

Smart City verso i Digital Twins

Paolo Nesi

Università di Firenze, DISIT Lab <https://www.disit.org>, <https://www.snap4city.org>

email: paolo.nesi@unifi.it , cell: 335-5668674

Abstract: Le città sono sistemi sociotecnici che evolvono in base ad obiettivi strategici e a fronte di eventi più o meno attesi. La spinta verso nuove soluzioni per il miglioramento della qualità della vita, e la riduzione dei costi devono trovare compromessi con l'innovazione e la gestione del presente. Le nuove sfide per la pianificazione e per essere in grado di reagire prontamente agli eventi, passano dalla messa in opera di soluzioni di digitalizzazione che necessariamente includono modelli Digital Twin, come base per i sistemi di supporto alle decisioni. Questi, a loro volta, possono sfruttare le nuove tecnologie dell'intelligenza artificiale, della rappresentazione 3D, dei big data che possono mettere a disposizione potenti mezzi di analisi con capacità predittive e prescrittive mai viste fino ad ora. Su questa linea il DISIT Lab presenta l'infrastruttura Snap4City ed il modello Digital Twin, che è alla base di varie viste delle control room della città di Firenze, come di altre città ed industrie in Europa.

Keywords: Digital Twin, Smart City, Decision Support, What-IF, Big Data, Data Analytics

1. Introduzione

Le città devono rapidamente trasformare i loro servizi per affrontare le sfide che sono in continua mutazione in ambito sociale, ambientale, energetico ed economico, senza per questo perdere la loro caratterizzazione. Ogni città ha una sua vocazione, che deriva dalle sue radici e dal tessuto sociale ed imprenditoriale. Negli ultimi anni, in molte città si sono viste varie soluzioni smart verticali, alcune di queste hanno soddisfatto necessità specifiche con buoni risultati; alcune si sono dimostrate non adeguate a competere sulle nuove sfide, per certi versi più strutturali. Per esempio, lo sviluppo di soluzioni di smart parking per ridurre il tempo di ricerca del parcheggio ha portato vantaggio per i gestori dei parcheggi e anche per l'amministrazione cittadina e l'utente finale. Questi tipi di soluzioni verticali digitali hanno un respiro limitato, ed in un certo senso sono state viste come soluzioni per le quali si può fare a meno di investire, visto il primario interesse delle imprese coinvolte. Questo approccio è risultato valido in vari contesti ma non su tutti gli aspetti della gestione cittadina, e in qualche modo ha delegato ad altri alcuni aspetti di innovazione e governo, anche in modo opportunistico.

Oggi, l'attenzione si è spostata dalle soluzioni verticali alle infrastrutture e a una visione funzionale che deve mettere al centro le necessità dell'evoluzione cittadina finendo per chiedere alla tecnologia soluzioni digitali per migliorare la qualità della vita [1]. In tale contesto, il gemello/modello digitale, il Digital Twin, non è un mero aspetto additivo che le imprese possono portare alla città facendo profitto. In molti casi, la modellazione digitale per la simulazione o come controparte delle strutture fisiche è funzionale alla pianificazione strategica e alla gestione del bene pubblico e spesso in parte minore produce effetto su soluzioni verticali commerciali. I modelli Digital Twin dovrebbero essere i primi ad essere costruiti per comprendere l'evoluzione e le reazioni delle città agli accadimenti naturali o meno in sinergia con il costruito fisico. Difficilmente, i modelli digitali 3D, proposti per attrarre il turista o il consumatore sui mondi virtuali in internet, possono modellare e rappresentare gli aspetti funzionali alla gestione delle città. Come evidenziato in [2], l'interpretazione più popolare

dei Digital Twin in un contesto di città intelligente è stata la mappatura geospaziale delle aree urbane su modelli 3D combinati con alcuni dati esistenti, insieme a dati in tempo reale dal mondo IoT e Smart City in generale, ma sempre in modo molto slegato gli uni con gli altri. A questo riguardo vi sono molti esempi di varie città che hanno concentrato i loro sforzi per produrre una rappresentazione 3D come: Boston, Helsinki, Rotterdam, Londra, Monaco, Anversa, etc. In molti casi, tali rappresentazioni non comprendono un vero Digital Twin global ma solo una rappresentazione grafica, in cui i singoli edifici non sono identificabili come entità separate con una descrizione di Digital Twin Local che corrisponde alla loro struttura interna e sulla quale vi dovrebbero essere connessi servizi, dati, e funzioni. Per esempio, ogni edificio con il suo modello BIM (Building Information Modeling).

Questo aspetto pare riprendere quanto è accaduto in passato per gli open data. Questi ultimi sono un buon veicolo di marketing e di informazione territoriale, mentre i dati per la gestione cittadina sono per molti versi più tecnici e difficili da comprendere e riusare per il cittadino. Questi problemi sono dovuti in parte al limitato valore dei dati statici per gli utenti che fruiscono la città che di fatto cercano dati in tempo reale. Quando l'utente della città cerca informazioni sui motori di ricerca come sulle Mobile App cerca informazioni sulla situazione presente, il contesto in tempo reale o meglio ancora le previsioni (meteo, parcheggi, presenze al ristorante, presenze ai musei, etc.). La parte la maggior parte dei dati che aiutano a comprendere il contesto, sono dati statici o quasi statici, solo una piccola parte sono dati dinamici che immancabilmente risultano essere i più richiesti. Per esempio, dati satellitari, dati di traffico, lo stato dei parcheggi, etc., e molti di questi dati in tempo reale non sono di facile comprensione, determinano volumi rilevanti, non sono adatti ad essere fruiti direttamente, e non sono integrati con i dati di contesto. Le soluzioni di aggregazione dati per le Smart City hanno risolto alcuni di questi problemi, ma ora devono estendere i modelli alle rappresentazioni 3D, Digital Twin e BIM.

Per perseguire questi obiettivi, negli ultimi anni le città hanno investito in ecosistemi intelligenti per fornire servizi di alta qualità a cittadini e imprese. I sensori/attuatori in contesti e posizioni strategiche aiutano le città a ottimizzare i propri servizi, ridurre i costi e migliorare le prestazioni dell'infrastruttura fisica. Pertanto, sono una parte fondamentale della gestione delle città intelligenti. Ma ora vi sono nuove sfide per aumentare la qualità della vita, come la riduzione dei problemi ambientali e di sostenibilità energetica. Da questi vari trend e indicatori che cercano di fornire delle misure sullo stato di avanzamento: la spinta verso le città a 15 Minuti (per la quale i servizi primari dovrebbero essere accessibili al massimo in "15 minuti a piedi") [3]; i Sustainable Development Goals, SDG, delle Nazioni Unite (per i quali le città si possono impegnare maggiormente sul raggiungimento di alcuni dei 17 SDG, <https://sdgs.un.org/goals>); il raggiungimento degli obiettivi della Commissione Europea in termini di emissioni di NO2, PM10, PM2.5 (https://environment.ec.europa.eu/topics/air_en); la migrazione verso le città più grandi che garantiscono maggior reddito e qualità della vita, e recentemente si sono evidenziati casi di fuga dalla città per andare verso quartieri o aree periferiche dove gli ambienti sono più orientati alla qualità della vita, etc., per alcuni utenti che hanno lavori adatti allo Smart Work.

Le città ed i loro amministratori hanno preso coscienza che l'evoluzione della città non è una partita che possono giocare da soli. Cresce la spinta verso l'innovazione sociale, con la creazione di un ecosistema virtuoso e condiviso per la gestione dei servizi e pertanto dei dati per consentire un migliore processo decisionale per il governo, le imprese e i residenti degli stakeholder [4]. Questo approccio può essere visto come un'applicazione del modello a Quadrupla Elica applicato al dominio delle smart city ed è in grado di attirare gli attori della città come l'industria, il governo, la ricerca e la società per impostare un processo per creare l'ambiente in cui avviare il processo di innovazione continua in cui i bisogni dei cittadini e la qualità della vita sono centrali, nell'innovazione e nella

collaborazione secondo la prospettiva cittadino/utente finale. Tra i diversi approcci, abilitati dal modello a Quadrupla Elica, possiamo trovare le soluzioni di Living Lab [5]. Queste forniscono un ambiente collaborativo in cui le diverse attività sono inserite e attivate a disposizione di tutti gli stakeholder in base alle loro competenze, profili e aspettative, e dove la governance deve essere condivisa su tavoli di concertazione. I vari partner sul territorio (gli stakeholder: industria, commercio, università e ricerca, e cittadini) possono fornire canali reali in cui le informazioni e le azioni possono fluire in entrambe le direzioni, fornire dati ma anche produrre innovazione e valore dal quale trarre vantaggio della crescita dell'ecosistema.

2. Le nuove sfide

Oggi, le smart city presentano nuove sfide per: (i) pianificare al meglio la gestione dei flussi turistici, (ii) incrementare l'efficienza nella gestione degli eventi di manutenzione della città, (iii) essere pronti a ridurre i tempi di risposta ad eventi inattesi, (iv) ottimizzare la mobilità globale della città armonizzando il trasporto pubblico con le soluzioni di sharing, etc.; possono portare vantaggi concreti alla città e in una certa misura anche ad operatori, tali da motivarli a contribuire allo sviluppo di soluzioni innovative. Gli investimenti sono ingenti, e solo tramite azioni sinergiche si possono trovare le risorse per affrontare le nuove sfide.

Le nuove sfide delle smart city si combattono con lo sviluppo di soluzioni per il supporto alle decisioni (DSS, Decision Support Systems), che sulla base di informazioni oggettive cercano di mediare fra obiettivi multipli come l'incremento della qualità della vita dei cittadini, il miglioramento dei servizi, la riduzione dei costi, l'innovazione, l'attrattività per turisti e/o industrie e/o attività commerciali, etc. A questo fine, è necessario dotarsi di modelli e strumenti di analisi flessibili e dinamici altamente interoperabili per sfruttare al meglio i dati eterogenei che provengono dal territorio, dalle strutture e dai servizi della città e dagli stakeholder. Tutte le informazioni e conoscenze, dati devono poter essere aggregati in Digital Twin integrati per essere utilizzabili da strumenti di simulazione e da algoritmi di predizione a breve, lungo, e lunghissimo termine in modo da analizzare scenari incipienti ma anche situazioni future per la pianificazione strutturale, per la what-if analysis (in cui dato uno scenario non preventivamente studiato, il sistema deve essere in grado di rispondere in tempo reale con simulazioni e prescrizioni). Di conseguenza, le infrastrutture smart city devono essere in grado di sfruttare modelli Digital Twin integrati, per applicare, condizioni e scenari e fornire al processo decisionale indicazioni e prescrizioni su come il sistema potrebbe/dovrebbe evolvere. A questo riguardo le soluzioni di Intelligenza Artificiale con le moderne tecniche che permettono di spiegare al decisore le motivazioni delle predizioni e delle prescrizioni, e simulazioni, XAI (Explainable AI). Queste risultanze possono e devono essere accessibili per gli operatori, per i decisori ma anche per tutti gli stakeholder e per i cittadini; per illustrare e discutere con loro possibili soluzioni e piani di sviluppo. Le tecniche di XAI vanno a fornire al decisore pubblico supporto etico e spiegazioni di dettaglio sulle motivazioni alla base dei suggerimenti forniti dal modello al decisore in modo che questo possa comprendere il processo e le motivazioni e rivalutarne gli aspetti tecnici, etici, sociali della scelta, come farebbe ascoltando un suo esperto di fiducia.

In questo contesto, la smart city è sottoposta a una valutazione continua delle sue prestazioni in termini di KPI (key performance indicator) che possono essere focalizzati su obiettivi generali in diversi ambiti (es. governo, ambiente, energia, mobilità). Che altro non sono quelli citati in precedenza, ed altri più tecnici in base alla vocazione di ogni singola città. La disponibilità di una piattaforma smart city in grado di pianificare e prevedere rende possibile la valutazione continua e il calcolo dei KPI tecnici sulla base dei KPI di alto livello in tempo reale. Gli effetti e le possibilità sugli

scenari possono essere valutati tramite KPI e dashboard di alto livello, consultati quotidianamente dal sindaco e dagli assessori della città, ma anche dagli stakeholder della città.

3. I Sistemi di Supporto alle Decisioni

Le informazioni che sono alla base dei sistemi di supporto alle decisioni, sono tipicamente complesse ed eterogenee, strutturate e non strutturate, storiche ed in tempo reale, pubbliche ma anche private e presentano dati sensibili per la sicurezza. Questa complessità non è gestibile dai soli sistemi GIS (Geographical Information System), dai sistemi di ITS (Intelligent Transport System), dai sistemi AVM per la gestione mezzi, dai sistemi e dalle reti IoT (Internet of Thing), e tantomeno dai sistemi di gestione delle risorse, etc.; tutte queste soluzioni sono soluzioni verticali che difficilmente sono in grado di tenere in considerazione il contesto globale della città o anche di un'area, tenendo conto di tutti gli aspetti e delle loro relazioni reciproche. Si ha a che fare con sistemi sociotecnici complessi che evolvono nel tempo, per i quali si deve essere in grado di sviluppare algoritmi predittivi e modelli simulativi ottimizzati ed integrati per fornire indicazioni al decisore.

In questo contesto è nato il concetto di Digital Twin che rappresenta un gemello digitale del singolo sottosistema (Local Digital Twin) come dell'intera città o di parte di questa (Global Digital Twin). Il Digital Twin dovrebbe essere in grado di modellare dati di varia natura e di mantenerli collegati fra di loro e con la sua controparte nel mondo fisico. Per esempio, un edificio con il suo modello BIM (Building Information Modeling) con il dettaglio dei piani, dei sottosistemi idraulici, elettrici, servizi, dei materiali costruttivi, etc.; i sistemi di controllo con i dati in tempo reale (dati del mondo IoT) degli stessi (caldaie, condizionatori, impianti elettrici, sensori, connessione di rete, etc.); eventi e loro evoluzione dello stato; dipendenze funzionali e strutturali; relazioni con le destinazioni d'uso e l'uso stesso che ne viene fatto dalle persone; aspetti microclimatici; etc.

Nel passare dal modello del singolo edificio, che può essere anche molto complesso per il suo livello di dettaglio, ad un modello Global Digital Twin della città vi sono alcuni aspetti che incrementano in modo notevole la complessità del modello e pertanto dei corrispondenti modelli di analisi, simulazione e predizione. Per esempio per la presenza di reti di trasporto private e pubbliche, dei sistemi di recupero dei rifiuti, le condizioni meteo, la gestione delle emergenze, i flussi turistici, le matrici di origine destinazione, le attività commerciali, il decoro urbano, l'illuminazione pubblica, i parcheggi, le aree verdi, la pulizia, la sicurezza sulla strada e nelle parti pedonali, i luoghi di intrattenimento, le attività culturali, i punti attrazione e aggregazione della città, ma anche la rappresentazione 3D della città con gli aspetti geomorfologici, idrogeologici, etc.

Pertanto, la costruzione di modelli Global e Local Digital Twin è un'operazione complessa che sta lanciando molte sfide a causa della sua complessità in termini di modello dati, di rappresentazione e di data analytic, tutti aspetti che possono rendere più preciso e completo un sistema di supporto alle decisioni. Non per ultimo il fatto che le moderne tecniche di Intelligenza Artificiale, AI (o per meglio dire di machine learning, deep learning, etc.), e XAI, che traggono vantaggio dallo sfruttamento di dati eterogenei che possono completare il modello fornendo aspetti di ordine superiore rispetto alle analisi statistiche che per molto tempo hanno guardato solo all'evoluzione delle serie storiche.

Viene da chiedersi se un modello completo e complesso di Digital Twin come quello descritto in precedenza produce dei reali vantaggi da motivare la sua costruzione e fino a che livello di dettaglio. La ricerca sta lavorando per dare risposta a questa domanda. L'unico modo che abbiamo per fornire risposte è sviluppare modelli e sperimentazioni multidimensionali e con team multidisciplinari, e valutare in modo rigoroso benefici ed effetti. Le sperimentazioni in atto stanno dimostrando che i

modelli Digital Twin possono fornire una migliore visione di contesto a supporto delle decisioni e per la What-If Analysis perché:

- **Aumentano il livello di confidenza della percezione e comprensione del sistema** fornendo informazioni di varia natura in una stessa vista. Mentre la visione del **modello fisico non è in grado di fornire** tali informazioni in modo immediato, alcune non sono facilmente raggiungibili o percepibili. Si pensi all'analisi di un segmento di strada che prima di un eventuale intervento, tramite il Digital Twin, vi permetta di conoscere la posizione delle tubature (ma anche reti elettriche, di comunicazione, di scarico, etc.) ma anche il loro utilizzo/carico, e se vi possono essere alternative per ridirezionare il flusso anche in via temporanea.
- **Possono fornire una visione preventiva/predittiva della situazione che si verrà a creare nel futuro contestualmente realistica e a basso costo.** Per esempio, per valutare l'impatto della costruzione di edifici: traffico stradale che si verrà a ridistribuire in altre direzioni (con corrispondente produzione di rumore e di NOX), a causa; cambiare la direzione del vento, ed in certi orari della giornata cambiare la distribuzione del particolato; costringere a modificare l'offerta del trasporto pubblico, impattare sui ritardi dei mezzi, e sulla vita di decine e centinaia di persone. Visioni di questo tipo possono essere di ausilio alla discussione con la cittadinanza prima di prendere decisioni importanti per la ristrutturazione della città.

Per questi motivi, gli aspetti relativi alla modellazione Digital Twin hanno acquisito un interesse crescente, poiché consentono di creare un contesto, sufficientemente accurato e poco costoso in cui i decisori possono eseguire analisi, simulazioni, pianificazione e monitoraggio in diversi domini e aree di applicazione. In questo contesto, le informazioni sui dati spaziali possono fungere da abilitatore per applicazioni intelligenti e sistemi di supporto alle decisioni, a condizione che siano interoperabili con soluzioni già presenti e future [1].

4. Snap4City vs Digital Twin

I nostri risultati di ricerca in questo contesto come le nostre esperienze si sono sviluppate nel contesto della piattaforma big data open source Snap4City sviluppata presso DISIT Lab, Università di Firenze (<https://www.snap4city.org/>), [6] [7], [8], ed ora abbastanza diffusa in Europa e che è alla base di varie viste della Control Room della città di Firenze come di altre città ed industrie in Europa. La piattaforma Snap4City (FIWARE Platform, EOSC solution, e Node-RED Library, GDPR compliant) gestisce fonti di dati eterogenee, da oltre 190 standard diversi, quali: dispositivi IoT (sensori e attuatori di città, nonché dispositivi privati, che supportano un'ampia varietà di broker e protocolli), dati aperti, servizi esterni, GIS, satellitari, BIM, flussi, matrici origine destinazione, e rappresentazioni 3D Digital Twin, etc. Per ogni diverso tipo di dati vengono raccolti attributi statici (come informazioni geografiche e altri metadati) e anche dati in tempo reale, anche tramite reti IoT di qualsiasi natura. I dati di ogni entità della città sono indicizzati semanticamente in una Knowledge Base, KB, un RDF store (uno storage a grafo che permette la modellazione delle relazioni semantiche), che consiste in un sistema esperto della città. I dati provenienti da IoT Device sono connessi alla KB e come serie temporali sono gestite in storage elastico noSQL (Open Search, AWS), una evoluzione di Elastic Search.

I dati organizzati e connessi fra di loro in una struttura a grafo possono essere sfruttati da processi di Data Analytics (trasformazione, statistica, ricerca operativa, machine Learning, AI, XAI e simulazioni integrate) e dalle applicazioni IoT per eseguire analisi, simulazioni, previsioni, e come supporto alle decisioni, per esempio su processi di What-If Analysis. Ciò consente agli utenti di produrre nuova conoscenza sul sistema e la sua evoluzione e pertanto nuovi dati. I dati originali, come

quelli prodotti e le nuove situazioni possono essere mostrati sull'interfaccia utente 3D tramite Dashboard e un'ampia gamma di rappresentazioni grafiche interattive: trend temporali, torte, matrici, tabelle, chord, spider, distribuzioni, gerarchie, mappe, trend comparativi, heatmap, calendar, etc. Si fornisce un'integrazione del modello 3D fotorealistico della città ottenuto tramite algoritmi di visione artificiale e di intelligenza artificiale da dati LIDAR, da immagini satellitari e da rilevazioni fotogrammetriche del territorio (si veda Figura 1).

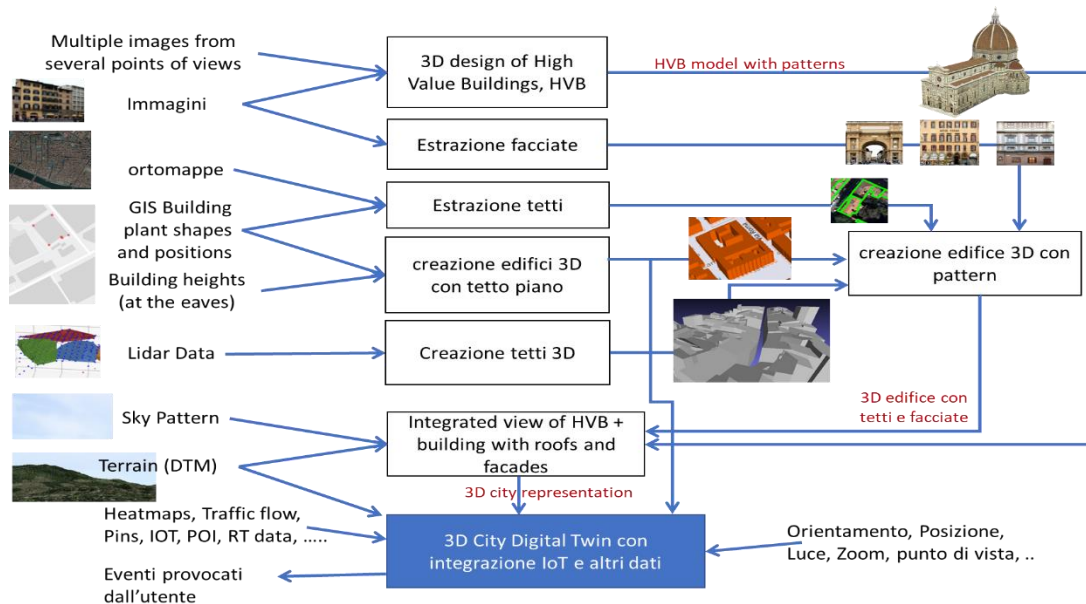


Figure 1: Processo di produzione del Digital Twin Global, una parte.

La piattaforma Snap4City fornisce una rappresentazione **Digital Twin Global e Local** che consente la visualizzazione in 3D (che si basa su modelli IFC con innesti di grafica di vario tipo, che va oltre il modello CityGML) del contesto cittadino a vari livelli di definizione e con varie informazioni sui servizi, flussi del traffico, flussi persone, dati ambientali, predizioni di inquinanti, etc., anche tramite rappresentazioni a creste, pillar, icone dinamiche, mappe di calore calibrate, punti di interesse, servizi, percorsi bus, piste ciclabili, etc. (si veda **Figura 2**); ed è in grado di passare al livello di Digital Twin Local, fornendo una rappresentazione BIM dove ancora possono essere connessi dati e altre informazioni numeriche e strutturali. A questo riguardo il DISIT Lab ha proposto e sviluppato soluzioni per la produzione di modelli Digital Twin Global a basso costo ed elevata automazione partendo da rilievi, immagini, ortomappe, LIDAR, etc., attraverso tecniche di aggregazione della computer vision e con algoritmi di artificial intelligence [9], tutto in ottica Open Source.

- [7] P. Bellini, F. Bugli, P. Nesi, G. Pantaleo, M. Paolucci, I. Zaza, "Data Flow Management and Visual Analytic for Big Data Smart City/IOT", 19th IEEE Int. Conf. on Scalable Computing and Communication, IEEE SCALCOM 2019, Leicester, UK <https://www.slideshare.net/paolonesi/data-flow-management-and-visual-analytic-for-big-data-smart-cityiot>
- [8] E. Bellini, P. Bellini, D. Cenni, P. Nesi, G. Pantaleo, I. Paoli, M. Paolucci, "An IoE and Big Multimedia Data approach for Urban Transport System resilience management in Smart City", Sensors, MDPI, 2021, <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/2/435/pdf>
- [9] L. Adreani, P. Bellini, C. Colombo, M. Fanfani, P. Nesi, G. Pantaleo, R. Pisanu, "Digital Twin Framework for Smart City Solutions", DMSVIVA 2022, The 28th International DMS Conference on Visualization and Visual Languages, KSIR Virtual Conference Center, Pittsburgh, USA, June 29 - 30, 2022, <http://ksiresearch.org/seke/dmsviva22.html>, Best Paper Award
- [10] L. Adreani, C. Colombo, M. Fanfani, P. Nesi, G. Pantaleo, R. Pisanu, "A Photorealistic 3D City Modeling Framework for Smart City Digital Twin", SCC workshop at IEEE SMARTCOMP, June 2022, Aalto University, Espoo, Finland. <https://smartcomp.aalto.fi/>