

POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Un gemello digitale della terra per la sicurezza delle strade

Original

Un gemello digitale della terra per la sicurezza delle strade / Boccardo, P.. - In: LE STRADE. - ISSN 0373-2916. - ELETTRONICO. - 1611:10/2025(2025), pp. 40-44.

Availability:

This version is available at: 11583/3004203 since: 2025-10-18T15:24:58Z

Publisher:

La fiaccola srl

Published

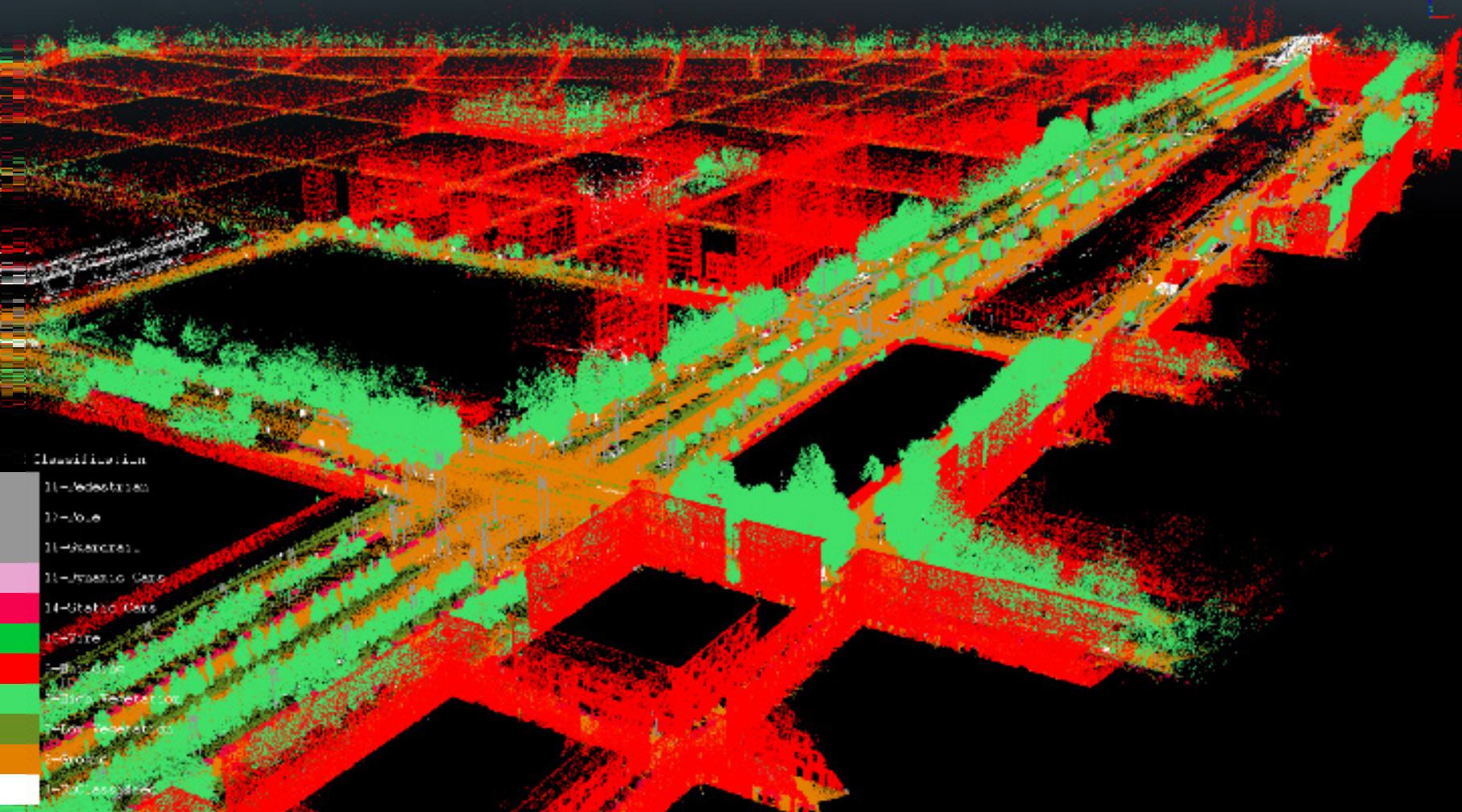
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)



Scenari

Un gemello digitale della terra per la **sicurezza delle strade**

L'impatto che Destination Earth può avere sulla gestione delle infrastrutture è davvero significativo, perché consente di ripensare l'intero ciclo di vita delle opere. Intervista al Prof. Piero Boccardo

Un gemello digitale della terra. È questa l'iniziativa ambiziosa, denominata Destination Earth, promossa dalla Commissione Europea, che si prefigge questi obiettivi: simulare, monitorare e prevenire gli effetti delle attività naturali sul nostro pianeta; anticipare eventi estremi (come inondazioni, siccità, incendi boschivi) e le loro conseguenze sulla popolazione.

Questo progetto, a livello tecnico, vede protagonisti Esa (l'Agenzia spaziale europea), Eumetsat (l'organizzazione europea per l'esercizio dei satelliti meteorologici) ed Ecmwf (il Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine).

In base alle informazioni acquisite dalla Commis-

sione Europea questo progetto mira a creare uno "specchio" accurato del globo terrestre combinando dati satellitari, modelli numerici e intelligenza artificiale. E queste informazioni potranno essere fondamentali in vari settori tra cui energia, salute, smart city, agricoltura ma anche trasporti.

Piero Boccardo, Professore ordinario di Geomatica al Dipartimento di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio del Politecnico di Torino dove insegna Telerilevamento, è uno dei massimi esperti europei del programma Destination Earth.

Lo abbiamo intervistato soprattutto sulle possibili utilità di questo programma per la gestione delle infrastrutture di trasporto e della mobilità.

Grazia Crocco



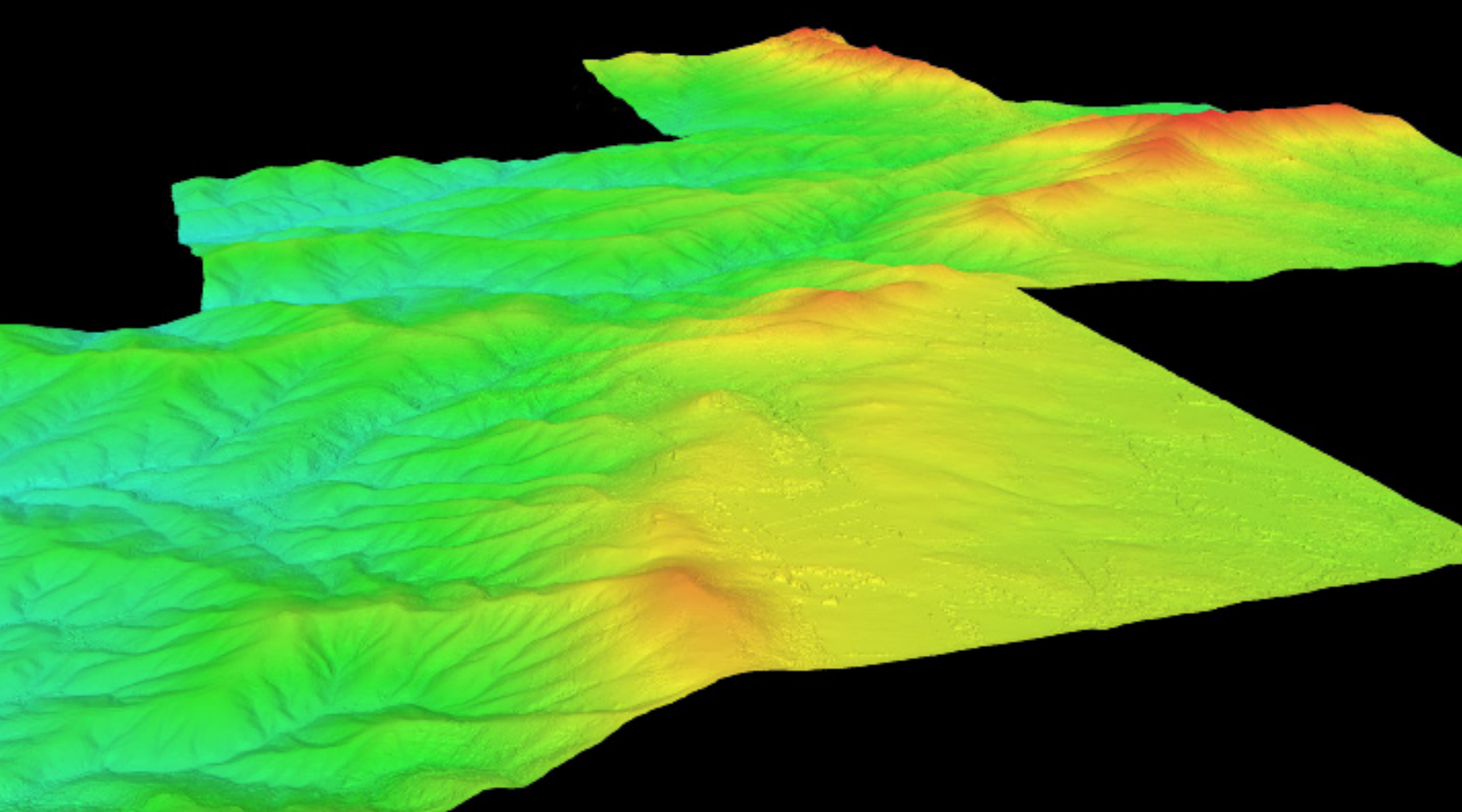
Piero Boccardo, Professore ordinario di Geomatica al DIST del Politecnico di Torino.



Rispetto alle metodologie tradizionali di monitoraggio delle infrastrutture per la mobilità, qual è il valore aggiunto che può apportare il gemello digitale e come funziona tecnicamente?

Il gemello digitale (Digital Twin) introduce un cambio di paradigma: dall'ispezione puntuale e discontinua all'osservazione continua e predittiva.

In pratica, colleghiamo l'opera fisica - strada, viadotto, galleria, rilevato - a un suo "virtuale" computazionale che si aggiorna con flussi di dati eterogenei: osservazione della Terra (ad es. strumenti radar per misure millimetriche di deformazione del terreno con tecniche InSAR), sensori di monitoraggio strutturale (accelerometri, estensimetri, fibre ottiche), monitoraggi topografici/GNSS,



dati meteo-idrologici in tempo quasi reale, rilievi LiDAR/mobil mapping e persino dati operativi (traffico, velocità medie, carichi, eventi). Questo ecosistema è orchestrato da modelli numerici e algoritmi di IA che non si limitano a "descrivere" lo stato, ma stimano tendenze e scenari: ad esempio la vita utile residua di un viadotto, la probabilità di scalzamento delle fondazioni in caso di piena, o l'evoluzione di un cedimento lungo un rilevato. Dal punto di vista architettonale, Destination Earth (DestinE) fornisce il presupposto fondamentale: la DestinE Service Platform come punto d'ingresso per gli utenti e la DestinE Data Lake per scoprire, accedere e processare grandi volumi di dati in modo armonizzato (interfacce STAC/OGC, processing "near-data"). Su questi elementi di base si assestano i Digital Twins tematici ad alta risoluzione (eventi estremi, adattamento climatico), che alimentano i gemelli specifici di settore, come quelli infrastrutturali. Questo significa che chi gestisce strade può innestare i propri sensori e dataset locali su un contesto fisico-ambientale coerente, aggiornato e simulabile.

Che impatto potrebbe avere questo programma sulla pianificazione, manutenzione e sicurezza delle infrastrutture di trasporto?

L'impatto che un programma come Destination Earth può avere sulla gestione delle infrastrutture è davvero significativo, perché consente di ripen-

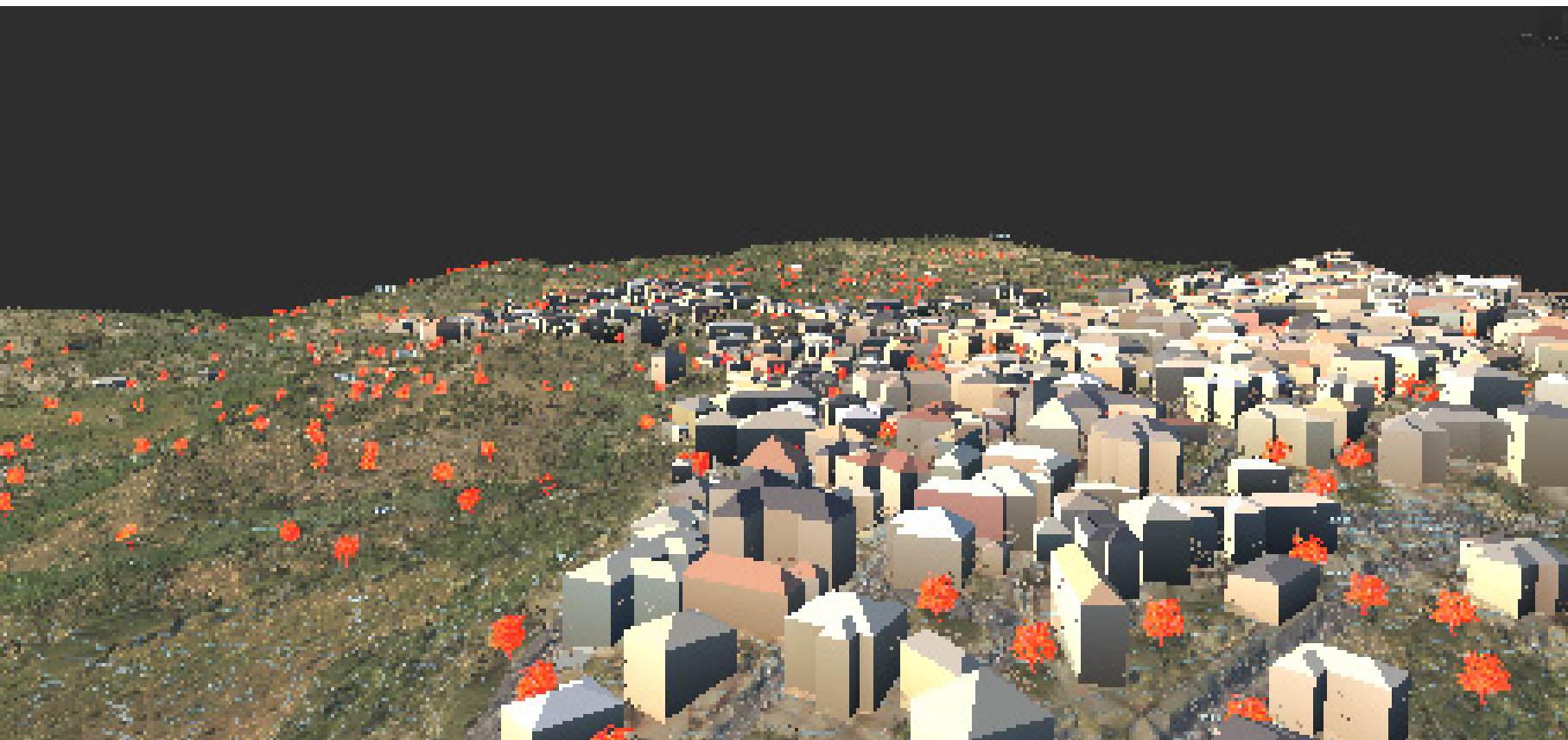
sare l'intero ciclo di vita delle opere. Fino a oggi la pianificazione è stata spesso basata su dati storici e su scenari medi, con il rischio di sottovalutare eventi estremi o condizioni eccezionali. Grazie ai gemelli digitali, invece, è possibile simulare con grande dettaglio l'interazione tra infrastruttura e ambiente, valutando ad esempio come un viadotto reagisca a una piena improvvisa, come una pavimentazione si degradi sotto l'effetto combinato di traffico intenso e ondate di calore, oppure come un rilevato stradale si comporti in presenza di fenomeni di subsidenza o di instabilità dei versanti. Questo significa progettare non più sulla base di ipotesi astratte, ma su scenari concreti e aggiornati. Lo stesso approccio si riflette nella manutenzione. Oggi si lavora prevalentemente in modo reattivo: si interviene quando il danno è già visibile o sulla base di calendari prestabiliti. Con il Digital Twin diventa invece possibile passare a una logica predittiva, individuando i segnali precoci di degrado e programmando gli interventi al momento giusto, né troppo tardi né troppo presto. Questo consente di ridurre drasticamente i rischi per gli utenti, evitando chiusure improvvise e aumentando la sicurezza, ma anche di ottimizzare i costi, perché ogni euro speso viene indirizzato laddove c'è un reale bisogno. Infine, la sicurezza è il punto in cui tutti questi aspetti convergono. Avere la possibilità di stimare con anticipo come evolverà lo stato di un'infrastruttura

significa dare ai gestori uno strumento di supporto alle decisioni che riduce l'incertezza e permette di agire con maggiore tempestività. In altre parole, Destination Earth non fornisce soltanto più dati, ma costruisce un contesto informativo integrato che mette in relazione clima, traffico e infrastrutture, trasformando la gestione da passiva a proattiva. Questo è il vero salto di qualità che ci attende nei prossimi anni.

Possiamo affermare che se nel passato avessimo potuto utilizzare il monitoraggio digitale avremmo potuto prevenire disastri come crolli di ponti? La tecnologia non azzerava il rischio, ma ne riduce drasticamente la latenza "ignota". Molti collassi improvvisi sono preceduti da segnali deboli e intermittenti (micro-fessurazioni, riduzioni di rigidità, fenomeni di scalzamento in alveo durante piene rapide, cedimenti localizzati su pile/spalle). Una piattaforma che combina osservazioni continue (sensori + InSAR) e modelli predittivi rende più probabile intercettare quei segnali. In pratica, trasformiamo allarmi sporadici in indicatori quantitativi (trend, soglie, probabilità), che alimentano decisioni documentate: ispezione ravvicinata, prova di carico, limitazione di transito, rinforzo, o chiusura cautelativa. Non possiamo dire che ogni tragedia sarebbe stata evitata, ma è legittimo affermare che la probabilità di prevenzione o di mitigazione degli effetti sarebbe stata significativamente maggiore, specie nei contesti esposti a eventi idrologici estremi e a degrado accelerato dai carichi o dall'ambiente.

Destination Earth avrà un impatto anche sulla mobilità e sulla sicurezza stradale? Molti incidenti avvengono in ambito urbano. Ci sarà una diffusione degli Urban Digital Twin con benefici sulla gestione del traffico e delle infrastrutture?

Sì, ed è un filone che sta maturando velocemente. Un Urban Digital Twin integra dati di traffico (loop, Bluetooth/Wi-Fi, floating car data), TPL, micro-mobilità, meteo, asset (semafori, ZTL, sensori IoT), incidenti e lavori. Su questa base si simulano scenari e si testano politiche prima di applicarle: piani semaforici adattivi, cantieri e deviazioni, gestione dei varchi, corridoi per i mezzi di soccorso, zone 30, interventi su attraversamenti e intersezioni critiche. L'obiettivo è duplice: sicurezza (ridurre conflitti veicolo-pedone/ciclista e incidentalità) e efficienza (fluidità, tempi di percorrenza, emissioni). A Torino abbiamo un riferimento molto concreto: il Living Lab ToMove di Torino City Lab, che sperimenta soluzioni di mobilità cooperativa, connessa e autonoma integrate nel paradigma MaaS (Mobility as a Service). Il laboratorio consente di modellizzare i flussi di traffico, valutare l'impatto di nuove linee o di riorganizzazioni del trasporto pubblico locale, testare l'effetto di chiusure temporanee, corsie dedicate, strategie per la logistica dell'ultimo miglio e l'introduzione di veicoli condivisi. È un esempio di come un approccio "gemello" - alimentato da dati reali e da strumenti interoperabili - possa trasformare la gestione quotidiana della mobilità in una pratica proattiva e misurabile, con benefici concreti sulla sicurezza,



sui tempi di percorrenza e sulla qualità dell'aria. A questa sperimentazione urbana si affianca inoltre un risultato di grande valore scientifico e tecnico: grazie al Politecnico di Torino, è stato realizzato un gemello digitale della città a cinque centimetri di risoluzione, ottenuto attraverso voli fotogrammetrici aerei. Questa base ad altissima definizione sarà ulteriormente arricchita in futuro da rilievi terrestri effettuati con sistemi MMS (Mobile Mapping System), capaci di fornire dettagli tridimensionali ancora più accurati, utili soprattutto per la rappresentazione degli spazi stradali, delle infrastrutture e degli elementi di arredo urbano. L'integrazione tra rilievi aerei e terrestri permetterà di avere una visione senza precedenti del tessuto urbano, che diventerà la base per simulazioni sempre più precise e per la gestione intelligente della mobilità e delle infrastrutture cittadine.

A che punto è l'attuazione di Destination Earth? Quali step sono stati raggiunti e quali restano secondo le tempistiche?

Il programma è ufficialmente partito nel 2022 e ha visto un primo traguardo pubblico con il lancio del sistema DestinE il 10 giugno 2024 dal centro del supercomputer LUMI (Finlandia). La fase attuale consolida i servizi principali: la DestinE Service Platform (portale, onboarding utenti/servizi) e la DestinE Data Lake (catalogo, accesso armonizzato, processing presso i dati), oltre ai due primi Digital Twins prioritari: eventi meteo-indotti (per simulazioni mirate a pochi giorni) e adattamento climatico (proiezioni multi-decennali a scala chilometrica). Questi componenti sono operati in partnership con Ecmwf, Esa ed Eumetsat e sfruttano i supercalcolatori EuroHPC (LUMI, Leonardo, MareNostrum5, MeluXina), fondamentali per eseguire modelli ad alta risoluzione e grandi workflow di dati. La roadmap di medio periodo punta a estendere servizi e casi d'uso, mentre l'orizzonte strategico resta la replica digitale del sistema Terra entro il 2030, con capacità di supporto decisionale per adattamento e mitigazione.

L'accesso a questi dati e servizi per i gestori stradali sarà gratuito? I fruitori saranno solo gli Stati membri UE?

L'accesso al portale DestinE è gratuito previa registrazione; l'utente può esplorare il catalogo dei servizi e, una volta registrato, utilizzare le funzionalità standard. Per i dataset prodotti dai Digital Twins possono essere richieste credenziali "Upgraded Access" (la procedura è pubblica e orientata a profili di Pubblica Amministrazione, ricerca, privati, ecc.). La DestinE Data Lake espone un'API armonizzata (STAC/HDA) e documentazione tecnica per l'integrazione; l'obiettivo è l'interoperabilità con gli standard OGC e il riuso anche "machi-

ne-to-machine". In sostanza, la logica europea è favorire apertura e riuso: pubblico, ricerca e imprese possono accedere - con livelli differenziati a seconda del servizio e dei requisiti - e non è limitato ai soli Stati membri, benché questi siano i primi beneficiari. Per un gestore stradale, ciò si traduce nella possibilità di integrare i propri sensori e archivi con dataset climatici e previsionali di nuova generazione, senza dover costruire da zero un'infrastruttura HPC o di data lake.

Prof. Boccardo, in conclusione, proviamo a riassumere. Con taglio operativo come funziona il gemello digitale?

In termini molto pratici, un gemello digitale permette già da domani di collegare i sensori esistenti - o quelli che si prevede di installare - a un vero e proprio "cruscotto decisionale". Questo strumento non si limita a raccogliere dati, ma li arricchisce con previsioni meteo avanzate e con indicatori di degrado, così da generare allarmi intelligenti, stilare liste di priorità per gli interventi e consentire simulazioni di tipo "what-if". Ci si può chiedere, ad esempio: cosa accade se chiudo la corsia X? Oppure se riduco temporaneamente i carichi durante una piena fluviale? Per il dominio stradale, le analisi che ne derivano sono molteplici e riguardano i principali rischi che incidono sulla sicurezza e sulla durabilità delle infrastrutture: lo scalzamento delle pile durante le piene, l'instabilità di rilevati e versanti, i cedimenti differenziali nei terreni compressibili, l'impatto del calore su conglomerati bituminosi e apparecchi di appoggio, i cicli di gelo e disgelo su pavimentazioni e giunti, l'accumulo di acqua nei sottopassi, la vulnerabilità agli incendi nelle aree periurbane, fino allo stress termico che può compromettere segnaletica e impianti.

Dal punto di vista tecnico, l'integrazione avviene attraverso interfacce standard - come i cataloghi STAC/HDA o le API OGC - e strumenti di elaborazione direttamente "presso il dato", in modo da evitare il trasferimento di enormi quantità di informazioni. Sul piano organizzativo, è utile procedere per passi concreti: partire da casi d'uso verticali, come i viadotti situati su aste fluviali critiche, e poi scalare per analogia, definendo insieme ai team di manutenzione ed esercizio indicatori condivisi (soglie, livelli di servizio, criteri di intervento). In definitiva, Destination Earth non sostituisce le competenze e le responsabilità del gestore: le rafforza. Fornisce un contesto fisico e ambientale coerente, previsioni e proiezioni ad alta risoluzione, e soprattutto una piattaforma aperta su cui innestare sensori e conoscenza di dominio. Il risultato è la possibilità di prendere decisioni più tempestive, trasparenti e difendibili, con ricadute positive sia sulla sicurezza degli utenti sia sulla sostenibilità economica degli interventi. ■■