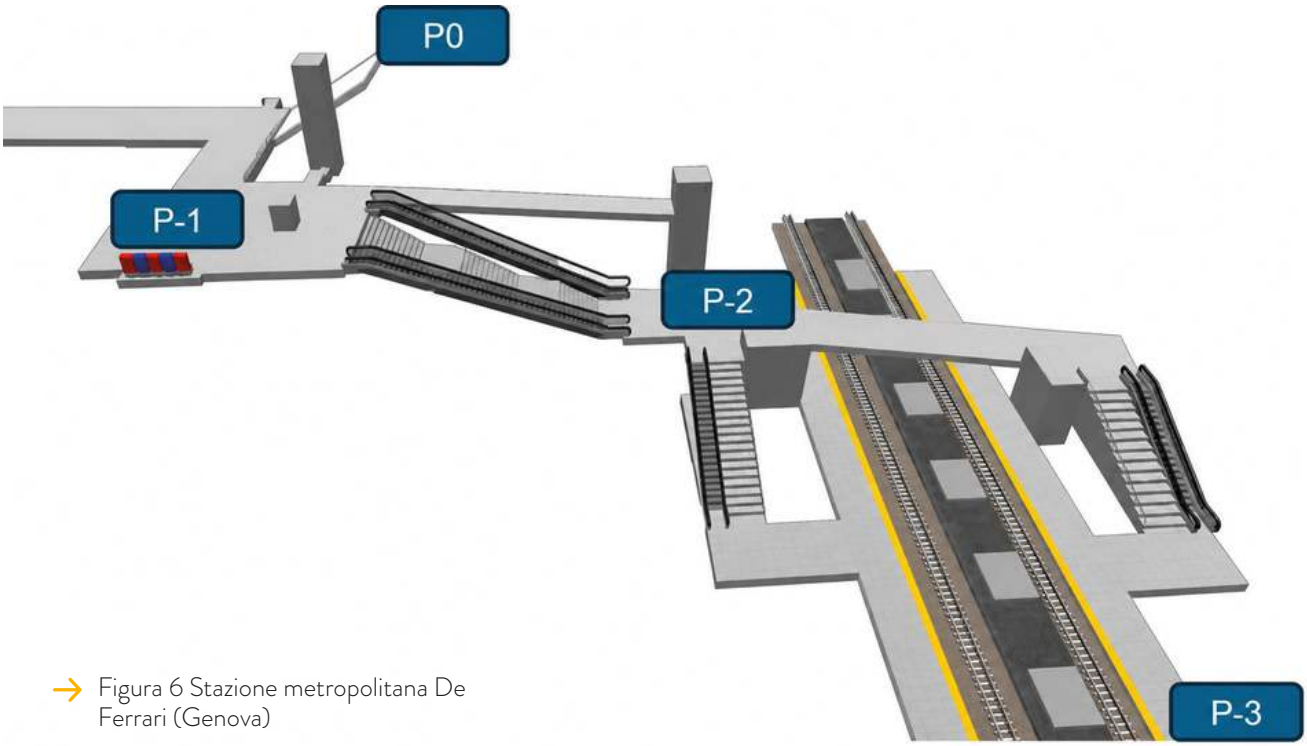


→ Figura 4 Logica dei modelli di rete metropolitana



→ Figura 5 Modello della stazione Serdica (Sofia)

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union



→ Figura 6 Stazione metropolitana De Ferrari (Genova)

Confronto dei modelli di stazione metropolitana in base al tempo di viaggio

	Genova, Italy	Sofia, Bulgaria				MAPE
	Linea 1	Linea 1	Linea 2	Linea 3	Linea 4	
Osservato	17,98	32,42	24,42	24,17	44,42	/
Simul8	18,00	32,57	24,42	24,17	44,42	0,10 %
AnyLogic	18,06	32,38	24,40	20,15	44,37	3,01 %
ExtendSim	23,02	32,38	24,27	24,58	45,02	10,22 %

Il concept del treno del futuro

L'ottimizzazione dei veicoli è uno dei pilastri del progetto NEXUS. Sono stati sviluppati miglioramenti al design degli interni dei treni per migliorare l'esperienza degli utenti, l'accessibilità e il comfort e per rendere più scorrevole il flusso dei passeggeri. Un aspetto centrale è stato l'interazione del passeggero con gli interni del veicolo durante l'intero viaggio, dalla salita alla discesa, compresa la gestione dei bagagli.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

I concept sono stati sviluppati Il lavoro di miglioramnto dell'interior design dei veicoli e' stato sviluppato per le città caso di studio, Genova e Sofia, e infine completato da un "concept generico" applicabile a qualsiasi città. Sono stati considerati sei fattori chiave: layout interno, aree speciali, porte, sistemi di informazione, ambiente interno e design esterno. I requisiti di passeggeri e operatori raccolti durante il primo anno del progetto sono stati consolidati in un catalogo strutturato.

I nuovi veicoli i veicoli metropolitani sono stati progettati Insieme agli operatori delle metropolitane di Genova e Sofia, analizzando la conformazione delle due reti (dimensioni delle banchine, gallerie, sagoma, pendenze). Sulla base dei contributi dei precedentemente raccolti dai partner di NEXUS, il veicolo reinterpretato è stato concepito come completamente automatico, in linea con quella che è stata considerata la "metropolitana del futuro".

Il processo di sviluppo si è articolato in cinque cicli iterativi, ciascuno con un workshop organizzato con costruttori, operatori e associazioni di passeggeri per raccogliere indicazioni importanti sulla fattibilità reale dei risultati. Dopo ogni iterazione, il layout ottenuto è stato simulato con "TrainOptimizer*", uno strumento di simulazione dell'interscambio dei passeggeri che calcola il tempo di sosta e la capacità del veicolo.

Per Genova e Sofia, i sei fattori chiave di progettazione sono stati applicati progressivamente. Il risultato del lavoro è presentato brevemente di seguito.

- **Layout interno:** sedute longitudinali con sedili ribaltabili offrono spazio flessibile per bagagli e biciclette e capacità aggiuntiva per i passeggeri in piedi nelle ore di punta.
- **Aree speciali:** aree multifunzionali dedicate e sedili più larghi vicino alle porte migliorano l'accessibilità per specifiche categorie di utenti, ad esempio persone in sedia a rotelle, con passeggini e persone a mobilità ridotta, in linea con i requisiti della STI PRM (Specifica Tecnica di Interoperabilita` Persone con disabilità e persone a mobilità ridotta)
- **Porte:** porte più larghe e aree di attesa chiaramente delimitate riducono i tempi di sosta e favoriscono un flusso di passeggeri più scorrevole.
- **Sistemi di informazione:** i sistemi di informazione ai passeggeri, tra cui display, pannelli di chiamata e segnaletica a pavimento, guidano i passeggeri all'interno del veicolo e migliorano sicurezza e orientamento.
- **Ambiente interno:** una palette di colori rilassante, punti di contatto ben visibili, un'illuminazione uniforme e materiali facili da pulire rendono la carrozza confortevole migliorando l'accessibilita', con climatizzazione e isolamento acustico adattati alla temperatura e alle condizioni di rumore locali.
- **Design esterno:** indicatori LED dello stato delle porte, finestrini allineati alle porte di banchina e segnaletica illuminata facilitano l'orientamento e guidano le persone a mobilità ridotta verso gli spazi a loro dedicati.

*https://www.transportoptimizer.com/products/train-optimizer

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union







→ Figura 7: Concetto di veicolo ottimizzato per Genova

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union



→ Figura 8: Concetto di veicolo ottimizzato per Sofia

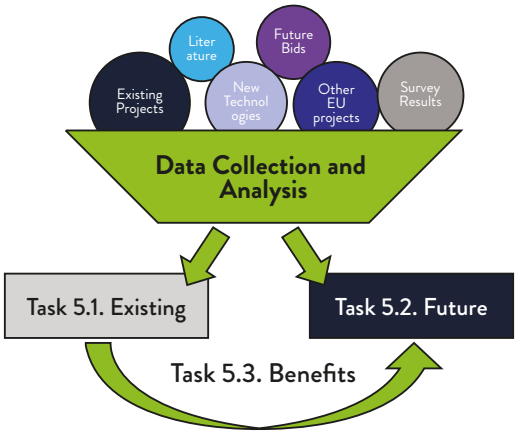
UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

Rispetto ai veicoli attualmente in servizio, i concetti ottimizzati hanno mostrato miglioramenti consistenti. A Sofia, il tempo di sosta nelle ore di punta diminuirebbe di 15 secondi (da 52 a 37 secondi) a parità di capacità. A Genova, la capacità aumenterebbe del 15% con un tempo di sosta invariato, confermando l'importanza di un design ottimizzato dei veicoli per migliorare i flussi di salita e discesa.

Il progetto fornisce indicazioni a operatori e costruttori su come potrebbe essere un ideale "concetto generico di veicolo del futuro", sulla base dei risultati della ricerca e dell'analisi delle indagini sui passeggeri svolte all'inizio del progetto. Infrastruttura, scelte di design interno, posizionamento delle porte, layout e accessibilità in linea con la STI PRM sono tra gli elementi considerati, insieme a criteri di progettazione dei componenti interni che tengano conto delle prerogative degli utenti.

Il controllo dei treni del futuro

Le metropolitane senza conducente non sono qualcosa che appartiene al futuro. Sistemi completamente automatici GoA4 servono già passeggeri in città di tutto il mondo, dimostrando elevati livelli di sicurezza, affidabilità ed efficienza operativa. La domanda non è più se l'automazione funzioni, ma come i sistemi di controllo dei treni possano diventare più adattabili, interoperabili e facili da far evolvere nel corso del loro lungo ciclo di vita.
NEXUS ha esplorato i futuri sistemi di controllo delle metropolitane attraverso uno studio di fattibilità che ha esaminato tecnologie, architetture e sviluppi industriali in grado di plasmare la prossima generazione del trasporto ferroviario urbano. Il lavoro ha combinato ricerca, analisi di progetti esistenti e contributi degli operatori metropolitani.



Lo studio di fattibilità ha individuato diverse sfide chiave. Gli attuali sistemi di controllo delle metropolitane sono spesso fortemente legati a singoli fornitori, il che rende aggiornamenti e integrazione complessi e costosi. Allo stesso tempo, gli operatori devono affrontare una crescente digitalizzazione, requisiti di cybersicurezza sempre più stringenti e la necessità di gestire volumi maggiori di dati operativi. L'automazione futura e i servizi basati sull'IA aumenteranno ulteriormente le esigenze di interoperabilità e di gestione del ciclo di vita.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

Riguardo i sistemi di segnalamento, lo studio di fattibilità ha individuato un percorso evolutivo graduale. L'architettura futura dovrebbe basarsi su componenti modulari, interfacce standardizzate e strutture di dati aperte, consentendo di introdurre nel tempo nuove tecnologie e servizi. Questo approccio favorisce l'innovazione senza compromettere la sicurezza e l'affidabilità richieste.

Gli operatori di metropolitane hanno evidenziato tre priorità: mantenere l'affidabilità operativa, salvaguardare le funzioni critiche per la sicurezza e garantire soluzioni di riserva solide. Questi principi sono alla base dell'orientamento raccomandato per i futuri sistemi di controllo delle metropolitane.

Sfide attuali e future per i sistemi di controllo della metropolitana del futuro

Complessità e frammentazione dei sistemi

- Soluzioni altamente personalizzate e specifiche per ciascun operatore
- Costi di integrazione e maggiore complessità dei sistemi.
- Configurazioni di flotta diversificate e sistemi preesistenti ostacolano l'armonizzazione e la scalabilità.
- Le implementazioni specifiche dei singoli fornitori complicano gli aggiornamenti e l'interoperabilità.

Evoluzione tecnica e cybersicurezza

- Transizione verso le reti cellulari (5G/LTE, FRMCS)
- Certificazione, garanzia della sicurezza e conformità alle normative UE.
- Rischi persistenti per la cybersicurezza.

Esigenze operative e automazione

- Il crescente livello di automazione (GoA3/GoA4) richiede comunicazioni e monitoraggio robusti e in tempo reale.
- Criticità legate all'ottimizzazione dei costi e alla migrazione tra flotte eterogenee.
- Maggiori aspettative riguardo all'esperienza di viaggio: informazioni in tempo reale, sicurezza e continuità del servizio.

Standardizzazione e gestione del ciclo di vita

- Le architetture modulari e standardizzate rimangono un ambito di ricerca attivo.
- Equilibrio tra personalizzazione e scalabilità.
- Complessità del ciclo di vita dovuta alla frammentazione dei sistemi IT e all'evoluzione tecnologica.

NEXUS

Sistemi di controllo delle metropolitane del futuro: Raccomandazioni strategiche

Standardizzazione

Autorità e fornitori dovrebbero partecipare attivamente a consorzi per definire interfacce aperte e formati di dati comuni, facilitando l'integrazione di terze parti e allineando i sistemi di metropolitana alle innovazioni della rete ferroviaria di lunga distanza ("mainline").

Investire in infrastrutture di comunicazione robuste:

Pianificare aggiornamenti delle infrastrutture di comunicazione adatti alle sfide del futuro, capaci di supportare automazione e nuovi servizi, non appena gli aggiornamenti di rete saranno fattibili.

Massimizzare l'utilizzo di dati e IA per aumentare l'efficienza:

Gli operatori e i manutentori delle metropolitane dovrebbero sperimentare la manutenzione predittiva e strumenti intelligenti, con una governance dei dati solida.

Garantire cybersicurezza e certificazione di sicurezza:

Una strategia di difesa solida e una collaborazione tempestiva con gli organismi di certificazione sono essenziali per un'innovazione sicura ed efficace.

Implementazione modulare e introduzione graduale:

Consente una transizione per fasi dal GoA2 al GoA4 e supporta gli upgrade in sistemi già GoA4, riducendo i rischi operativi e di affidabilità.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

L’ia nell’esercizio metropolitano del futuro

La crescente adozione dell’Intelligenza Artificiale, dell’automazione e dei sistemi di supporto decisionale basati sui dati nell’esercizio metropolitano offre opportunità significative, ma introduce anche nuove sfide in termini di cybersicurezza e governance. Man mano che le metropolitane evolvono verso livelli più elevati di automazione e connettività, la resilienza informatica diventa un presupposto essenziale per un’introduzione efficace delle soluzioni basate sull’IA.

Nell’ambito di NEXUS è stata condotta una valutazione dedicata per individuare i rischi di cybersicurezza associati alle future applicazioni dell’IA per le metropolitane. L’analisi ha considerato l’intero ciclo di vita dell’IA, dalla raccolta dei dati e dall’addestramento dei modelli fino alla messa in servizio e all’uso operativo, individuando le potenziali minacce in grado di compromettere l’affidabilità, l’integrità e la disponibilità dei processi decisionali.

Lo studio ha evidenziato che i sistemi di IA possono essere esposti a minacce come la manipolazione dei dati, la contaminazione dei dati (data poisoning), input malevoli, l’accesso non autorizzato ai modelli e l’interruzione dei flussi di dati. Questi rischi diventano particolarmente rilevanti in ambienti altamente automatizzati, dove le applicazioni IA possono supportare la pianificazione operativa, la previsione della domanda, l’ottimizzazione del servizio o le attività di manutenzione.

Per rispondere a queste sfide, NEXUS ha sviluppato un quadro di valutazione dell’affidabilità che integra aspetti di cybersicurezza, governance e operatività. Il quadro promuove principi come la supervisione umana, la trasparenza, la robustezza tecnica, la sicurezza fin dalla progettazione (security by design) e il monitoraggio continuo delle prestazioni dell’IA lungo tutto il ciclo di vita operativo. NEXUS ha inoltre esaminato i nuovi sviluppi normativi europei, tra cui l’AI Act e il Cyber Resilience Act, sottolineando l’importanza di integrare gli aspetti di sicurezza e conformità fin dalle prime fasi di progettazione dei sistemi.

I risultati dimostrano che la cybersicurezza non va trattata come un’attività a sé stante, ma come una componente integrante delle future strategie di digitalizzazione delle metropolitane. Integrando sicurezza, fiducia e resilienza nei sistemi basati sull’IA fin dall’inizio, gli operatori possono accelerare l’innovazione mantenendo un esercizio sicuro e affidabile.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

Quali sono i casi d'uso dell'IA più rilevanti secondo gli operatori metropolitani* ?

Manutenzione predittiva, per prolungare la vita utile degli asset e ridurre i costi di manutenzione
Supporto agli operatori della sala di controllo (OCC) con la definizione delle priorità delle attività sulla base di dati in tempo reale e una migliore visualizzazione degli allarmi
Riconoscimento e classificazione basati sulle immagini (rilevamento di rifiuti nei treni e nelle stazioni, identificazione di ostacoli)
Ispezione delle infrastrutture
Manutenzione predittiva degli asset metropolitani
Modello predittivo dei percorsi dei passeggeri / ottimizzazione dei flussi di passeggeri nella rete
Previsione dell'affollamento
Creazione della matrice origine–destinazione
Assistenza ai clienti con informazioni in più lingue (concierge virtuale, chatbot integrati nell'app dell'operatore o nel travel planner)
Rilevamento di oggetti/intrusioni
Oggetti smarriti
Sicurezza (monitoraggio di comportamenti anomali, aggressioni, oggetti sospetti)
Individuazione delle minacce informatiche
Chatbot per il personale, per aiutarlo a trovare documenti o illustrare le procedure da seguire
Formazione del personale

* Contributi raccolti tramite il sondaggio condiviso con gli operatori di metropolitana e la discussione con gli operatori svoltasi durante la prima riunione dell'External Advisory Board di NEXUS, Vienna, marzo 2025.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

Cybersicurezza e IA affidabile per l'esercizio metropolitano del futuro

Man mano che le metropolitane diventano sempre più digitali, connesse e automatizzate, la cybersicurezza diventa il presupposto per un'innovazione sicura, resiliente e affidabile. Nell'ambito di NEXUS è stata condotta una valutazione strutturata della cybersicurezza per individuare le misure di protezione esistenti, le maggiori lacune e gli interventi concreti per rafforzare la resilienza informatica dei sistemi di metropolitana.
La valutazione si è basata sul quadro CIS Controls v8, riconosciuto a livello internazionale, che comprende 18 aree di controllo della cybersicurezza e 153 misure di protezione. Le misure applicabili sono state associate ai diversi tipi di asset, consentendo una valutazione sistematica della copertura di cybersicurezza e l'individuazione delle aree che richiedono ulteriore attenzione. Questo approccio offre agli operatori una metodologia trasparente e replicabile per valutare il proprio livello di cybersicurezza con l'evolversi di sistemi e tecnologie.

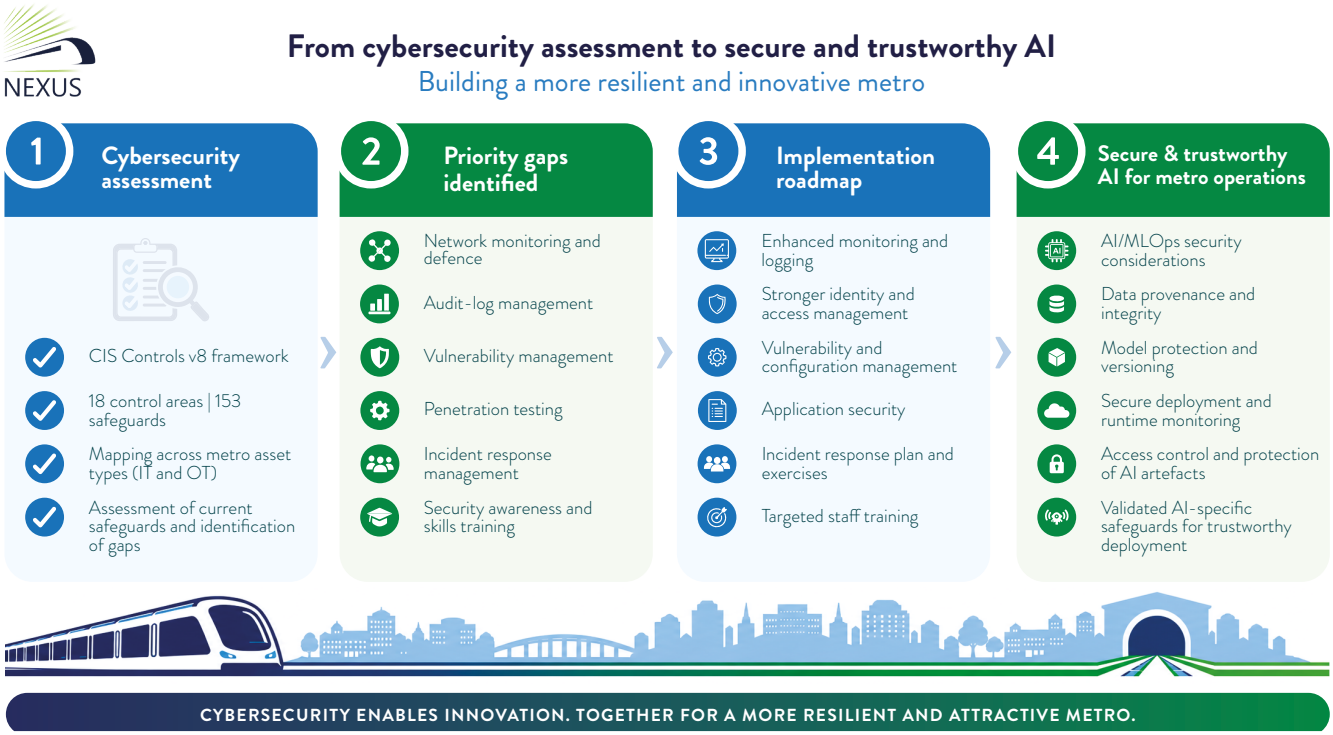
L'analisi ha evidenziato diverse aree di priorita', tra cui il monitoraggio e la difesa della rete, la gestione dei log di audit, la gestione delle vulnerabilità, i test di penetrazione, la gestione della risposta agli incidenti, la sensibilizzazione sulla sicurezza e la formazione delle competenze. Le lacune individuate sono state tradotte in una roadmap, che comprende misure come monitoraggio e registrazione dei log rafforzati, gestione delle identità e degli accessi più solida, gestione delle vulnerabilità e delle configurazioni, sicurezza delle applicazioni, capacità di risposta agli incidenti e formazione mirata del personale.

Riconoscendo la natura dei sistemi metropolitani, NEXUS ha inoltre collegato queste priorità di cybersicurezza alle norme IEC 62443 e CENELEC TS 50701, mettendo in relazione le pratiche di cybersicurezza aziendale con la protezione delle tecnologie operative, tra cui segnalamento, SCADA, apparati di linea e sottosistemi di stazione. Parallelamente, è stato delineato un quadro per un Piano di Risposta alle Emergenze, che affronta gravità degli incidenti e responsabilità, azioni di primo intervento, contenimento, ripristino, comunicazione, esercitazioni e procedure operative di supporto.

Con la crescente integrazione dell'Intelligenza Artificiale nel lavoro degli operatori di metropolitane, le misure di cybersicurezza convenzionali devono essere integrate da protezioni che riguardino il ciclo di vita AI/MLOps. NEXUS ha quindi preso in considerazione la provenienza e l'integrità dei dati, la protezione dei modelli, la messa in servizio sicura, il monitoraggio in esercizio, il controllo degli accessi e la protezione dei

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

prodotti legati all'IA. Partendo da questa base di cybersicurezza, le successive attività di validazione di NEXUS hanno approfondito le minacce specifiche dell'IA e i requisiti di affidabilità, rafforzando il principio secondo cui la cybersicurezza deve essere integrata fin dalla progettazione lungo tutto il ciclo di vita delle future soluzioni basate sull'IA.



Caso d'uso dell'IA: rilevamento dei rifiuti a bordo

La pulizia è un elemento tangibile della qualità del servizio, della soddisfazione dei passeggeri e della sicurezza percepita. La pulizia tradizionale si basa principalmente su programmi fissi e ispezioni manuali. Il progetto NEXUS ha sviluppato un prototipo basato sull'IA per rilevare i rifiuti a bordo dei veicoli metropolitani. Il sistema classifica le immagini come "pulite" o "sporche" utilizzando una rete neurale. Il transfer learning consente al modello di riutilizzare conoscenze visive acquisite da dati di immagini affini, riducendo i costi e i tempi necessari per raccogliere ed etichettare immagini specifiche. Un approccio zero-shot permette di portare avanti in parallelo la raccolta dei dati e lo sviluppo del modello.

Il modello è stato validato con immagini reali della metropolitana di Genova (Figura 9). Nonostante diverse condizioni di illuminazione e la varietà degli interni del treno, ha classificato le immagini in modo affidabile. I test preliminari hanno spesso raggiunto tassi di riconoscimento ben superiori al 90 percento. Il risultato è particolarmente significativo perché per questo nuovo ambito non è stato effettuato alcun addestramento aggiuntivo con immagini della metropolitana.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union



Figura 9: Interno di una carrozza della metropolitana con una sezione pulita e una sporca

Ulteriori miglioramenti potrebbero includere l'apprendimento attivo, il rilevamento degli oggetti e test su altri tipi di veicoli. Altre applicazioni, come il rilevamento di graffiti o di sporcizia nelle stazioni, si basano sullo stesso principio.

Il prototipo di sistema di rilevamento della sporcizia basato sull'IA sviluppato nel progetto lo dimostra chiaramente: l'implementazione tecnica è fattibile e può raggiungere percentuali di rilevamento molto soddisfacenti. Il suo vero valore, però, sta nel passo successivo, quando una condizione rilevata si traduce in una risposta rapida, adeguata e documentata. A quel punto la pulizia diventa non solo un elemento visibile di qualità, ma una componente operativa gestibile attivamente.

Il punto di vista degli operatori: le metropolitane del futuro

Genova

La metropolitana di Genova registra un costante aumento della domanda, grazie a modifiche della viabilità e a recenti promozioni tariffarie. L'espansione della rete procede lentamente, con tre stazioni in costruzione al momento della redazione di questo documento (2026). I principali piani per i prossimi 10 anni comprendono ulteriori estensioni della rete e miglioramenti tecnologici. Le sfide principali sono il rinnovo del sistema di segnalamento, il miglioramento dell'accessibilità di stazioni e treni, una maggiore disponibilità di informazioni in tempo reale per i passeggeri, una maggiore attrattività e livelli di automazione più elevati. Il vincolo principale agli investimenti tecnologici e di espansione è di natura economica: quasi tutti gli interventi devono essere finanziati da enti pubblici tramite bandi e gare. Il progetto NEXUS ha offerto ad AMT, l'azienda di trasporto pubblico della città di Genova, l'opportunità di esplorare nuove possibilità tecnologiche e di ridefinire le proprie priorità in materia di innovazione.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

Sofia

La metropolitana di Sofia registra una crescita costante della domanda grazie all'espansione della rete e all'introduzione di una nuova organizzazione e di una gestione automatizzata (GoA3) sulla nuova Linea 3. Nel 2025 il numero di viaggi ha raggiunto 129,6 milioni all'anno (~470.000 nei giorni feriali), sostenuto da un'elevata fiducia in questo mezzo di trasporto. L'imminente entrata in servizio di due nuove tratte della Linea 3 nel 2026 (+3 km e 3 stazioni) e nel 2028 (+6 km e 6 stazioni) dovrebbe incrementare i flussi di passeggeri rispettivamente di 8 e 25 milioni di viaggi all'anno, rafforzando la tendenza verso una crescita sostenibile. I piani futuri prevedono una continua espansione della rete e aggiornamenti tecnologici. Una delle principali innovazioni esaminate è l'aggiornamento degli attuali sistemi di informazione ai passeggeri per creare una piattaforma di informazione in tempo reale. Questa piattaforma integrerà un travel planner in tempo reale, funzionalità di ticketing e NFC e soluzioni P+R (Park and Ride), migliorando al tempo stesso l'accessibilità di stazioni e treni. Gli investimenti tecnologici e infrastrutturali incontrano limiti economici, poiché dipendono interamente dal settore pubblico. Il finanziamento di questi progetti non è garantito e la loro attuazione richiede inoltre rigorose procedure di aggiudicazione e di gara. L'attuazione del progetto NEXUS ha comportato l'analisi di moderne alternative tecnologiche innovative che potrebbero essere utilizzate dalla metropolitana di Sofia.

I risultati utilizzabili di NEXUS in sintesi

NEXUS ha individuato tre Risultati Chiave utilizzabili anche detti KER - Key Exploitable Results che potrebbero essere sfruttabili oltre la durata del progetto per sostenere la digitalizzazione e l'automazione delle metropolitane. Essi riguardano indicazioni pratiche sull'uso dell'intelligenza artificiale, strumenti a supporto delle decisioni operative e un approccio di lungo periodo all'automazione delle metropolitane senza conducente.

I risultati sono stati selezionati tramite un'indagine e un workshop tra i partner, con il contributo dell'External Advisory Board e il supporto dell'Horizon Results Booster. Ciascuno ha un diverso livello di maturità e un diverso orizzonte temporale per ulteriore sviluppo e utilizzo.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

Risultato Chiave utilizzabile	Descrizione e possibile utilizzo	Prospettive di applicazione
Manuale sull'IA per gli operatori di metropolitane	Una guida pratica per aiutare gli operatori di metropolitane a capire come l'IA potrebbe essere utilizzata nei loro sistemi. Raccoglie esempi di applicazioni dell'IA, indicazioni per l'implementazione, considerazioni sulla gestione del cambiamento organizzativo, strumenti per la conformità e possibili risorse formative.	Potenziale a breve termine. Per garantirne l'utilizzo continuativo sono necessari un'ulteriore validazione, un posizionamento chiaro verso i potenziali utenti e accordi sulla proprietà intellettuale e sui futuri aggiornamenti.
Piattaforma di supporto decisionale e simulazione per le operazioni di metropolitane	Un ambiente di modellazione e simulazione che può aiutare gli operatori di metropolitane a esplorare diversi scenari operativi, infrastrutturali e di automazione prima di mettere in pratica i cambiamenti. MOBIUS, prototipo sviluppato da NEXUS, fa parte del lavoro verso questo risultato.	Potenziale a medio termine. Sono necessari ulteriori sviluppi tecnici e test, insieme ad applicazioni pilota e a prove concrete delle esigenze degli utenti e del mercato. Occorre inoltre definire un modello di business adeguato e accordi sulla proprietà intellettuale e sulla governance dei dati.
Architettura di automazione per metropolitane senza conducente	Un'architettura strategica per orientare lo sviluppo delle metropolitane senza conducente. Si concentra su approcci aperti, modulari, scalabili e pronti a sfruttare i dati, e potrebbe orientare i futuri sviluppi dell'automazione delle metropolitane.	Potenziale a lungo termine. Le possibili applicazioni comprendono roadmap industriali, dimostratori di ricerca, attività di standardizzazione e futuri progetti di ricerca e innovazione. Sarà importante mantenere il dialogo con gli stakeholder dell'industria e della ricerca.

Benefici: società, sostenibilità, finanza...

NEXUS ha esplorato il potenziale delle tecnologie avanzate e di livelli più elevati di automazione, (GoA4), nel contesto delle metropolitane di Genova e Sofia. Il progetto ha inoltre considerato lo stato attuale dell'automazione e raccolto informazioni tramite un'indagine tra i membri della UITP Automated Metros Platform, contribuendo a comprendere le opportunità e le sfide che gli operatori di metropolitane devono affrontare.

NEXUS ha valutato come le tecnologie avanzate e l'automazione completa potrebbero migliorare i servizi a Genova e Sofia, a vantaggio di passeggeri, operatori e città. I risultati indicano che l'automazione potrebbe migliorare l'affidabilità del servizio, ridurre i tempi di attesa e aiutare le metropolitane a trasportare più passeggeri. Una migliore gestione dei flussi potrebbe inoltre rendere i viaggi più confortevoli e accessibili a tutte le categorie di utenti con esigenze diverse.

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

Servizi di trasporto più attrattivi potrebbero incoraggiare le persone a usare il trasporto pubblico invece dell'auto privata, contribuendo a ridurre congestione stradale, inquinamento atmosferico e incidenti, con un risparmio di tempo di viaggio. Una marcia più regolare si traduce non solo in un'esperienza più piacevole per i passeggeri, ma anche in una maggiore efficienza energetica, con effetti positivi sui costi operativi (OPEX). L'assenza dei conducenti (e della cabina di guida) aumenta la capacità dei treni e rafforza la presenza del personale dove è più necessaria: informazione e assistenza ai passeggeri.

NEXUS ha inoltre sviluppato strumenti di simulazione per aiutare gli operatori a individuare le criticità e a testare possibili miglioramenti prima di investire in progetti di automazione complessi e costosi. L'automazione unita a un esercizio basato sui dati potrebbero favorire un uso più efficiente di treni, infrastrutture e personale. I benefici, tuttavia, dipendono dalle condizioni locali, da dati affidabili, da infrastrutture adeguate e da un'implementazione efficace.

La valutazione economica ha rilevato un bilancio complessivamente positivo per entrambe le metropolitane coinvolte in NEXUS, con un rapporto benefici/costi di 1,35 per Genova e 1,27 per Sofia. Allo stesso tempo, la valutazione finanziaria evidenzia la difficoltà di coprire il consistente investimento iniziale con i soli ricavi aggiuntivi. Finanziamenti esterni e un'attenta pianificazione sono quindi importanti per sostenere l'attuazione e contribuire a realizzare i benefici attesi nel lungo periodo.

Conclusioni e ringraziamenti

NEXUS dimostra che la metropolitana del futuro non nascerà dalla sola tecnologia, ma dalla sua attenta integrazione con le esigenze dei passeggeri, le realtà operative e la preparazione organizzativa. Grazie a strumenti di simulazione validati, scelte di design dei veicoli incentrate sull'utente, un percorso modulare verso l'automazione e una implementazione dell'IA affidabile e in linea con i principi di cybersicurezza, il progetto offre evidenze e strumenti di supporto decisionale per migliorare capacità, affidabilità, accessibilità, resilienza e prestazioni energetiche dei servizi di metropolitana. I casi d'uso di Genova e Sofia confermano i potenziali benefici, sottolineando al tempo stesso che l'attuazione deve restare graduale, adattata al contesto locale e sostenuta da dati solidi, competenze, governance e finanziamenti di lungo periodo. NEXUS offre quindi una base concreta per trasformare la digitalizzazione e l'automazione in servizi di metropolitana più sicuri, efficienti e attrattivi, capaci di adattarsi alle sfide e alle esigenze in evoluzione dei passeggeri di domani.

Scopri di più su NEXUS
sul sito ufficiale del progetto (https://nexus-heproject.eu/) e sulla sua pagina LinkedIn (https://www.linkedin.com/company/nexus-heproject/about/)

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
NEXUS
UKRI Innovate UK
Europe's Rail
Co-funded by the European Union

Scheda del progetto NEXUS

Nome completo:
Next-gen technologies for enhanced metro operations

Durata:
01/10/2024 – 30/09/2026

Consorzio:
13 partecipanti da 7 Paesi

Cofinanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono tuttavia al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente quelle dell'Unione europea o dell'Impresa comune Europe's Rail. Né l'Unione europea né l'autorità concedente possono esserne ritenute responsabili. Il progetto 'NEXUS' è sostenuto dall'Impresa comune Europe's Rail e dai suoi membri.
I partecipanti britannici a questo progetto sono finanziati da UKRI

Partner del progetto

AMT MOBILITÀ E INNOVAZIONE
METROPOLITEN JSC
ERTICO ITS EUROPE
Aston University BIRMINGHAM UK
UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT
SIEMENS
STAM MASTERING EXCELLENCE
TIS transportes inovação e sistemas
TU WIEN TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN
Università di Genova
performance
1922 Todor Kableshkov University of Transport
virtual vehicle

FIND ALL UITP KNOWLEDGE ON

MYLIBRARY

.UITP.ORG

This is an official publication of UITP, the International Association of Public Transport. UITP has more than 2,000 member companies in 100 countries throughout the world and represents the interests of key players in this sector. Its membership includes transport authorities, operators, both private and public, in all modes of collective passenger transport, and the industry. UITP addresses the economic, technical, organisation and management aspects of passenger transport, as well as the development of policy for mobility and public transport worldwide.

Co-funded by the European Union

This project has received funding from the Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No 101177985.

© UITP - All rights reserved - Responsible Publisher: Mohamed Mezghani, Rue Sainte Marie 6, B-1080 Brussels, Belgium

Legal deposit: D/2026/0105/38 - Rue Sainte-Marie 6, B-1080 Brussels, Belgium | Tel +32 (0)2 673 61 00 | info@uitp.org | www.uitp.org

UITP ADVANCING PUBLIC TRANSPORT