

since 1990

HARPACEAS
Your digital partner

L'integrazione dei dati geospaziali per la creazione di gemelli digitali nel settore delle costruzioni

Introduzione

Nel settore delle costruzioni, l'adozione dei gemelli digitali sta diventando un elemento rivoluzionario, destinato a trasformare radicalmente il modo in cui progettiamo, costruiamo e gestiamo gli edifici e le infrastrutture. Un gemello digitale è una rappresentazione virtuale di un asset fisico che riflette in tempo reale lo stato, le condizioni e il comportamento dell'asset stesso. Grazie alla possibilità di integrare dati in tempo reale, sensori IoT e strumenti di analisi avanzata, i gemelli digitali permettono ai professionisti di monitorare e ottimizzare l'intero ciclo di vita di un'opera, dalla progettazione alla manutenzione, con elevati livelli di efficienza e precisione.

Ma che cos'è un Digital Twin? Un gemello digitale è la rappresentazione digitale di un oggetto appartenente al mondo reale, è qualcosa in grado di restituire, in un ambiente virtuale, informazioni (in tempo reale) e dati, di diversa natura, relativi ad un'opera reale; è la Combinazione di un modello computazionale e di un Sistema nel mondo reale.

Da queste prime considerazioni è evidente come si stia parlando di un nuovo livello di sofisticazione; in particolare se lo si paragona ai modelli BIM, tipologia di modelli ormai abbastanza diffusa nel settore AECO. Infatti, un gemello digitale NON è un modello statico dove i dati possono evolvere solo nel momento in cui un utente interviene per aggiornarli. A partire da un primo set di dati, il gemello digitale evolve in continuo; ha modo di maturare man mano che seguiamo il ciclo vita dell'asset; mentre una simulazione replica cosa potrebbe accadere in un oggetto/sistema/asset, un Digital Twin replica cosa sta accadendo in un oggetto fisico reale, fornendo informazioni sul suo stato lungo tutto il suo ciclo vita.

Siamo di fronte ad una soluzione all'interno della quale convergono diverse tecnologie: l'Internet of Things (IoT), cioè dispositivi fisici interconnessi (sensori, telecamere, dispositivi wearable) che raccolgono e scambiano dati tra di loro attraverso Internet; Intelligenza Artificiale (AI), vale a dire sistemi e programmi in grado di eseguire compiti che richiedono intelligenza umana; Cloud e Big Data, la possibilità cioè di gestire una sempre più crescente mole di dati, che possono essere elaborati in Cloud per permettere di prendere decisioni sulla base dei dati forniti da dispositivi IoT; utilizzo di hardware per svolgere simulazioni sempre più sofisticate.

A prima vista i gemelli digitali possono sembrare una replica esatta, dell'oggetto reale. È giusto dire che non sono necessariamente rappresentazioni realistiche, sono bensì astrazioni rilevanti della risorsa fisica. È essenziale ribadire come sia opportuno sviluppare gemelli digitali adatti allo scopo; il livello di fedeltà varierà a seconda dei casi d'uso. I gemelli digitali non devono necessariamente tentare di rispecchiare tutto ciò che riguarda il sistema originale.

HARPACEAS s.r.l. • Viale Giulio Richard, 3A • 20143 Milano • tel +39 02 891741 • fax +39 02 89151600
info@harpaceas.it • harpaceas@scacert.it • www.harpaceas.it

since 1990

HARPACEAS

Your digital partner

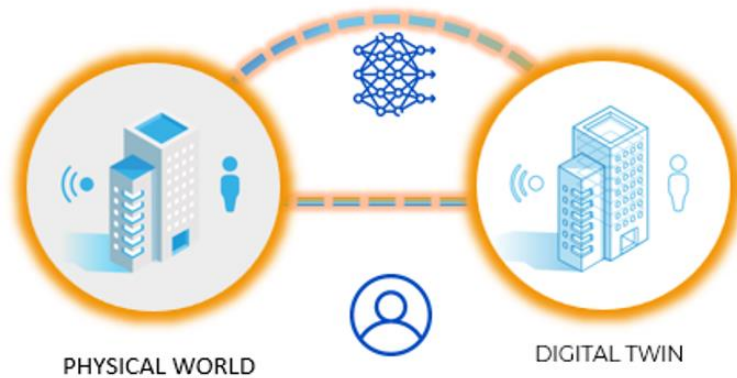


Figura 1: Relazione schematica tra Digital Twin e mondo reale.

Un gemello digitale ha un suo ecosistema di riferimento; esso può variare in dimensione, ambito, scala e complessità.

La dimensione è la granularità della rappresentazione (quanto è accurata la scala spaziale e temporale, per esempio), l'ambito è la porzione del mondo reale considerata; scalabilità e complessità significano: adattabilità a diverse applicazioni e settori, fornire informazioni dettagliate sia a livello di componente, sia a livello di sistema, adattarsi alle risorse computazionali disponibili, gestire la connettività con altri sistemi e sensori, indipendentemente dal numero di dispositivi collegati

Al fine di costruire un robusto ecosistema è bene sviluppare una serie di specifici passaggi.

In primis bisogna affrontare il tema della semantizzazione/classificazione degli oggetti. La semantizzazione rende i dati più "intelligenti" e significativi, consentendo loro di essere elaborati, analizzati e utilizzati in modo più efficace. Altro tema è quello delle interfacce, efficaci collegamenti a database o altri repository.

Un Digital Twin non deve per forza fare riferimento ad un unico repository di dati; i Digital Twin devono anche essere in grado di elaborare e analizzare dati significativi strutturati in un formato gestibile.

Appare chiaro come realizzare un gemello digitale sia un'attività non standardizzabile; siamo di fronte ad una vera e propria attività di System Integration.

Di seguito si riporta un possibile schema di un gemello digitale dove vengono evidenziati differenti tipologie di database rispetto ai quali il modello digitale può collegarsi.

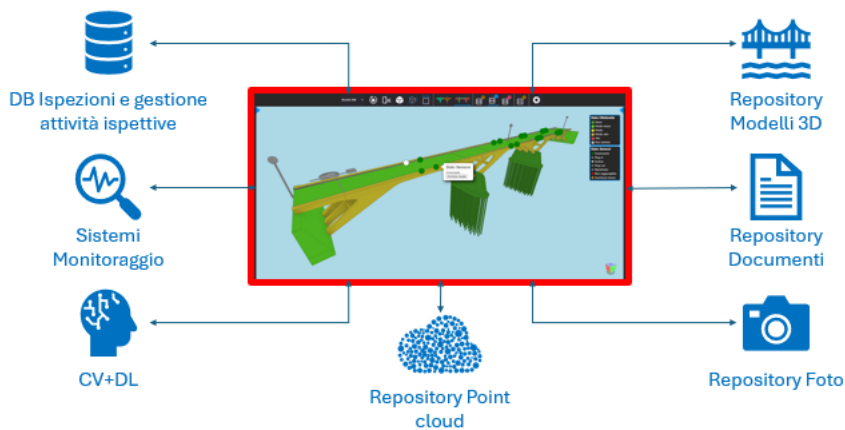


Figura 2: Differenti tipologie di database a cui un Digital Twin può collegarsi.

since 1990

HARPACEAS
Your digital partner

Integrazione di Modelli Geospaziali e Modelli BIM: dal Terreno all'Opera d'Arte

Se pensiamo ad un'infrastruttura immersa in un territorio, un ruolo chiave nella creazione di questo tipo di modelli digitali è giocato dai dati geospaziali.

I dati di ambito geospaziale comprendono informazioni topografiche (LiDAR, GIS e immagini satellitari) che forniscono una rappresentazione accurata del contesto spaziale in cui un edificio o un'infrastruttura si trova. L'integrazione dei dati geospaziali nei gemelli digitali consente di ottenere una visione dettagliata e dinamica, capace di rispecchiare non solo l'asset, ma anche l'ambiente circostante, come terreno, vegetazione e infrastrutture adiacenti.



Figura 3: Esempio di integrazione dei dati geospaziali in un gemello digitale.

Le tecniche di rilievo coinvolgono la raccolta di dati sulla forma, la dimensione, la posizione e altre caratteristiche di un oggetto o di un'area geografica specifica.

L'uso combinato di queste tecnologie consente agli specialisti di acquisire dati che possono essere utilizzati in vari settori, tra cui cartografia, agricoltura, gestione ambientale, ingegneria, pianificazione urbana e molto altro.

Una volta acquisiti i dati geospaziali, il passo successivo per creare un gemello digitale consiste nell'elaborazione e nella trasformazione di queste informazioni in un modello tridimensionale dettagliato e accurato. Adottando uno dei metodi più comuni per acquisire dati geospaziali tra quelli sopra descritti, in tempi ormai sempre più ragionevoli si arrivano a produrre le cosiddette *nuvole di punti*. Queste nuvole di punti rappresentano milioni (o miliardi) di coordinate nello spazio, ciascuna delle quali indica una posizione esatta su una superficie o su un oggetto.

Il passaggio dalla nuvola di punti al modello 3D è un processo complesso e articolato, che implica l'utilizzo di software di elaborazione e modellazione. In una prima fase, i dati della nuvola di punti vengono filtrati e puliti per rimuovere eventuali errori, rumori o duplicati, garantendo che solo le informazioni più rilevanti siano conservate. Successivamente, i punti vengono organizzati e collegati tra loro per formare superfici che definiscono le geometrie di edifici, infrastrutture e altri elementi del contesto.

since 1990

HARPACEAS
Your digital partner

Per ottenere un modello tridimensionale accurato e affidabile, i dati della nuvola di punti devono essere sottoposti a un processo di *filtraggio e pulizia* preliminare. Questo processo consiste in una serie di operazioni mirate a migliorare la qualità del dataset, rimuovendo elementi che possono compromettere la precisione del modello finale. Durante il rilievo è comune che si generino errori o rumori a causa di fattori come riflessioni indesiderate, interferenze ambientali, o limiti della strumentazione. Ad esempio, superfici altamente riflettenti o angolazioni sfavorevoli possono introdurre punti anomali o inaccurati nella nuvola.

Il processo di pulizia si concentra quindi sulla rimozione di questi *rumori*, eliminando i punti isolati o quelli che si discostano in modo significativo dal resto della geometria rilevata. Vengono individuati e rimossi eventuali *duplicati* – punti sovrapposti o molto vicini tra loro – per evitare ridondanze che appesantirebbero inutilmente il modello. Il filtraggio può anche includere la regolazione della densità dei punti: in alcune aree è possibile ridurre il numero di punti senza perdere dettaglio, concentrando l'attenzione solo sulle superfici e le forme rilevanti.

Il risultato è una nuvola di punti “ripulita” che contiene solo le informazioni essenziali per la creazione del modello 3D, dove la geometria rispecchia fedelmente le caratteristiche fisiche dell'oggetto o dell'ambiente rilevato. Questo passaggio è cruciale, perché assicura che le elaborazioni successive si basino su dati di alta qualità, riducendo il rischio di errori nel modello finale e migliorando l'efficienza complessiva del processo di trasformazione da nuvola di punti a modello tridimensionale.

Questa trasformazione dalla nuvola di punti al modello 3D è nota come *mesh generation* o generazione della mesh. Durante questo processo, si crea una rete di triangoli o poligoni che ricostruisce le superfici rilevate con un elevato grado di precisione. Queste mesh possono poi essere ulteriormente raffinate per migliorare la qualità e il dettaglio del modello, utilizzando algoritmi di interpolazione o semplificazione, a seconda del livello di dettaglio richiesto.

Una volta generato il modello 3D dalla nuvola di punti, è possibile aggiungere ulteriori informazioni geospaziali, come attributi specifici, texture o dati ambientali, che arricchiscono il gemello digitale e lo rendono pronto per analisi e simulazioni avanzate. Questa integrazione di dati tridimensionali dettagliati e informazioni di contesto è ciò che permette di ottenere un modello digitale completo e pronto per l'utilizzo nel ciclo di vita del progetto, dalla fase di progettazione fino alla gestione e manutenzione.

Una volta creato il modello tridimensionale, è possibile visualizzarlo e analizzarlo utilizzando software di grafica o software di analisi spaziale. Questa visualizzazione tridimensionale fornisce una rappresentazione realistica dell'oggetto o dell'area, consentendo agli utenti di esaminarne i dettagli da diverse prospettive.

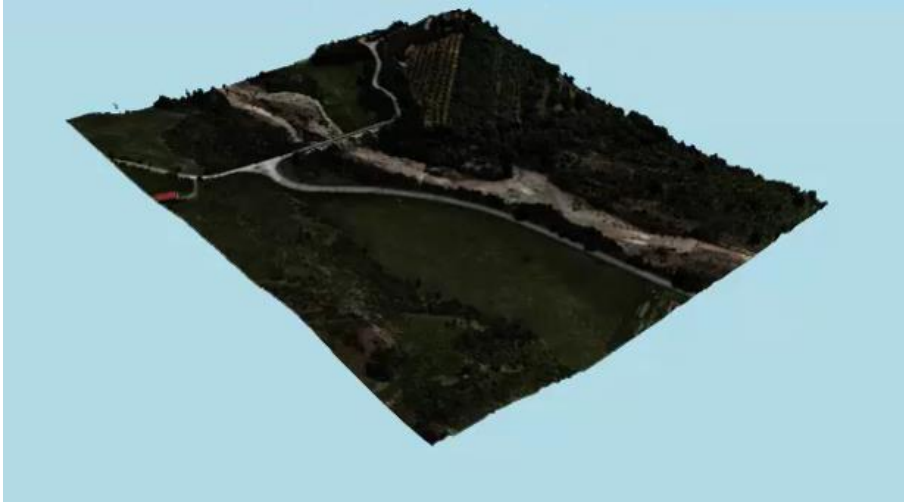


Figura 4: Esempio di rappresentazione realistica di contesto ambientale.

Nel momento in cui si intende visualizzare questa base di dati, bisogna prestare attenzione al tipo di strumenti che si hanno a disposizione. Un aspetto essenziale del dato geospaziale è la Georeferenziazione. La geomatica aiuta a georeferenziare i dati, ossia ad assegnare coordinate geografiche e a posizionare il dato in un contesto geospaziale preciso. Il georeferenzamento è il processo di assegnare coordinate geografiche a dati o informazioni, in modo che siano situati in un sistema di riferimento spaziale specifico, come le coordinate di latitudine e longitudine. Questo è fondamentale per attribuire una posizione geografica precisa a oggetti, punti di dati o strutture.

Nella fase di rappresentazione di questo tipo di dati, che possono abbracciare un contesto territoriale anche piuttosto ampio, è opportuno poter disporre di strumenti pensati per questo obiettivo.

Questi modelli tridimensionali dettagliati hanno numerose applicazioni in diversi settori. Ad esempio, nella progettazione di infrastrutture, come edifici, strade o ponti, i modelli tridimensionali consentono di valutare l'impatto delle nuove strutture sull'ambiente circostante. Nella geologia, i modelli tridimensionali aiutano a comprendere la struttura del terreno. Nell'archeologia, possono essere utilizzati per documentare e studiare siti storici.

Un Digital Twin" di un asset fisico, di un'infrastruttura in particolare, se da un lato è certamente una rappresentazione digitale di un oggetto fisico puntuale, ad esempio un ponte, una galleria, ecc...per quanto sopra scritto, è anche un "ambiente" dove si può rappresentare un'ampia varietà di dati anche piuttosto differenti tra loro.

Una volta creato un modello tridimensionale dettagliato di una porzione di terreno attraverso dati geospaziali, diviene quindi di interesse integrare questo modello con un'opera d'arte. Questo processo comporta la "fusione" tra due mondi di dati: da una parte, i dati geospaziali che definiscono il contesto fisico e ambientale, che abbiamo finora descritto, dall'altra il modello dettagliato dell'opera, realizzabile, ad esempio, con software di modellazione BIM (Building Information Modeling).

Il modello geospaziale del terreno fornirà una base topografica accurata, comprensiva di elementi come pendenze, corsi d'acqua, vegetazione e altre caratteristiche naturali (Figura 4). Questo modello permetterà di contestualizzare l'area in cui l'opera è inserita, consentendo di valutare, già in fase progettuale, come il

since 1990

HARPACEAS
Your digital partner

Il ponte interagisce con l'ambiente circostante. Parallelamente, il modello BIM del ponte rappresenterà, in modo più o meno dettagliato l'intera struttura: dalle fondazioni, agli elementi portanti, fino ai materiali e alle specifiche tecniche di ogni componente.

Anche l'operazione di realizzazione del modello dell'opera puntuale può partire da una fase di rilievo e quindi dal disporre di una nuvola di punti.

Di seguito si riporta una tipica nuvola di punti già con elevato dettaglio di un ponte esistente.



Figura 5: Nuvola di punti di un ponte ad elevato contenuto informativo.

Il modello BIM dell'opera potrà essere realizzato a partire da questa base dati. Di seguito l'esempio del modello BIM sovrapposto alla nuvola di punti ai fini di una verifica di congruenza.

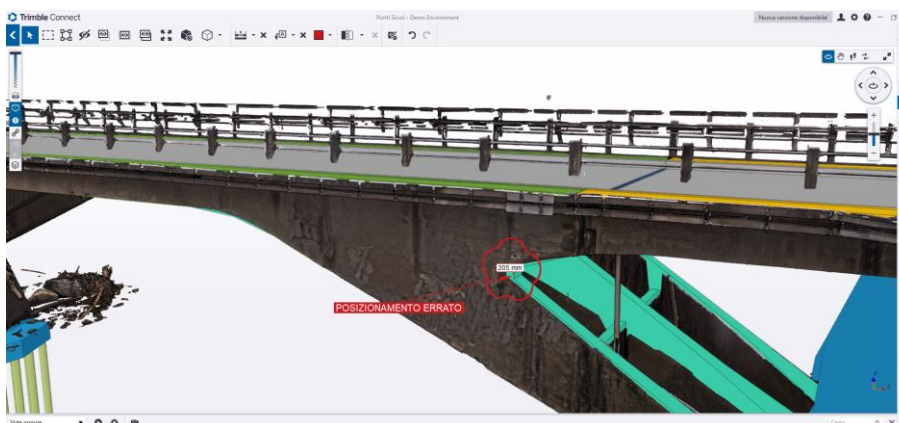


Figura 6: Modello BIM sovrapposto a nuvola di punti.

L'integrazione tra questi due modelli richiede l'uso di piattaforme software capaci di gestire sia dati geospaziali sia dati BIM, e in grado di garantire l'interoperabilità tra i formati (come IFC per i modelli BIM e i dati geospaziali in formati GIS). Una volta combinati, i modelli permettono ai progettisti di avere una visione completa e tridimensionale dell'opera in relazione al contesto reale. Ad esempio, è possibile valutare

l'impatto visivo e ambientale del ponte sul paesaggio, studiare la stabilità delle fondazioni in base alla conformazione del terreno, e simulare scenari di costruzione per identificare potenziali criticità.

Un modello siffatto, digitale, può essere utilizzato per simulare, analizzare e monitorare l'oggetto o l'area fisica corrispondente.

Creazione del gemello digitale

Una volta realizzato il modello digitale completo, si può arricchirlo inserendo fonti di intelligenza negli oggetti virtuali, creando così il vero e proprio gemello digitale (finora composto solo da oggetti 3D di varia natura), per stabilire un "sistema" in grado di realizzare un'attività dinamica di relazione tra mondo fisico e mondo reale; ad esempio, possiamo pensare al monitoraggio, in tempo reale, dello stato di salute degli oggetti o dei luoghi rappresentati nei Digital Twin.

A tal fine si può pensare all'inserimento di sensori e strumenti sia legati all'opera singola sia adatti a raccogliere dati di tipo geospaziale.

I sensori geospaziali comprendono una varietà di dispositivi in grado di rilevare informazioni relative alla posizione, al movimento e ad altre caratteristiche geografiche del mondo reale. Possono essere montati su veicoli, droni, apparecchiature di monitoraggio o essere incorporati in strutture o oggetti. Alcuni esempi includono sensori GPS, sensori LiDAR, telecamere aeree e sensori di temperatura, umidità, o qualità dell'aria.

Questi sensori e strumenti sono in grado di raccogliere dati in tempo reale, ovvero dati che riflettono condizioni attuali nel mondo reale. Ad esempio, un sensore GPS può fornire costantemente dati sulla posizione di un veicolo in movimento, mentre un sensore di qualità dell'aria può fornire informazioni istantanee sulla qualità dell'aria in una determinata posizione.

Altro esempio può essere un sensore GPS posto su un veicolo, che rilevi un cambiamento nella sua posizione; il Digital Twin corrispondente verrà aggiornato per riflettere questa nuova posizione.

Nel caso invece di apparecchiature IOT relative all'opera puntuale, viene svolta un'attività di arricchimento a diversi livelli; per realizzare questa attività si sfruttano le potenzialità disponibili negli strumenti di Model Collaboration.

Grazie a questa tipologia di piattaforme è possibile instaurare un accesso al modello virtuale tramite una logica ad inviti, consentendo un'efficace gestione dei livelli di permesso per l'accesso ai dati (che in molti casi sono decisamente sensibili); i partecipanti possono generare notifiche automatiche indirizzate agli altri interessati per segnalare criticità varie; i dati rimangono sempre protetti e si possono effettuare operazioni quali il caricamento di documenti relativi all'opera anche di tipo massivo, al fine di creare un archivio digitale dell'opera d'arte.

Altro tipo di arricchimento è quello che consente il collegamento ai sensori. Ipotizzando che l'opera sia disseminata di opportuna sensoristica (accelerometri, inclinometri, ecc...) è possibile realizzare una visualizzazione speciale che indichi il livello di severità di risposta di un sensore, ad esempio, nel caso si stia misurando il passaggio di un carico pesante che possa andare fuori dal range accettabile il sensore.



Figura 7: Visualizzazione in un Digital Twin dell'output della sensoristica applicata ad un ponte.

Più in generale, in un Digital Twin che ospita dati di ambito territoriale (geospaziale) e puntuali si potranno realizzare collegamenti tra l'oggetto digitale e quello fisico reale al fine di poter garantire un'overview complessiva del "sistema", potendo così adottare una visione sia di ambito territoriale (ad esempio, controllare eventi critici quali gli effetti di un terremoto o una situazione di rischio di ambito idraulico), sia informazioni localizzate in prossimità dell'opera; si può pensare di avere a disposizione un pannello di gestione degli eventi nel quale sarà possibile evidenziare lo stato di tutti questi sensori, potendo verificare dove è accaduto un certo evento.

L'uso di sensori e strumenti per raccogliere dati in tempo reale e aggiornare il Digital Twin in base a questi dati è fondamentale per sfruttare appieno i vantaggi dei modelli digitali nel mondo reale.

L'aggiornamento continuo dei Digital Twin e tutti gli strumenti grafici e di rappresentazione che può essere possibile realizzare, consente senz'altro di ottenere un efficace controllo, monitoraggio e gestione dello stato di salute dell'opera inserita in un determinato contesto territoriale. Questo può portare a una maggiore efficienza operativa, una migliore manutenzione preventiva e una risposta più rapida alle eventuali situazioni di emergenza.

Utilizzo di algoritmi di Intelligenza artificiale

Si conclude questo articolo affrontando nel breve il tema dell'abbinamento e completamento dell'integrazione finora discussa tra dati geospaziali, BIM e sensori IoT con l'aggiunta di algoritmi di intelligenza artificiale (AI).

Grazie ai sensori, il gemello digitale può raccogliere dati in tempo reale su parametri come la temperatura, l'umidità, le vibrazioni strutturali e l'usura dei materiali. Gli algoritmi di intelligenza artificiale possono analizzare questi dati per rilevare anomalie e pattern che potrebbero indicare futuri problemi strutturali. Questo può essere sfruttato per pianificare interventi manutentivi prima che si verifichino guasti, riducendo i costi di manutenzione e aumentando la sicurezza.

Un gemello digitale “predittivo” può ottimizzare l’uso delle risorse, in questo caso legate agli investimenti per intervenire efficacemente sull’opera.

La combinazione di dati geospaziali e modelli BIM offre una comprensione completa dell’ambiente in cui l’opera si trova. L’AI può analizzare dati storici e ambientali per simulare e prevedere come condizioni esterne – eventi meteorologici estremi o cambiamenti nel terreno – potrebbero influenzare la struttura. Queste simulazioni aiutano a prendere decisioni informate e a gestire i rischi in modo proattivo.

Durante le fasi di costruzione e gestione, il gemello digitale può ottimizzare i processi operativi, identificando potenziali ritardi o inefficienze. Le previsioni basate sull’AI consentono di migliorare la programmazione e di adattare il piano di costruzione per evitare ostacoli, garantendo che il progetto venga completato nei tempi previsti e con costi controllati.

L’intelligenza artificiale può elaborare enormi quantità di dati e sintetizzarli in informazioni comprensibili e utilizzabili dai decisori. Le previsioni e le raccomandazioni fornite dall’AI aiutano i gruppi di gestione e i responsabili della sicurezza a prendere decisioni basate su dati concreti e su analisi predittive, migliorando la resilienza dell’opera e la qualità delle strategie a lungo termine.

In sintesi, un gemello digitale che integri dati geospaziali, BIM, sensori e intelligenza artificiale, per capacità predittive diventa uno strumento fondamentale per garantire la sicurezza, l’efficienza e la sostenibilità delle opere nel lungo termine. Questa tecnologia permette di affrontare con maggiore consapevolezza le sfide dell’ambiente costruito, portando benefici concreti sia in termini di costi che di impatto ambientale e sociale.