



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in
"Pianificazione territoriale, urbanistica e paesaggistico-ambientale"
A.A. 2022/2023
Sessione di Laurea Luglio 2023

Sperimentazione di tecnologie innovative di rilievo e gestione del dato territoriale

Verso il Digital Twin

Relatore:

Garnero Gabriele

Candidati:

Agugiaro Andrea s291982

Raineri Carolina s291957

Il presente lavoro di tesi è stato sviluppato a partire dall'attività di tirocinio svolta presso il Comune di Torino, sotto la supervisione del tutor aziendale Pirrello Gianfranco e il tutor accademico Garnero Gabriele.

Sommario

Introduzione	5
1.Il futuro delle Smart City, il Digital Twin	7
1.1 Smart City	11
1.1.1.Caratteristiche delle Smart Cities	13
1.1.2 Smart Cities in Italia	18
1.1.3 Applicazione pratica delle Smart Cities	20
1.2 Digital Twin	22
1.2.1 Caratteristiche e vantaggi del Digital Twin	29
1.2.2 Casi esteri di messa in pratica del Digital Twin	32
2 Le strumentazioni per il rilievo	52
3 Esperienza diretta presso il comune di Torino	71
4 Il triangolo Genova, Milano e Torino verso il Digital Twin	88
4.1 Analisi caso studio di Genova	90
4.1.1 Ambiti di utilizzo del Digital Twin a Genova	99
4.2 Analisi caso studio di Milano	113
4.2.1. Ambiti di utilizzo del Digital Twin a Milano	122
4.3 Analisi caso studio di Torino	128
4.3.1. MAAS4ITALY: sperimentazione MAAS e Living Lab to Move	130
4.3.2. UTWIN TORINO: caso studio centro d’innovazione Nuvola Lavazza e scuola di Lessona	138
4.3.3. CO.R.IN.TE.A SOC. COOP, cooperativa per la ricerca delle innovazioni tecnologiche in agricoltura	145
4.3.4. Incontro URBAN LAB: Città parallel-e- spazi urbani e intelligenza artificiale	151
4.4. Confronto tra le città italiane ed estere	156
5 Caso pratico: rilievo piazzale Stadio Grande Torino	162

5.1 Tecniche di rilievo	163
5.2 Elaborazione dati rilevati	168
Conclusioni	191
Sitografia	194
Bibliografia	200
Allegati	202
Ringraziamenti	203

Contributi

Raineri Carolina ha curato il Capitolo 1

Agugiario Andrea ha curato il Capitolo 2

Raineri Carolina ha curato il Capitolo 3

Agugiario Andrea ha curato il Capitolo 4

Contributo paritario per il Capitolo 5

Introduzione

Con il passare del tempo le città stanno accrescendo sempre di più la loro importanza, dato l'aumento di popolazione che tende a spostare la propria residenza nei principali centri urbani, con una conseguente crescita, da un punto di vista economico, sociale ed urbanistico, della complessità di gestione dei numerosi sistemi che vengono a crearsi. Inoltre, gli Stati appartenenti all'ONU, oltre a dover fronteggiare le sfide sopracitate, devono sostenere un processo di evoluzione che sia coerente con le sfide per uno sviluppo sostenibile previste dall'Agenda 2030.

Nel seguente elaborato di tesi si è deciso di analizzare il tema dello sviluppo urbano e dei supporti tecnologici che si stanno sviluppando, in quanto nella pratica della pianificazione territoriale è necessario prendere in considerazione tutti gli elementi che costituiscono la complessità urbana.

Come supporto alle fasi della progettazione interviene lo strumento del Digital Twin, anche detto gemello digitale, possibile grazie all'utilizzo dei nuovi strumenti di rilievo e i software di elaborazione dei dati.

Per comprendere meglio le tematiche trattate, il lavoro fonda le sue basi sull'esperienza di tirocinio svolto al Comune di Torino, sotto la supervisione del geometra Pirrello, grazie al quale è stato possibile comprendere la complessità di gestione delle informazioni e dei dati alla base della gestione della progettazione di una città come Torino. Inoltre è stato possibile effettuare dei rilievi territoriali con le nuove strumentazioni per comprenderne le potenzialità. Sulla base di queste esperienze si è di seguito strutturato l'elaborato con una prima sezione relativa al concetto di Digital Twin e di Smart City, trattandosi di una componente fondamentale per comprendere al meglio lo strumento che si sta andando a

definire, per poi passare al capitolo relativo alle strumentazioni innovative in grado di fornire dati fotogrammetrici e nuvole di punti.

Successivamente si propone un focus relativo alle esperienze praticate nel corso del tirocinio svolto presso il Comune di Torino, confrontandole in prosieguo con le altre realtà urbane delle città di Genova e Milano; tali approfondimenti sono stati possibili grazie al supporto dei funzionari comunali, con i quali sono state trattate le tematiche riguardanti la realizzazione di una mappa tridimensionale per l'area comunale e gli obiettivi che l'amministrazione comunale intende raggiungere attraverso la creazione ed il supporto del Digital Twin.

Come si evince dalle esperienze urbane analizzate, una fase fondamentale per la realizzazione del gemello digitale è la pratica di rilievo; per tale motivo si è svolto un esercizio di rilievo e una successiva digitalizzazione di una porzione dell'area urbana torinese.

1

Il futuro delle Smart City, il Digital Twin

Il processo di urbanizzazione e il modo in cui viviamo oggi le città richiede un costante cambiamento nella progettazione degli spazi: le città stanno prendendo sempre più importanza, crescendo di dimensione, con continui spostamenti di abitanti all'interno dei grandi centri urbani e con la realizzazione di nuovi edifici, sistemi viari, aree verdi. Infatti, come dichiarato dal Consiglio Nazionale degli architetti, pianificatori, progettisti e conservatori, attualmente, il 54% della popolazione mondiale risiede in aree urbane, e si prevede un ulteriore incremento di popolazione urbana entro il 2030, pari al 70% della popolazione mondiale, generando impatti senza precedenti sul sistema infrastrutturale, sulle risorse disponibili e ingenti difficoltà riguardanti l'approvvigionamento idrico.

Ad oggi, le aree urbane generano il 70% delle emissioni globali di CO2 e sostanze inquinanti, causando così un impatto gravoso sul cambiamento climatico.

I modelli di produzione e di consumo dei beni all'interno dei centri urbani si stanno modificando, generando un cambiamento nei modi di vivere la città e nella progettazione stessa degli spazi, in quanto, la loro progettazione deve rispondere ai bisogni dei cittadini che li vivono.

Anche le forti pressioni ambientali e gli attuali problemi climatici, che si stanno intensificando, condizionano fortemente la progettazione delle aree urbane e sub-urbane, in quanto, l'organizzazione territoriale delle città, se effettuata nella maniera corretta, può ridurre gli effetti negativi del clima sulle città e viceversa.

Ad esempio l'espansione territoriale di una città può essere un punto di forza o di debolezza in base alle tematiche analizzate: una città con una bassa densità abitativa e di grandi dimensioni riduce gli effetti dell'isola di calore, ma allo stesso tempo può causare un aumento dell'utilizzo dei mezzi di trasporto e delle emissioni di CO₂, oltre al conseguente aumento di consumo di suolo; mentre una città densamente edificata, che permette di ridurre il consumo di suolo o le emissioni di sostanze inquinanti, dovrà gestire maggiori problematiche organizzative, come il rischio di una maggiore congestione.

La progettazione e la gestione dello spazio urbano diventano sempre più complesse, in quanto coesistono numerosi stakeholder e fattori che ne influenzano l'organizzazione. L'ambiente urbano si presta ad essere oggetto di studi e ricerche, con lo scopo di supportare lo sviluppo e l'evolversi del tessuto insediativo e sociale, con una conseguente ricerca per mettere in pratica tecnologie e metodologie per la gestione delle numerose e differenti informazioni da dover prendere in considerazione nella progettazione urbana, cercando anche di ridurre i costi e le tempistiche da dover sostenere.

La crescente importanza che ad oggi lo sviluppo urbano sostenibile sta prendendo dal punto di vista ambientale, sociale ed economico è una tematica trattata non solo dalle singole città, ma anche a livello globale con la sottoscrizione da parte di 193 paesi dell'Agenda 2030, al cui interno sono indicati i 17 Sustainable Development Goals visibili nella fig. 1, che cercano di essere raggiunti dai paesi membri dell'ONU (Organizzazione delle Nazioni Unite). I vari obiettivi trattano differenti tematiche di sviluppo sostenibile, ma quelli più inerenti ad una corretta

progettazione urbana sono racchiusi nell'11, ovvero "Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili" ¹.



Fig.1: SDG, obiettivi per lo sviluppo sostenibile dell'ONU

Fonte: Centro Regionale di Informazione delle Nazioni Unite, 24-05-2023

Il termine più utilizzato ad oggi per racchiudere tutti questi obiettivi è Smart Cities, che fino a poco tempo fa poteva essere considerato futuristico, ma che attualmente sta prendendo sempre più piede grazie all'elevato sviluppo

¹ L'obiettivo 11 ha lo scopo di ridurre l'impatto ambientale all'interno delle città, introducendo strumenti di progettazione urbana inclusivi e sostenibili, incentivando la partecipazione all'interno del processo decisionale. Sono inoltre sottoscritti i sotto-obiettivi ambiscono a "garantire l'accesso all'alloggio e servizi di base adeguati [...] fornire l'accesso ai sistemi di trasporto sicuri, accessibili e sostenibili per tutti, migliorare la sicurezza stradale, in particolare ampliando i mezzi pubblici, con particolare attenzione alle esigenze di chi è in situazioni vulnerabili, donne, bambini, persone con disabilità e le persone anziane, [...] ridurre in modo significativo il negativo impatto ambientale [...] con particolare attenzione alla qualità dell'aria e gestione dei rifiuti urbani, [...] fornire l'accesso universale a spazi sicuri, inclusivi e accessibili, verdi e pubblici, [...] supporto ai legami economici, sociali e ambientali, [...] aumentare notevolmente il numero di città e insediamenti umani con adozione e attuazione di politiche e programmi volti all'inclusione, all'efficienza delle risorse, alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici, [...] supporto ai paesi meno sviluppati". Fonte: Agenzia Italiana per la cooperazione allo Sviluppo Sostenibile - 07-05-2023

tecnologico alla base di questo termine, realizzando città intelligenti in grado di soddisfare i principi di resilienza, sostenibilità e completezza del dato. Nei capitoli successivi verranno analizzati nel dettaglio quelli che sono i principi alla base delle Smart Cities, passando all'analisi del Digital Twin, lo strumento fondamentale per il raggiungimento di città meglio organizzate e più sostenibili.

1.1

Smart City

Le sfide attuali, volte a rispondere alle necessità di continua trasformazione urbana, rendono necessario l'implemento ed il supporto della tecnologia: in questi termini entra in campo il concetto di Smart City che possa supportare i progettisti nella migliore individuazione degli impatti derivanti dalle trasformazioni urbane previste, consentendo anche ai cittadini di intervenire tramite un processo di co-decisione.

Si assiste alla necessaria riduzione dei costi dei servizi pubblici, ma con un parallelo aumento della loro efficienza; questa trasformazione può essere possibile grazie all'innovazione tecnologica.

Tutte queste nuove esigenze convergono nel concetto di Smart City, ovvero un modello di sviluppo che permetta di conciliare lo sviluppo urbano, economico e sociale sostenibile. La Smart City è quindi una città che gestisce le risorse in modo intelligente, che deve stare "al passo" con le innovazioni tecnologiche e digitali, con l'obiettivo di ambire ad essere economicamente sostenibile ed autosufficiente dal punto di vista economico, energetico ed ambientale, come previsto dall'Agenda 2030.

Il significato del termine Smart City si è modificato notevolmente nel tempo, ed attualmente l'Unione Europea definisce in modo concreto tale concetto come *"un luogo in cui le reti e i servizi tradizionali sono resi più efficienti con l'uso di soluzioni digitali a beneficio dei suoi abitanti e delle imprese."*

Una città intelligente va oltre l'uso delle tecnologie digitali per un migliore utilizzo delle risorse e minori emissioni. Significa reti di trasporto urbano più intelligenti, impianti di approvvigionamento idrico e di smaltimento dei rifiuti migliorati e

modi più efficienti per illuminare e riscaldare gli edifici. Significa anche un'amministrazione cittadina più interattiva e reattiva, spazi pubblici più sicuri e un migliore soddisfacimento delle esigenze di una popolazione che invecchia.”
(Economy Up - 18 gennaio 2023).

1.1.1

Caratteristiche delle Smart Cities

Nella pratica delle Smart City convergono settori diversi, come il settore scientifico, quello tecnologico o industriale, tramite il coordinamento di differenti strategie volte al raggiungimento delle grandi sfide sociali ed ambientali che caratterizzano la quotidianità. Si assiste quindi ad un progressivo distanziamento da una logica settoriale, per direzionarsi verso una nuova logica di multidisciplinarietà di competenze.

Oggigiorno, per l'individuazione del fenomeno delle Smart City, risulta essenziale determinare e quantificare il grado di "smartness" di una città, comprendendo qual è il livello d'intelligenza della realtà urbana. Per eseguire tale operazione è indispensabile l'identificazione delle opzioni tecnologiche concernenti i differenti progetti, la capacità progettuale ed esecutiva, e l'effettiva integrazione all'interno del contesto socio-economico, e l'effettivo impatto all'interno del contesto urbano in cui si opera. Tramite il Global Smart City Index è quindi possibile valutare globalmente l'impatto che i singoli interventi e le singole iniziative producono all'interno della città e sulla qualità della vita degli abitanti.

Dato che l'obiettivo finale delle Smart City non è la digitalizzazione, ma bensì, tramite essa, garantire una migliore qualità della vita ai cittadini e una sempre maggiore prosperità economica del territorio, diventa sempre più necessario una governance tra tutti gli stakeholders che operano all'interno dell'area urbana e i cittadini che vivono la città.

L'Unione Europea si esprime in merito alle caratteristiche di sviluppo di una Smart City, nello specifico, individua sei assi principali di sviluppo visibili nella figura 2, ovvero:

1. Smart People

una smart city deve essere definita dalla politica partecipativa, quindi attraverso il capitale umano che la abita. In questi termini sono fondamentali l'inclusione ed il coinvolgimento dei cittadini all'interno dei processi decisionali. Questo processo di partecipazione deve comprendere la pluralità sociale ed etnica, la creatività, la flessibilità, e la partecipazione alla vita pubblica; per tale motivo è essenziale la cooperazione dei differenti stakeholders.

2. Smart Governance

il nuovo concetto di città intelligente deve prevedere nuove tipologie di governance, capaci di includere e relazionare il capitale umano, i beni comunitari e le risorse ambientali. Un nuovo processo di governance deve essere reso possibile tramite l'ausilio della tecnologia, in modo tale da supportare la progettazione e l'intero processo decisionale.

3. Smart Living

Questo concetto individua come essenziale per la progettazione di una città smart è la necessità di garantire un facile accesso ai servizi che possano garantire una qualità di vita elevata, perciò ogni cittadino deve avere la possibilità di godere di un buon servizio di educazione, un servizio sanitario, una buona sicurezza degli spazi che vive.

4. Smart Economy

Il settore economico e commerciale di una smart city ha l'ambizione di dare valore alla tecnologia ed alla creatività, rivolte all'aumento della produttività e dell'occupazione; l'incremento dell'innovazione e lo

sviluppo tecnologico deve essere coerente e svolto nel rispetto dell'ambiente circostante.

5. Smart mobility

Si ritiene necessario incentivare lo sviluppo di forme di mobilità sostenibili, accessibili e condivisibili, supportando l'innovazione dei sistemi di gestione del traffico, dei mezzi di trasporto, e di parcheggio. Inoltre risulta necessario incentivare l'utilizzo di mobilità alternativa, attraverso l'utilizzo di biciclette, dei mezzi di trasporto pubblico e dei servizi di car-sharing. L'obiettivo finale è quello di ottimizzare gli spostamenti, rendere i mezzi di trasporto più accessibili ed economici, e soprattutto rendere il consumatore consapevole tramite la comunicazione dell'impatto che lo spostamento genera sull'ambiente.

6. Smart Environment

Come viene sottolineato anche all'interno dei precedenti assi di sviluppo, l'attenzione verso una crescita sostenibile è un obiettivo portante per la formazione di una smart city; è necessario disporre un uso corretto delle risorse disponibili, migliorando quella che è l'efficienza energetica.

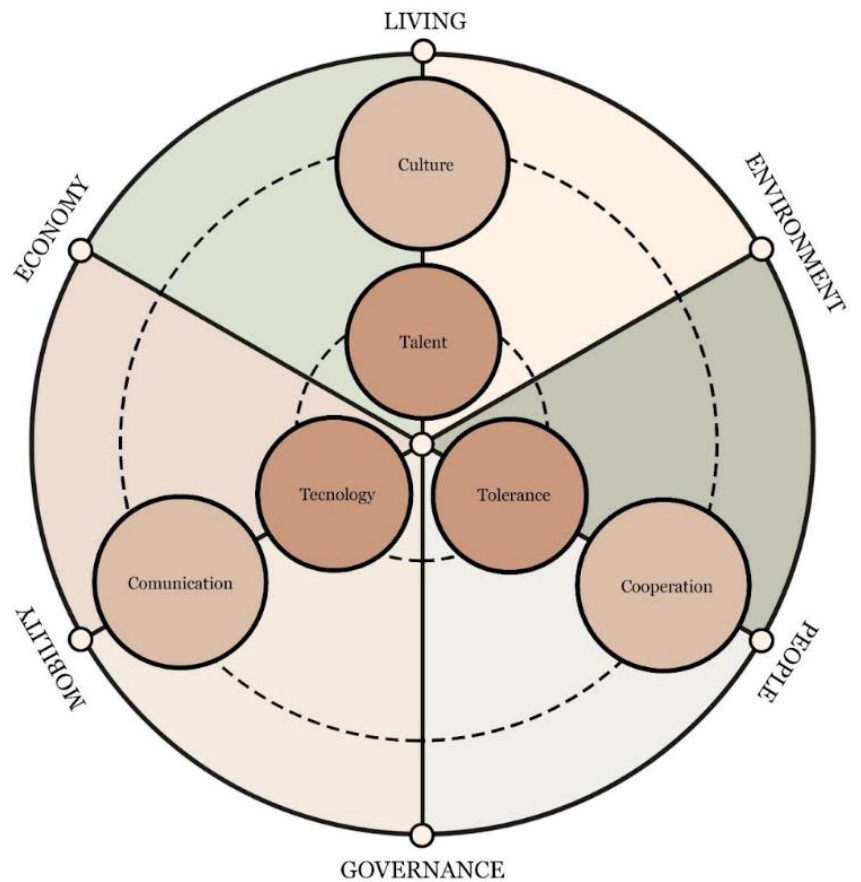


Fig. 2: Schema 6 assi di sviluppo di una Smart City

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Il processo di una Smart City si sviluppa attraverso l'introduzione e l'applicazione di elementi innovativi, applicabili in differenti ambiti, quali: la mobilità ed il trasporto, i temi ambientali ed energetici, le infrastrutture di rete e gli interventi edilizi.

Una Città Smart risponde ad una visione strategica e organica, possibile solo grazie all'ausilio delle tecnologie IoT (Internet of Things) che permettono di fare uso di sensori e contatori connessi per raccogliere dati, i quali vengono utilizzati per creare dei sistemi tecnologici integrati, capaci di rinnovare le infrastrutture e i servizi, gestendo al meglio le risorse, riducendo le emissioni inquinanti e creando

sistemi innovativi per l'illuminazione, il riscaldamento e l'approvvigionamento idrico. Le strategie urbane messe in campo sono quindi volte all'innovazione e al miglioramento dei servizi pubblici, cercando di soddisfare i bisogni in costante mutamento della società.

L'innovazione che caratterizza le smart cities ha l'ambizione di generare diversi vantaggi e benefici all'interno della società moderna, ovvero una migliore qualità della vita, una diminuzione dell'inquinamento e di conseguenza un ambiente più vivibile e salubre, creando una città resiliente e sostenibile. I cittadini possono godere di un maggiore risparmio energetico, grazie all'incremento dell'utilizzo di energia da fonti rinnovabili, e di spostamenti più agevoli, in quanto il traffico veicolare è più scorrevole grazie alla diminuzione delle auto in circolazione ed all'inserimento ed incremento di mobilità alternativa. Anche gli spazi urbani giovano della modernizzazione, in quanto vi è un aumento degli spazi verdi ad uso dei cittadini per seguire un processo di rinaturalizzazione, ovvero di incremento delle aree permeabili sul suolo.

1.1.2

Smart Cities in Italia

Per quanto riguarda il livello nazionale, le basi per lo sviluppo e l'innovazione vengono posti dal D.L. 179/2012 e s.m., anche detto "Decreto Crescita 2.0", relativo al coordinamento e all'attuazione degli strumenti tecnologici, economici e di governance per le comunità intelligenti.

Nella quotidianità vi è un limite per quando riguarda la concezione comune di Smart City; questo viene reso pubblico da uno studio effettuato da Intel che mostra come effettivamente il concetto di città intelligente sia realmente conosciuto dal 50% della popolazione, e che solo il 13% degli italiani ritiene di vivere all'interno di una città smart.

Nonostante ciò, l'interesse del nostro Paese verso lo sviluppo di Città Smart è crescente, infatti il 28% dei comuni italiani ha dato il via ad almeno un progetto innovativo e tecnologico per rendere maggiormente Smart la città; questo è stato possibile anche grazie ai differenti incentivi previsti dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza - PNRR per le smart city.

I fondi previsti dal PNRR per progetti da avviare entro il 2027 sono 750 miliardi di euro, finanziati dall'Europa e da ripartire tra i diversi Stati Membri, includendo come obiettivo anche lo sviluppo delle smart city. A livello nazionale, il 68% dei Comuni mira ad utilizzarli per 6 specifiche "missioni", quali: digitalizzazione, infrastrutture sostenibili, transizione ecologica, inclusione e coesione, istruzione e salute.

Attualmente, buona parte dei progetti di smart city sul territorio nazionale sono in fase operativa, e trattano principalmente interventi di sicurezza e di controllo

del territorio, interventi di smart mobility e di illuminazione pubblica. Contemporaneamente è in continua crescita il dibattito inerente alle smart cities, comportando l'affermazione del "modello di città data-driven" che consiste nell'interpolarità dei dati e nella cooperazione tra i diversi stakeholders, sia pubblici che privati. La differenza sostanziale che emerge all'interno del contesto nazionale riguarda la dimensione urbana: sono le città con più di 15.000 abitanti a sviluppare soluzioni smart, infatti l'80% dei comuni al di sopra di questa soglia considera la città intelligente come un tema su cui basare gli sviluppi futuri, a differenza del 40% dei comuni con una popolazione inferiore, evidenziando una diversa sensibilità verso il nuovo fenomeno d'innovazione urbana.

Nonostante buona parte delle realtà urbane ritengano necessario sviluppare un processo di innovazione tecnologica con un costante incremento dei fondi previsti per accelerare il processo verso città smart, non smettono di coesistere determinate problematiche, tra cui il limite della Pubblica Amministrazione, dovuto alla mancanza di competenze, allo scarso utilizzo dello strumento del Partenariato Pubblico-Privato e di coordinamento tra i diversi attori, e la carenza di risorse economiche capaci di sostenere l'intero processo di informatizzazione e digitalizzazione.

1.1.3

Applicazione pratica delle Smart Cities

Lo sviluppo coerente e concreto di un modello di città intelligente richiede necessariamente il supporto di big data, riguardanti differenti aspetti, come i consumi energetici, l'inquinamento atmosferico o le abitudini dei cittadini. Questo database risulta in parte automatizzato, grazie all'incremento di sensori e di algoritmi che permettono di avere una migliore comprensione della realtà urbana, ma nonostante questo costante sviluppo, circa il 40% delle amministrazioni non utilizza in modo adeguato i dati, malgrado se ne riconosca la loro importanza e i vantaggi che ne conseguono. Una delle iniziative che mira ad un maggiore controllo e un miglior utilizzo dei database è la "Smart Control Room" ovvero un sistema di "centri di controllo che utilizzano una piattaforma tecnologica in grado di raccogliere dati da tutti i sistemi della città e, tramite tecnologie per l'analisi di big data, che li renda disponibili agli amministratori e agli operatori per utilizzarli in analisi predittive, simulazioni e interventi mirati in città". Oltre alle modalità di valorizzazione del dato, è necessario incentivare lo sviluppo di altri tipi di tecnologie capaci di supportare e agevolare il processo di trasformazione delle smart cities, tra cui nuove tecnologie e infrastrutture dell'informazione e della comunicazione (4G e 5G), i sensori per il monitoraggio e il rilievo, i sistemi di riduzione del consumo energetico, i sistemi di produzione di energia rinnovabile, le nuove tecniche per un'edilizia maggiormente sostenibile, i veicoli innovativi che utilizzino fonti di energia rinnovabile, i nuovi modelli di pianificazione del territorio ed il supporto dell'intelligenza artificiale (AI). Le innovazioni tecnologiche permettono una miglior gestione di tutti questi fattori,

con una riduzione dei costi e delle tempistiche grazie all'utilizzo di un gemello digitale, il Digital Twin.

1.2

Digital Twin

Dare una definizione esatta al termine Digital Twin, o gemello digitale, risulta complesso in quanto coesistono numerosi ambiti di applicazione e può quindi assumere molteplici significati. Attualmente si sta cercando di dare una definizione univoca che prenda in considerazione le sue numerose sfaccettature, arrivando alla conclusione che una descrizione condivisa può riassumersi in un modello, di un ambiente fisico, che permette di avere una sua rappresentazione digitale completa ed aggiornata da utilizzare in vari ambiti, permettendo di effettuare analisi e previsioni future. Questa spiegazione generale ingloba alcuni concetti riportati in altre definizioni di Digital Twin, come quella utilizzata da IBM: *"Un gemello digitale è una rappresentazione virtuale di un oggetto o di un sistema che copre il suo ciclo di vita, viene aggiornato da dati in tempo reale e utilizza la simulazione, l'apprendimento automatico e il ragionamento per aiutare il processo decisionale"* o la definizione data da Glaessgen e Stargel: *"Un gemello digitale è una simulazione probabilistica multi-fisica, multi-scala e probabilistica integrata di un sistema [...] modelli, aggiornamenti dei sensori, [...], per rispecchiare la vita del suo gemello fisico corrispondente."* (Ville Lehtola, Markku Markkula, 2022)

Si tratta di un termine innovativo, in quanto, in passato non era stato possibile trovare applicazione, data l'assenza di una rete digitale di trasmissione ed utilizzo dei dati, fino all'avvento di internet e di nuove tecnologie alla fine del ventesimo secolo. Bisogna andare avanti ancora di qualche anno per ritrovare i primi accenni al Digital Twin, trattato per la prima volta da Michael Grieves, ricercatore e professore all'Università del Michigan, durante una presentazione nel 2002 per la

proposta di un Product Lifecycle Management, durante la quale pose le basi di questa nuova terminologia. Più precisamente, in quell'occasione l'espressione utilizzata esatta era "Mirrored Spaces Model", successivamente aggiornata in "Information Mirroring Model", per poi diventare Digital Twin nel 2011 in un saggio scritto da Grieves.

Prima dell'avvento di tale novità, i modelli dovevano essere realizzati in varie fasi con un elevato dispendio economico e tempistico, con l'aggiunta del rischio di individuare solo nelle fasi finali gli errori che avrebbero riportato il processo al punto di partenza. Ad esempio, per un modello 3D fisico che permetta una miglior comprensione degli elementi rappresentati, se durante la sua realizzazione vengono individuati degli errori, c'è la necessità di effettuare delle modifiche ai modelli 2D alla base dell'elemento tridimensionale, aumentandone le tempistiche e i costi di lavorazione.



Fig. 3 Città connessa attraverso il Digital Twin

Fonte: Internet4things, 24-05-2023

Uno dei più interessanti e complessi ambiti d'applicazione del Digital Twin risulta essere di sicuro la pianificazione territoriale, essendo le città luoghi complessi dove si intrecciano differenti stakeholder e fattori da dover prendere in considerazione, non fermandosi solo al confine territoriale analizzato, ma dovendo considerare anche soggetti ed elementi esterni:

1. **I cittadini**

Svolgono sicuramente un ruolo fondamentale, in quanto sono da considerare sia come osservatori dei risultati delle elaborazioni, ma anche come soggetti che influenzano e forniscono i dati presenti all'interno del modello. Possono essere visti sotto due punti di vista: come coloro che osservano i risultati delle elaborazioni e bisogna quindi realizzare dei modelli facilmente comprensibili per osservatori esterni al lavoro, cercando di soddisfare i loro interessi, ma bisogna anche considerare che essi influenzano i dati raccolti, portando alla necessità di doverli rendere partecipi al processo, sensibilizzandoli e responsabilizzandoli sulle tematiche trattate;

2. **Gli stakeholder**

Sono i soggetti che, direttamente o indirettamente, sono coinvolti in un progetto o nelle attività che interessano l'organizzazione della città. Ci si riferisce ad un numero di individui che varia in base al caso studio, ma che è comunque elevato dovendo considerare non soltanto i cittadini dell'area urbana di riferimento, ma anche società, fornitori, finanziatori, collaboratori, dipendenti e anche soggetti presenti nelle aree limitrofe che potrebbero essere influenzati dalle scelte progettuali messe in pratica;

3. **Oggetti presenti sul suolo privato o sul suolo pubblico delle città**

Si intrecciano tra loro legati a degli interessi, delle funzioni e delle necessità che devono rispettare, e possono essere edifici privati o pubblici, sistemi

stradali, aree verdi, servizi scolastici, servizi ospedalieri, servizi inerenti alla mobilità, e molto altri che insieme creano un intreccio complesso da gestire nella sua interezza.

Esistono altri ambiti di applicazione del Digital Twin, essendo in grado di semplificare le elaborazioni non solo a livello urbano, rendendo al giorno d'oggi obsolete le cartografie fisiche, ma anche la progettazione a scala d'edificio, fino ad arrivare ad un livello più di dettaglio con progetti meccanicamente complessi, apparecchiature elettriche o progetti di produzione che utilizzano sistemi di macchinari a funzionamento coordinato.

Gli ambiti di applicazione però non si concludono qui, perché il Digital Twin viene utilizzato anche per migliorare l'efficienza produttiva in alcuni settori: ad esempio in quello automobilistico, per migliorare la progettazione dei veicoli e le loro prestazioni; in quello sanitario, per definire i profili dei pazienti che necessitano di assistenza sanitaria; e in ambito energetico, per la definizione dei tempi di manutenzione regolare per motori o turbine di produzione energetica.

Si tratta di una tecnologia di cui l'utilizzo è in forte crescita, anche se risulta essere già presente in numerosi settori, per questo si prevede un suo aumento di valore nei prossimi anni: nel 2020 la valutazione è stata di 3,1 miliardi di dollari, prevedendo una crescita fino a 48,2 miliardi di dollari nel 2026.

Di gemelli digitali ne esistono di diverse tipologie, e non vanno presi come strumenti indipendenti, perché insieme possono fornire una rappresentazione virtuale più completa con un intreccio dei risultati che ottengono.. Tra i più comuni esistono:

1. Gemelli di componenti

Per le parti più essenziali che compongono un singolo pezzo di un intero sistema;

2. Gemelli di risorse

Per le componenti che lavorano insieme, rappresentando virtualmente il modo in cui interagiscono e producono dati;

3. Gemelli di sistema

Per mostrare come diverse componenti interagiscono in un sistema più ampio, con l'obiettivo di definire i miglioramenti attuabili e le prestazioni;

4. Gemelli di processo

Per mostrare i dati sull'intero sistema analizzato, rappresentando, ad esempio, il funzionamento riunendo tutte le componenti al suo interno.

Alla base di un corretto funzionamento del Digital Twin c'è la necessità di disporre di dati completi, senza errori e soprattutto che siano raccolti ed elaborati con metodologie standardizzate per una facilità di aggiornamento e di trasmissione, e se ciò avviene è possibile avere notevoli benefici in infiniti ambiti oltre quelli visti in precedenza, ad esempio per gestire al meglio la fine vita di un prodotto che può necessitare di trattamenti, come il riciclaggio, o per valutare la sicurezza di alcune aree, osservando nei capitoli successivi l'applicazione di alcuni strumenti per analizzare il rischio di alcune componenti naturali.

Si comprende quanto siano numerosi i vantaggi nell'applicazione del Digital Twin, ma è necessaria una quantità elevata di dati in continuo aggiornamento, e per fare ciò esistono alcuni fattori alla base del suo funzionamento che non possono mancare:

1. Internet of things

Tradotto è l'internet delle cose, termine con cui ci si riferisce alla rete collettiva delle tecnologie e dei dispositivi connessi che ad oggi sono sempre più in crescita e presenti nella vita quotidiana delle persone. Le

informazioni raccolte dai numerosi dispositivi vengono trasmessi dal mondo reale all'oggetto del mondo digitale;

2. Intelligenza artificiale (IA)

Utilizzata per risolvere le problematiche che caratterizzano l'intelligenza umana riguardanti l'apprendimento, la risoluzione di alcune problematiche e l'utilizzo di modelli;

3. Gemelli digitali e simulazioni

Sono terminologie simili che però hanno alcune sostanziali differenze, essendo i gemelli digitali degli ambienti virtuali che si aggiornano in tempo reale, oltre ad essere più grandi per scala e applicazione, mentre le simulazioni vengono spesso utilizzate per l'ottimizzazione offline e la progettazione;

4. ICT alla portata di tutti

Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione sono formate da tutti quei metodi di trasmissione, ricezione ed elaborazione dei dati, che devono essere liberamente accessibili per poter permettere un loro utilizzo da parte dei soggetti privati, facilitando in questo modo l'intreccio dei contributi da parte di più stakeholder, con l'obiettivo di raggiungere un risultato più completo e condiviso;

5. Strumento GIS (Geographic Information City)

Ad oggi si tratta di uno strumento sempre più utilizzato per la rappresentazione di dati geo-riferiti, non soltanto da pianificatori, architetti ed ingegneri, ma anche da agricoltori, meteorologi, squadre di soccorso. Diventando uno strumento conosciuto ha semplificato la trasmissione del dato a più soggetti, fornendo un'ottima base di partenza per le rappresentazioni virtuali del Digital Twin, anche se si lavora su una scala molto vasta;

6. BIM (Building Information Modeling)

Anche se si lavora ad una scala elevata, si deve avere un grado di dettaglio elevato anche quando si analizza un singolo elemento all'interno dell'intero contesto rappresentato, ed è per questo che le tecnologie di modellazione delle informazioni di costruzione sono utili per gestire i dati architettonici rilevati in maniera multidisciplinare, studiando non solo la sua componente strutturale, ma anche aspetti che riguardano il suo ciclo di vita con la sua progettazione, la sua costruzione e la sua messa in funzione. Si tratta di un modello che dovrebbe diventare obbligatorio per tutti i progetti entro il 2025.

1.2.1

Caratteristiche e vantaggi del Digital Twin

Andando ad analizzare più nel dettaglio quali sono le principali proprietà che caratterizzano il Digital Twin, si riesce a comprendere quelle che sono le motivazioni che hanno portato ad espandere sempre di più il suo utilizzo in molteplici ambiti:

- è in grado di riportare una copia praticamente identica, con un elevato grado di dettaglio, della componente fisica rappresentata, riuscendo ad aggiornarsi in parallelo ai cambiamenti che caratterizzano l'oggetto reale, grazie alle numerose informazioni e ai dati continuamente raccolti attraverso connessioni e tecnologie ad oggi sempre più presenti nella vita quotidiana;
- si tratta di modelli facilmente definibili, essendo il gemello digitale identificato in maniera univoca dall'oggetto fisico e viceversa;
- è possibile ottenere rapidamente più informazioni rispetto a quelle che potrebbe fornire un modello fisico, disponendo di informazioni multi-scala e multi-fisiche:
- multi-scala perché incorpora dati su più scale o livelli, basandosi sia su proprietà macroscopiche, come forma o dimensione, ma anche su proprietà microscopiche, come potrebbe essere la rugosità di una superficie.

- multi-fisica perché può possedere, oltre ad informazioni fisiche, anche dati strutturali, di resistenza alle sollecitazioni, di proprietà dei materiali e molti altri.
- é in grado di fare delle valutazioni più complete, attraverso un approccio multi-disciplinare che intreccia informazioni fornite da vari ambiti, che possono essere urbanistici, ingegneristici, architettonici e non solo, dovendo considerare tutti gli elementi presenti all'interno dei territori su cui si va ad intervenire;
- è composto da un sistema gerarchico, formato da più parti che compongono il modello finale intrecciate tra loro, ognuna con il proprio Digital Twin.

Andando ad analizzare in maniera più schematica quelli che sono i vantaggi nell'utilizzo del Digital Twin bisogna considerare:

- la capacità di analizzare scenari futuri e passati, rendendo i processi di progettazione e sperimentazione più veloci ed economici, oltre alla possibilità di effettuare un confronto tra il modello digitale e quello fisico essendo sempre connessi l'uno all'altro;
- riduzione dei costi, non dovendo svolgere le sperimentazioni in maniera fisica, ma digitale, con un conseguente risparmio di materiali utilizzati e di manodopera;
- fornisce la possibilità di prevedere quelle che saranno le problematiche future che il modello fisico potrebbe dover sostenere, riuscendo a ricreare scenari futuri e organizzando di conseguenza una corretta pianificazione;
- è possibile avere una migliore accessibilità al dato, superando quelle che possono essere le distanze geografiche dovute alla localizzazione

dell'oggetto o dell'area in analisi. Si tratta di una tematica fondamentale ad oggi con l'aumento dello smart working.

- ci si sta interessando sempre di più alle tematiche ambientali e di sostenibilità, cercando di ridurre gli sprechi e l'inquinamento. L'effettuare simulazioni digitali, rispetto all'utilizzo di modelli fisici, permette una riduzione del materiale di scarto.
- i modelli digitali permettono di formare coloro che lavoreranno negli ambiti di progettazione del modello fisico, istruendoli sui futuri rischi e sulle corrette metodologie di lavoro, riducendo costi, tempistiche e i rischi sul posto di lavoro.

Digital Twin è un termine utilizzato già da anni, ma in Italia è solo da poco tempo che si cominciano a comprendere quelli che sono i reali vantaggi che comporterebbe un suo utilizzo. Tutto ciò è reso possibile se c'è una corretta gestione dei complessi processi che lo compongono e se si dispone delle nuove tecnologie che rendono questi risultati raggiungibili, dando vita ad uno strumento fondamentale per l'avvento delle smart cities.

1.2.2

Casi esteri di messa in pratica del Digital Twin

Attualmente esistono differenti gemelli digitali funzionanti e operativi nella loro totalità, tra cui quelli di Zurigo, Singapore e Zagabria. L'obiettivo generale che accomuna i diversi progetti riguarda la raccolta dati, migliorando l'efficacia degli strumenti di pianificazione e coordinando la partecipazione dei differenti stakeholders presenti sul territorio.

Il caso studio di Zurigo

Il caso studio riguardante la città di Zurigo mostra i vantaggi dell'utilizzo del Digital Twin per un'area in continua crescita ed espansione, dovendosi preparare ad affrontare le sfide dovute all'aumento della popolazione e a ciò che ne consegue. Si prevede che Zurigo sarà interessato da un incremento della popolazione pari a 280.000 persone entro il 2040, causando un aumento dei posti di lavoro, della densificazione delle attività e del consumo di territorio. Per questa crescita sono previste delle linee guida, infatti, il Cantone ha disposto che l'80% dell'espansione dovrà interessare le regioni urbane, in modo tale da poter salvaguardare il suolo non urbanizzato. La città trarrà comunque benefici economici e culturali dovuti da tale espansione, ma è necessario riuscire a controllare la concorrenza che intercorre per l'uso del suolo e la sua edificazione, garantendo il rispetto degli standard relativi alla qualità della vita dei quartieri urbani.

Le sfide per la città di Zurigo non riguardano solamente l'aumento della popolazione, ma anche gli effetti del cambiamento climatico, che necessitano di un adattamento alle seguenti tematiche:

- lo stress termico;
- aumento livello di siccità estiva;
- rischi di allagamento;
- instabilità dei pendii;
- compromissione della qualità dell'aria e dell'acqua;
- diffusione di sostanze inquinanti e nocive;
- cambiamenti all'habitat.

In vista di una crescita economicamente, socialmente e ambientalmente sostenibile, le sfide e gli obiettivi strategici della città sono stati presentati nel 2015 ed aggiornati nel 2019, con uno specifico obiettivo relativo alla trasformazione digitale. Il processo di digitalizzazione è concepito come vantaggioso anche per la popolazione, le imprese e l'amministrazione comunale, in quanto, la creazione di una rete di dati, sensori e applicazioni, renderebbero attuabili soluzioni innovative e più efficienti per la gestione della città.

Come indicato precedentemente, uno degli obiettivi del programma di sviluppo e innovazione della Città di Zurigo riguarda la realizzazione di un gemello digitale, con l'obiettivo di simulare le trasformazioni urbane.

I primi esperimenti effettuati tramite l'utilizzo di dati territoriali sono stati svolti dall'Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), ovvero il Politecnico Federale di Zurigo a partire dagli anni '90, ma il primo 3D definitivo risale al 2011.

Il modello tridimensionale, elaborato dal GIS Competence Centre of the Department of Building and Planning e dal GIS Centre for Geomatics + Surveying, è attualmente composto da differenti modelli digitali, ovvero:

1. Il modello digitale del terreno

E' stato realizzato attraverso uno strumento LIDAR con una risoluzione di 50 cm, con linee di rottura nelle aree del ponte ed aggiustamenti manuali in prossimità del Lago di Zurigo e del fiume Limmat. Per quanto riguarda le geometrie stradali sono state inserite come linee di discontinuità.

2. Il modello digitale dell'isolato

Realizzato con le planimetrie reali o in progetto del basamento degli edifici, con le altezze assegnate come attributi. Per quanto riguarda le strutture di maggior rilievo, sono state rappresentate tramite l'utilizzo di planimetrie differenti, in modo tale da rendere riconoscibile non soltanto l'isolato, ma anche il singolo edificio.

3. Il modello digitale dei tetti

E' composto dalle pareti e dalle strutture dettagliate del tetto degli edifici.

Il modello 3D è la rappresentazione della realtà correlata ai dati territoriali che si basano sui metadati, una dimensione essenziale per la creazione e l'utilizzo dei geodati; essi riguardano il contenuto, la struttura, la validità, l'accuratezza, i diritti di utilizzo ed i metodi di elaborazione.



Fig. 4: Modello tridimensionale di Zurigo
Fonte: City of Zurich, 25-05-2023

Le elaborazioni svolte attraverso il modello tridimensionale, si basano sui requisiti di accuratezza, tracciabilità e affidabilità dei dati sviluppati dalla Città di Zurigo, che ne determina i processi di acquisizione e di aggiornamento.

La Città di Zurigo prevede anche un continuo aggiornamento delle informazioni relative al catasto dei servizi pubblici, alle reti tecnologiche presenti nel sottosuolo, ai servizi di smaltimento e riciclaggio, all'approvvigionamento idrico, al trasporto pubblico e alle società di telecomunicazioni. Questo aggiornamento si scompone in due fasi principali, a partire dai proprietari del servizio che devono fornire una volta a settimana i nuovi dati all'operatore pubblico, il quale si occupa della loro registrazione.

Questi parametri sono opportunamente descritti anche all'interno della Legge Federale sulla geoinformazione, su cui si basa anche il processo di governance.

Per la città di Zurigo, avere a disposizione il gemello digitale equivale ad avere una gestione del ciclo di vita degli elementi che compongono il 3D, con un costante aggiornamento dei dati grazie ai sensori che tengono legati il modello reale alla città virtuale. Questa necessità di aggiornamento e coordinamento, per la

creazione di un'infrastruttura digitale dei dati territoriali urbani, è guidata da "GIS City of Zurich" ed altri 25 partner relativi a differenti dipartimenti della Città. Già nel 2009 il Consiglio della Città aveva approvato una strategia di sviluppo e aggiornamento, che è stata rivista, modificata e riconfermata nel 2019.

L'amministrazione della Città di Zurigo, dal 2012, garantisce l'accesso semplice e gratuito dei dati amministrativi (Open Government Data - OGD). Questa funzione permette una maggiore interazione tra i cittadini e i partner di progetto.

Zurigo si è sempre più affidata ai dati e al modello virtuale come supporto per la progettazione, in quanto permette di valutare gli impatti sulla realtà in differenti ambiti di applicazione, tra cui:

1. Il Piano di sviluppo municipale

All'interno dei confini amministrativi si prevede un incremento della popolazione del 25%, e questo genera la necessità di nuovi spazi abitativi, lavorativi, di nuove infrastrutture e di spazi aperti e verdi.

L'utilizzo e la visualizzazione del modello 3D, correlato ai dati geometrici ed urbanistici, ha permesso ai pianificatori dell'amministrazione comunale di effettuare un confronto tra le diverse proposte progettuali si sviluppo urbano.



Fig.5.: mappa 3D della città con indicazione degli edifici in progetto

Fonte: Portale della città di Zurigo, 25-05-2023

2. La valutazione dell'impatto sul clima urbano

Globalmente, l'impatto della città di Zurigo sul cambiamento climatico è limitato, ma essa è particolarmente sensibile agli effetti causati da esso; diventa necessario sviluppare delle strategie capaci di supportare la maturazione di un adattamento climatico.

Si devono adottare misure per migliorare il raffrescamento della città, sfruttando la posizione sul lago e la struttura topografica del territorio. L'ausilio del modello 3D della città permette di effettuare una progettazione maggiormente consapevole del territorio urbano, considerando i corridoi di aria fredda, l'orientamento, l'esposizione e le differenti altezze degli edifici. Inoltre, permette di coordinare la progettazione sostenibile degli spazi urbani con altri fattori, come il rumore e il traffico.

3. L'ausilio della realtà virtuale per la realizzazione dei concorsi di architettura

I concorsi di architettura e urbanistica per la progettazione e la realizzazione di strutture pubbliche sono frequenti all'interno delle amministrazioni, e sono solitamente realizzati in forma analogica. La continua digitalizzazione dei processi amministrativi arriva a mettere in discussione la forma con cui si presentano le proposte progettuali, infatti, l'Ufficio per l'edilizia sta mettendo in atto dei progetti pilota per la realizzazione di proposte presentate digitalmente, basate sul Digital Twin. In questi termini si sono sviluppati due nuovi strumenti digitali che andranno a supportare il processo di progettazione e di valutazione. Si è realizzata una mappa 3D basata sull'area oggetto dell'intervento, che verrà fornita ai progettisti. Gli operatori andranno quindi a realizzare il progetto all'interno di questa mappa, che verrà conseguentemente proiettata in fase di valutazione.

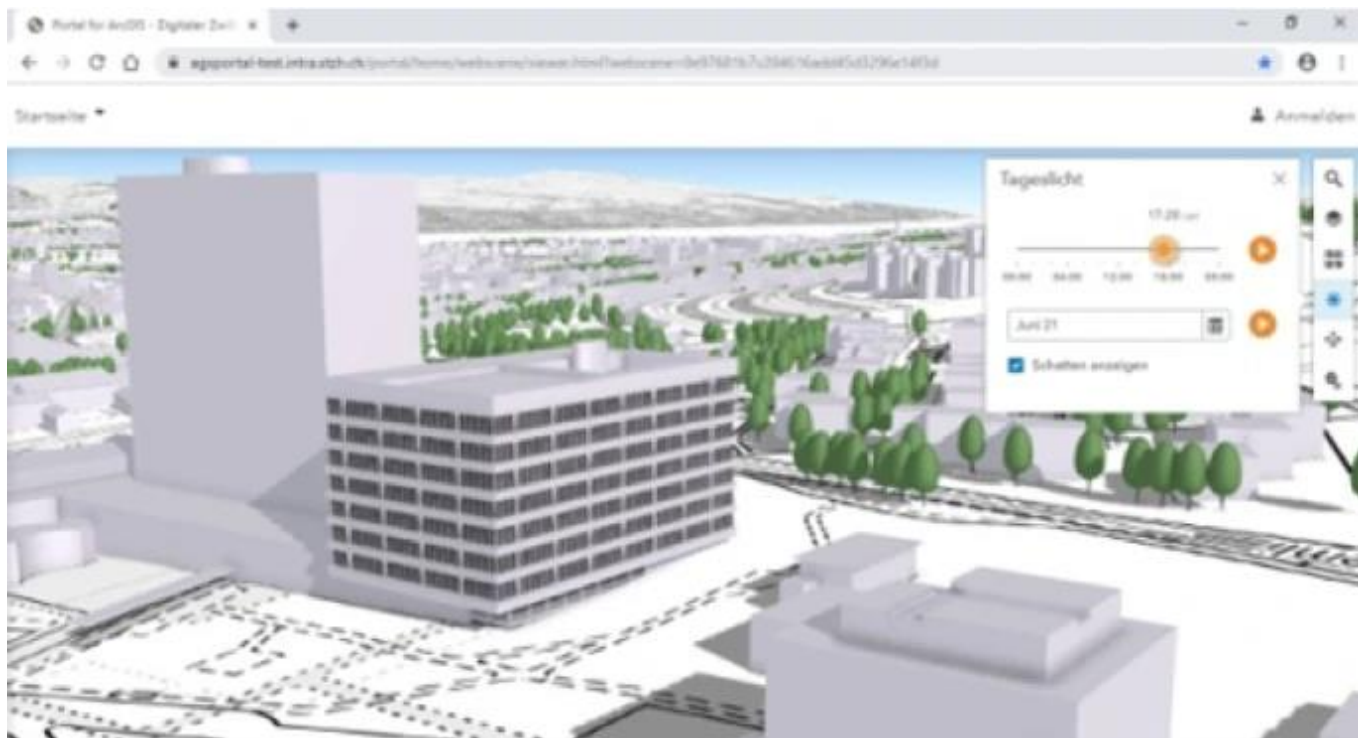


Fig. 6.: Mappa 3D per concorso di architettura

Fonte: *The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning*, Gerhard Schrotter · Christian Hürzeler,
16 January 2020

Inoltre, per supportare la fase di valutazione, si sta sperimentando l'utilizzo della realtà aumentata (AR-augmented reality²), che grazie all'utilizzo di occhiali HoloLens AR, permette di proiettare un ologramma 3D interattivo, attraverso anche una visualizzazione in scala 1:1.(FIG.N.).

L'utilizzo di questa tecnologia permette di simulare i diversi impatti che il progetto può avere sull'ambiente costruito, come ad esempio la simulazione dell'effetto sul clima urbano.

² L'utilizzo della realtà aumentata, coordinata con la realtà virtuale, anche detta tecnologia immersiva, permette l'interazione tra le persone e i prodotti, combinando aspetti dell'ambiente reale con la realtà virtuale ed aumentata.

Lo sfruttamento della tecnologia immersiva permette, tramite il supporto di smartphone, tablet, lenti smart e occhiali AR, di osservare gli interventi in progetto all'interno dell'ambiente reale.



Fig. 7: Utilizzo della realtà aumentata con il supporto degli occhiali HoloLens AR per la valutazione progettuale di un concorso di architettura.

Fonte: The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning, Gerhard Schrotter · Christian Hürzeler, 16 January 2020

4. La partecipazione della comunità per la realizzazione di procedure urbanistiche

L'utilizzo del gemello digitale permette alla popolazione di partecipare attivamente alla pianificazione urbana tramite giochi virtuali. In via sperimentale la città di Zurigo ha sviluppato un gioco in stile "Minecraft" per permettere ai cittadini, soprattutto ai giovani, di intervenire nei processi partecipativi della città tramite la realizzazione di proposte d'intervento.

La strategia Smart City Zurich porta alla creazione di una rete intelligente di dati, sensori e applicazioni che favoriscono la creazione di soluzioni nuove ed efficienti,

promuovendo la collaborazione tra popolazione e amministrazione. In questo modo si crea una partecipazione multidisciplinare che mette in rete politica, economia, scienza, cultura e società.

Il gemello digitale di Zurigo è in continua evoluzione e sta puntando a potenziarsi nei seguenti ambiti:

- generazione di dati 3D meglio connessi tra loro;
- aggiornamento dei dati in maniera più rapida;
- interconnessione tra BIM e GIS migliore;
- raccolta dati anche sulle parti sotterranee degli edifici;
- creazione catasto tridimensionale;
- registrazione sistematica dell'arredo urbano.

Il caso studio di Singapore

La città-stato di Singapore è il secondo paese più densamente popolato al mondo, ed a causa della mancanza di terreno su cui effettuare l'espansione urbanistica, è soggetta ad un significativo sviluppo verticale e sotterraneo; questo sovrapporsi di livelli richiede una raccolta di dati cartografici 3D ad alta risoluzione dell'intera area per poter leggere la complessità urbana.

Alcune delle problematiche che la città di Singapore si ritrova a dover affrontare riguardano:

- la sua posizione geografica, perché si trova a solo un grado a nord dall'equatore, dove è costantemente caldo e umido tutto l'anno, oltre al fatto che è priva di risorse naturali come foreste o fattorie;
- il cambiamento climatico, che ha portato un aumento delle temperature e la necessità di migliorare il drenaggio, essendoci un innalzamento del livello del mare;

- l'isola di calore, che porta ad aggravare il riscaldamento globale della città, con le seguenti strategie adottate da Singapore per mitigare il problema;
- pianificazione urbana che effettui interventi per rafforzare i principali corridoi del vento, orientando gli edifici in modo che abbiano una migliore ventilazione naturale, e identificando i punti più critici dove è necessaria la presenza del verde
- aumentare la copertura vegetale, non solo con il posizionamento di parchi, ma anche attraverso la piantumazione lungo le strade

L'iniziativa di creare e mantenere una mappa 3D ad alta risoluzione è stata guidata dalla Singapore Land Authority (SLA), in collaborazione con la National Research Foundation (NRF), l'Ufficio del Primo Ministro di Singapore e la Government Technology Agency di Singapore (GovTech).

Il progetto è stato realizzato con un fondo di circa 73 milioni di dollari, utilizzato per poter effettuare le ricerche e le sperimentazioni necessarie per la sua realizzazione.

La Singapore Land Authority (SLA) ha incaricato l'AAM group di realizzare rilievi aerei e terrestri per l'acquisizione di dati tramite fotogrammetria e strumentazioni LiDAR, in seguito, il progetto è stato suddiviso in due differenti fasi:

1. **Prima fase**

Il rilievo aereo è stato utilizzato per l'acquisizione dei dati relativi al terreno e alle superfici del paese per generare il modello digitale relativo alla struttura generale;

2. **Seconda fase**

Prevede l'utilizzo dei rilievi terrestri, realizzati tramite l'ausilio dei veicoli a terra.

Per lo sviluppo finale del 3D è stata incaricata la GPS Land Singapore, la

quale realizza la Singapore Advanced Map: una piattaforma che permette di visualizzare tutte le parti della nazione in formato tridimensionale ad alta risoluzione, il cui obiettivo è quello di fornire supporto alla pianificazione e alla gestione del rischio del territorio. A partire dalla rappresentazione della città di Singapore, è stato possibile avviare la progettazione della piattaforma di dati collaborativa Virtual Singapore, rendendo questi dati maggiormente accessibili.

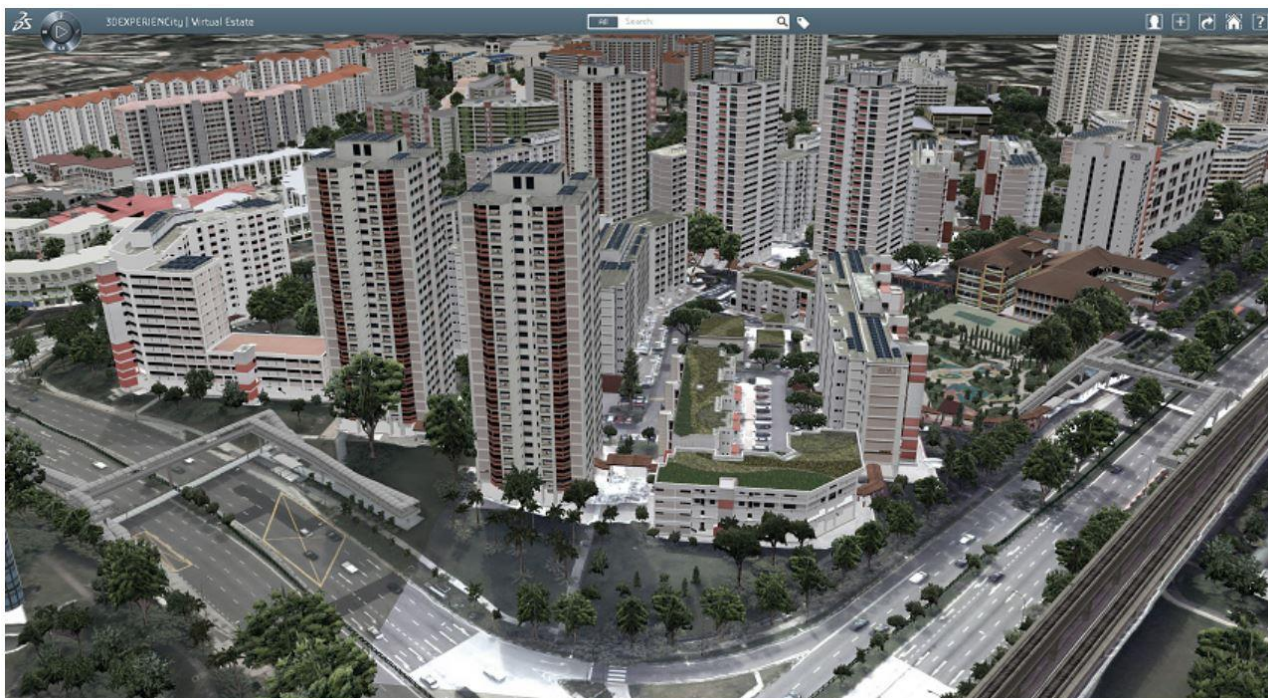


Fig. 8 Estratto piattaforma Virtual Singapore

Fonte: Govinsider.asia, 25-05-2023

Questa piattaforma, che svolge il ruolo di gemello digitale di Singapore, è un modello dinamico che fornisce la possibilità di effettuare sperimentazioni sulla città senza troppi rischi e costi. Al suo interno sono presenti dati che arrivano da più fonti, come piattaforme geospaziali e non, ad esempio OneMap, People Hib e Business Hub. Prende in considerazione anche i dati raccolti dai sensori presenti all'interno della città, posizionati

per l'iniziativa Smart Nation, riuscendo in questo modo ad ottenere informazioni in tempo reale.

Il modello fornisce informazioni anche sui materiali degli oggetti geometrici e sulle caratteristiche del terreno, come corpi idrici, vegetazione o sistemi infrastrutturali.

Le principali funzionalità di Virtual Singapore sono:

1. Sperimentazione

Per effettuare test virtuali all'interno della città, con una riduzione dei costi e delle tempistiche, attraverso l'intreccio dei numerosi dati raccolti all'interno del gemello digitale.

2. Virtual test-bedding

Utilizzando la piattaforma per convalidare la fornitura di servizi.

3. Pianificazione e processi decisionali

Virtual Singapore può svolgere il compito di base analitica per prendere decisioni in campo urbanistico, attraverso l'intreccio di dati riguardanti i numerosi elementi che vanno presi in considerazione all'interno della città, quali i sistemi di trasporto, i servizi, gli aspetti sociali, e molti altri.

4. Ricerca e sviluppo

I numerosi dati che il modello è in grado di raccogliere possono fornire la base per effettuare ricerche in ambiti scientifici o per l'innovazione, ma solamente se c'è la piena accessibilità alle informazioni contenute nel gemello digitale.

Virtual Singapore svolge un ruolo fondamentale anche nel settore della mobilità, fornendo le informazioni di partenza per ulteriori progetti che la città sta seguendo, come Vehicle To Everything, sistema che prevede veicoli a guida

autonoma che dovrebbero diventare standard dal 2025. La disponibilità di dati aggiornati e completi sugli elementi presenti all'interno della città e la possibilità di comunicare da veicolo a veicolo e da veicolo ad infrastruttura, permetterà ai mezzi di muoversi in autonomia. Il ruolo più importante viene svolto dalla comunicazione tra veicolo ed infrastruttura, perché permetterà di avere una più semplice gestione del traffico, favorendo la capacità di individuare la presenza dei pedoni sulla carreggiata, permettendo di comunicare con i semafori e riuscendo ad aprire dei varchi per i veicoli di soccorso in caso di traffico.

Gli interventi che riguardano la mobilità porteranno ad una riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti e forniranno le basi per la messa in pratica dell'ITS (Intelligent Transport System), sistema che migliorerà i flussi di traffico e ridurrà i rischi stradali, ma esistono già numerosi portali che aiutano i conducenti:

1. One.motoring

per avere informazioni sul traffico che vengono raccolte da delle telecamere di sorveglianza.

2. Your speed sign

dispositivo intelligente che registra la velocità e incentiva i conducenti a rispettare i limiti.

3. Land transport authority

permette di rilevare gli incidenti stradali attraverso l'utilizzo di telecamere.

4. Parking guidance system

fornisce informazioni sui parcheggi disponibili, riducendo i tragitti per la loro ricerca.

Oggi giorno, la città di Singapore si caratterizza per la complessità dei servizi già presenti nel sottosuolo, della quale risulta necessario possedere informazioni accurate, affidabili ed aggiornate, in modo tale da pianificare gli ulteriori sviluppi: è essenziale elaborare un modello 3D che rappresenti accuratamente e

approfonditamente la complessità del sottosuolo. In questi termini, la città di Singapore e più nello specifico la Singapore Land Authority, ha avviato nel 2017 una collaborazione con Singapore ETH Center per la realizzazione del progetto "Digital Underground". Il fine di questa collaborazione è la realizzazione di una mappa aggiornata dei servizi presenti nel sottosuolo, in quanto l'uso di questa componente nel modo corretto è una delle possibili soluzioni per l'urbanizzazione della città.

L'elaborazione del progetto "Digital Underground" si compone di differenti fasi:

1. Prima fase

Mira all'identificazione dei servizi attuali e dei flussi di lavoro futuri, realizzando una mappatura avente come esito una "tabella di marcia" che specifica una strategia per raggiungere l'obiettivo prefissato;

2. Seconda fase

Punta a sviluppare, in modo maggiormente approfondito ed accurato, le basi del sistema, con le raccomandazioni necessarie per la pianificazione e la gestione del sottosuolo, e lo sviluppo di tecniche e procedure per la mappatura;

3. Terza fase

E' stata avviata nel 2021 con lo scopo di mettere in pratica le raccomandazioni precedentemente annunciate, sviluppando dei progetti pilota con il coinvolgimento del settore pubblico-privato.

Le piattaforme digitali, essendo state messe a disposizione di agenzie governative, e dovendo ampliarne l'utilizzo in modo graduale ed in coerenza con i protocolli

sulla privacy, apporterebbero notevoli benefici sulla qualità della vita dei diversi soggetti, tra cui:

1. I cittadini

In quanto permette di connettere e creare consapevolezza sui servizi della propria comunità;

2. Le aziende

Trattandosi di dati che possono essere utilizzati per un'analisi ed una pianificazione delle risorse aziendali e della gestione dei servizi specializzati.

La crescente rilevanza che viene data al supporto del Digital Twin, per la progettazione e la pianificazione degli spazi della città, deve essere supportata da dati in continuo aggiornamento, in quanto devono essere sempre recenti ed affidabili. Per garantire ciò, la città ha istituito un programma di mappatura, per l'acquisizione continua di dati e per consentire l'aggiornamento del modello 3D, investendo molto sulla tecnologia, soprattutto su strumentazioni LiDAR. L'aggiornamento dei dati è garantito da una mappatura totale della città-stato ogni cinque anni, mentre la struttura stradale è soggetta ad aggiornamenti con frequenza biennale.

Disporre di un gemello digitale della città di Singapore ha svolto un ruolo fondamentale durante il periodo di pandemia dovuto al Covid 19, dando la possibilità di comunicare le decisioni a livello nazionale in modo rapido, permettendo ai cittadini di essere direttamente coinvolti nei processi decisionali.

Il caso studio di Zagabria

La città di Zagabria è la capitale della Croazia, con un'estensione di 641 kmq ed una popolazione pari a 769.944 abitanti; la sua importanza per lo Stato deriva

dalla sua posizione strategica per il traffico di merci, sia con l'Europa centrale che con l'Adriatico.

Per quanto riguarda lo sviluppo urbano e la pianificazione territoriale della città, si fa uso del modello 3D della città dal 2008. Già nel corso degli anni '90 ed i primi anni 2000, i tecnici hanno fatto uso di tecnologie spaziali digitali 2D. Il settore della pianificazione territoriale si è rivelato come il principale promotore per la produzione di modelli 3D rappresentativi della città, in quanto la conoscenza dei dati risulta fondamentale per un'efficiente pianificazione della città.

Lo sviluppo del modello 3D ha avuto avvio nel 2008, per mezzo di un rilievo fotogrammetrico di dettaglio eseguito su un'area mostrata nella figura 6, con l'obiettivo di realizzare un modello digitale del terreno, un modello 3D degli edifici ed una mappa ortofotografica.

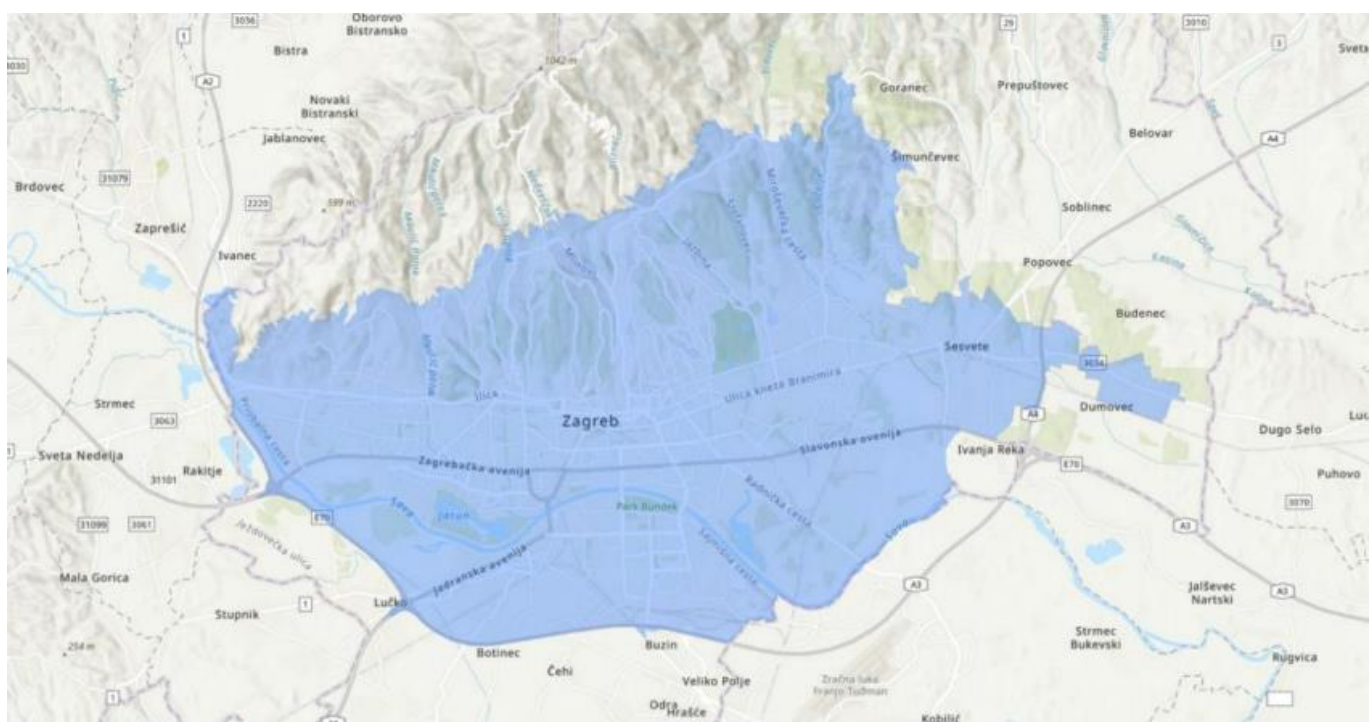


Fig. 9 Area su cui si è realizzato il progetto di rilievo fotogrammetrico Zagrabira

Fonte: Application of 3D City Model in Spatial Planning of the City of Zagreb –

FIG Congress, 2022

Questo rilievo è stato realizzato tramite l'utilizzo di Vexcel UltraCam X, con il quale si sono acquisite 4.000 immagini aeree. In seguito, grazie all'utilizzo del rilievo fotogrammetrico delle linee del tetto, del DTM e delle foto aeree, è stato realizzato il modello 3D, che per la maggior parte è stato prodotto con un grado di dettaglio LOD 2 (level of definition).

Nonostante il rilievo sia stato effettuato nel 2008, le tempistiche di elaborazione e le procedure dell'appalto pubblico hanno fatto sì che il comune entrasse in possesso del modello digitale solo nel 2010.

La città di Zagabria si è posta due obiettivi generali, ovvero:

- Valutare la qualità dei dati e la loro effettiva idoneità di applicazione nelle procedure di pianificazione e progettazione urbana. Obiettivo raggiunto grazie alla collaborazione con l'Università di Zagabria avviata nel 2013, con la quale si è realizzato un progetto di valutazione dei dati del modello 3D, comprendendo procedure di analisi dei dati, della valutazione della qualità, la conversione e la trasformazione di questo database. A seguito di tali analisi sono state evidenziate delle problematiche riguardanti la completezza del dato, in quanto risultava non definito in alcune aree della città, con problemi di coerenza e temporali. Tali lacune sono state colmate dai rilievi successivi effettuati con strumentazione LiDAR e fotogrammetria aerea nel 2012, mentre nel 2016, 2019 e 2020 sono stati effettuati rilievi fotogrammetrici UAV.
- Sviluppare un'applicazione online per la visualizzazione e l'utilizzo del modello 3D. Nel 2016 è stata realizzata un'applicazione web "ZG3D", a partire dalle linee guida degli studi effettuati, volta alla navigazione, alla visualizzazione e all'utilizzo dei dati 3D.

Questa applicazione si basa sull'intersezione dei dati 3D dei diversi edifici con dati 2D e 3D provenienti da altri settori, come quello dell'urbanistica, della topografia, della geotecnica, dell'architettura, e della protezione del patrimonio. La sua realizzazione è stata fatta in modo tale da poter avvantaggiare l'utente, permettendo di selezionare le mappe di base, la tipologia di dati da visualizzare, gli oggetti d'interesse e la selezione dei diversi indirizzi. La versione più recente dell'applicazione risale al 2012 e si basa sulla tecnologia ESRI, creata con ArcGIS API for JavaScript 4.x.

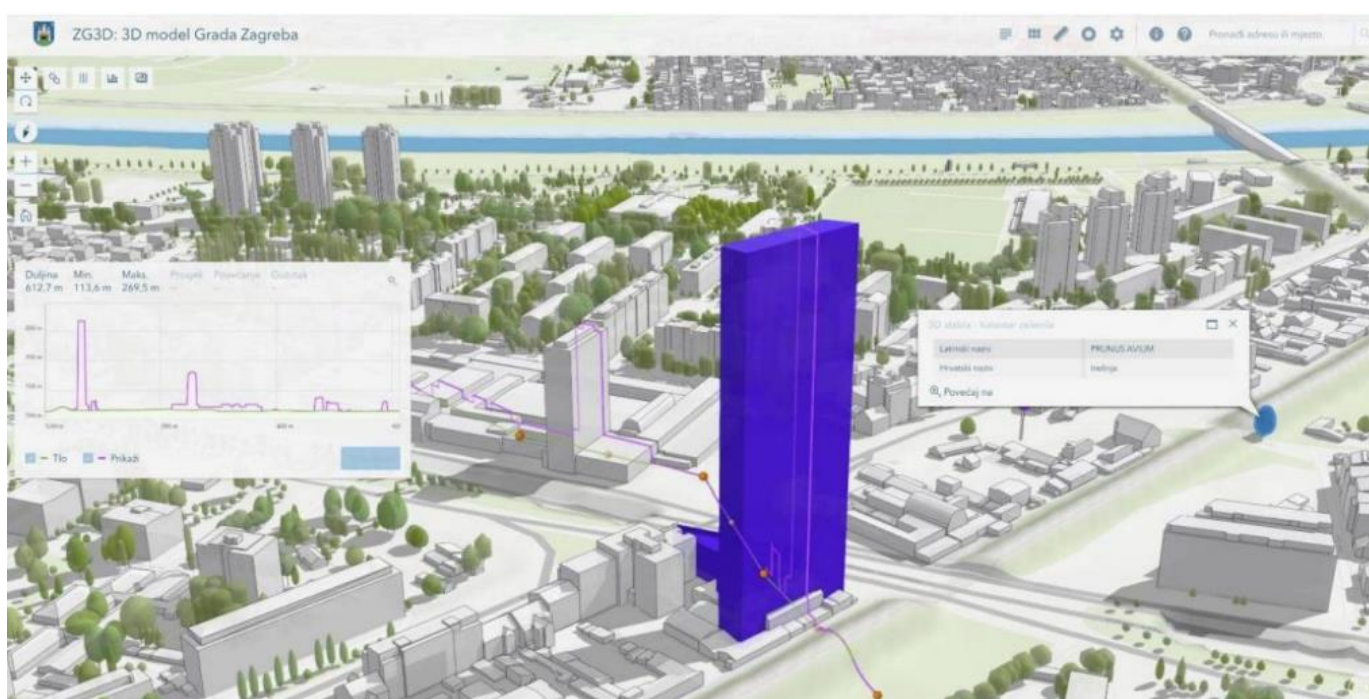


Fig. 10: Applicazione della ZG3D Web Application
Fonte: Application of 3D City Model in Spatial Planning of the City of Zagreb –
FIG Congress, 2022

Come anticipato precedentemente, le tecnologie spaziali sono state adottate dagli urbanisti di Zagabria a partire dagli anni '90, consentendo di prendere decisioni in modo più consapevole e dando la possibilità di sviluppare differenti scenari.

Con l'avvento del modello 3D della città e tramite la sovrapposizione con i più classici strumenti di pianificazione, sono stati semplificati i processi di confronto con i regolamenti edilizi e l'individuazione delle aree soggette ad un maggiore rischio ambientale, dovuto a frane o alluvioni. Inoltre può essere un ausilio nella progettazione e valutazione degli edifici, consentendo di mostrare il confronto tra quelli attuali e le dimensioni di quelli futuri, consentendo di integrare il progetto con tutti i dati spaziali di cui può necessitare.



*Fig. 11: Simulazione dei volumi degli edifici previsti dal Piano Urbanistico
Fonte: Application of 3D City Model in Spatial Planning of the City of Zagreb –
FIG Congress, 2022*

Per la città di Zagabria questo modello 3D si è rivelato essenziale nel 2020, anno in cui si è verificato un terremoto di magnitudo 5.5, per effettuare degli studi di ricostruzione delle aree danneggiate dal sisma.

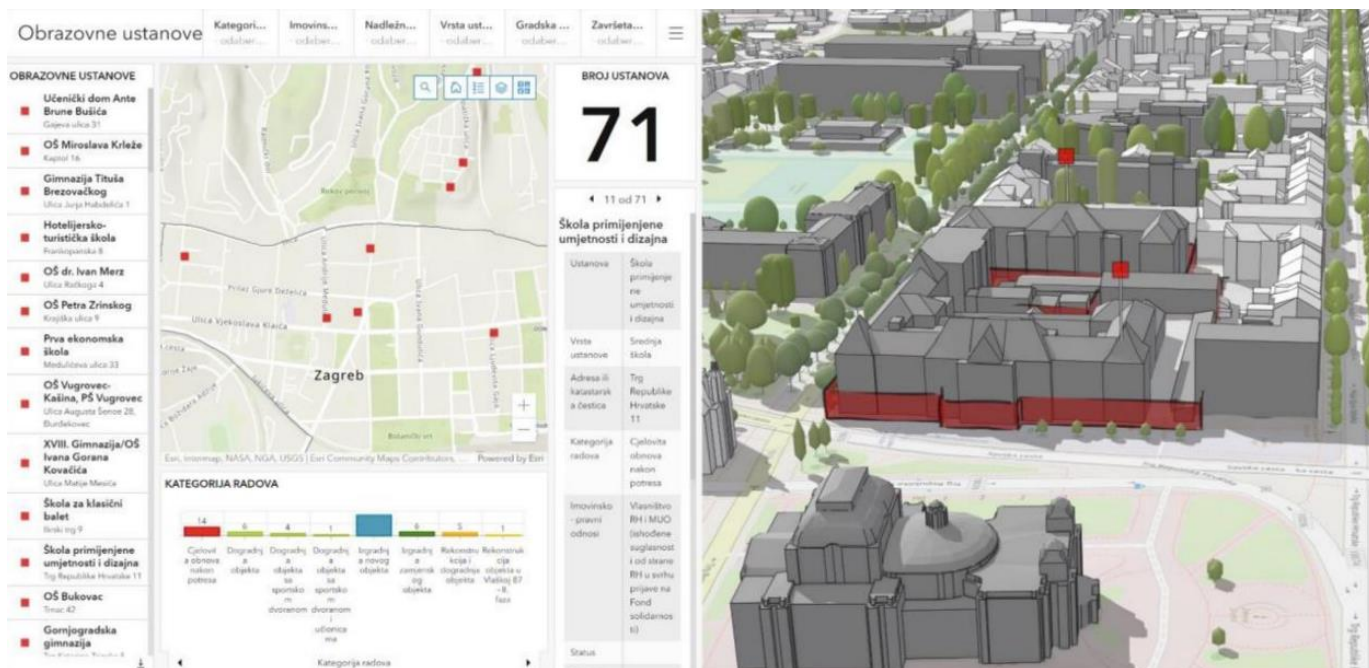


Fig.12: integrazione dell'applicativo GIS e di ZG3D per la simulazione della ricostruzione post-terremoto

Fonte: Application of 3D City Model in Spatial Planning of the City of Zagreb - FIG Congress, 2022

Attualmente la città di Zagabria prevede di aggiornare il modello 3D con l'obiettivo di ricreare un gemello digitale più complesso, focalizzandosi sull'aggiornamento dei dati e sull'utilizzo di sensori per ottenere informazioni in tempo reale. Sono in corso numerosi progetti riguardanti il sistema dei trasporti, la gestione dei rifiuti ed il monitoraggio ambientale. Si prevede una continua implementazione di questo modello che si ritiene possa essere utile per individuare ed anticipare i possibili sviluppi urbani, e per supportare la progettazione architettonica individuando gli impatti dei nuovi progetti di trasformazione.

2

Le strumentazioni per il rilievo

Il rilievo e la successiva rappresentazione del territorio sono esigenze originarie dell'età antica, a partire dal momento in cui le civiltà hanno avuto la necessità di delimitare i possedimenti. Queste pratiche rudimentali hanno preso avvio dall'esigenza di produrre rappresentazioni cartografiche delle popolazioni della Mesopotamia e dell'Egitto, evolutosi con le conoscenze matematiche e astronomiche.

Tali pratiche rudimentali si sono sempre più evolute a partire dalla nascita di strumenti e di tecniche per la navigazione, fino all'esercizio dell'attuale disciplina della geomatica, fondata sull'utilizzo integrato di discipline di rilievo e del successivo trattamento dei dati raccolti.

Anche la progettazione urbana può trarre vantaggio dalla pratica di tale materia, tramite la realizzazione di rilievi attraverso l'ausilio di molteplici strumenti, utilizzabili in modalità differenti a seconda del dettaglio, della scala e della porzione di territorio su cui si interviene. La scala di lavoro varia in base al raggruppamento del contesto territoriale e urbanistico, del paese e dell'ente che sviluppa l'analisi.

Sulla base delle informazioni che si ha la necessità di rilevare viene scelta la tipologia di strumentazione più adatta; questa distinzione comprende due macro

categorie di supporti tecnologici, che permettono di effettuare rilievi aerei o terrestri, attraverso l'utilizzo di sistemi di rilievo passivi o attivi:

- passivi: se sfruttano la luce naturale, come le tecniche fotogrammetriche, i teodoliti, etc.
- attivi: se la luce è codificata per essere usata nel processo di misurazione, come con i laser scanner, i radar, le stazioni totali, etc.

Per realizzare un rilievo è fondamentale geolocalizzare il territorio oggetto dell'intervento, per questo motivo venne istituito il Global Navigation Satellite System (GNSS) relativo a tutti i sistemi che ricorrono ai satelliti per la determinazione della posizione georiferita dei propri elementi. Questo sistema sfrutta la rete di satelliti artificiali posizionati in orbita o sulla superficie terrestre, che trasmettono in modo continuativo dei segnali capaci di garantire un *“posizionamento geospaziale autonomo con una copertura globale”* (mobatime.com, 17-06-2023). Si tratta di un sistema nato negli Stati Uniti nel corso degli anni '60 per scopi militari, e sfrutta il posizionamento dei satelliti artificiali per trasmettere segnali radio codificati, grazie ai quali è possibile ricavare la distanza tra i satelliti e i punti terrestri. Tale costellazione di satelliti artificiali è tenuta sotto controllo da 5 stazioni terrestri localizzate all'interno di basi militari, che permettono di restituire le informazioni ricevute dai satelliti e di restituirle agli utenti.

La precisione di tale sistema è variabile e dipende dalla tecnica e dalle strumentazioni utilizzate.

La tecnologia di localizzazione non presenta difformità determinate dalle condizioni atmosferiche, ma bensì esse sono irrilevanti; permette una facile individuazione dei punti nelle reti di inquadramento, riducendo le tempistiche delle operazioni preliminari e fornendo una omogeneità tra tutti i rilievi.



Fig. 13 : Sistemi GNSS

Fonte: leica-geosystems.com, 05-06-2023

A livello europeo, data l'elevata quantità di informazioni georeferenziate, risulta fondamentale disporre di un'infrastruttura nazionale in grado di semplificare le procedure di condivisione dei dati, per questo motivo è stata introdotta la direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007 per istituire INSPIRE (Infrastructure for SPatial InfoRmation in Europe), recepita nell'ordinamento italiano con il decreto legislativo 27 gennaio 2010, n. 32 e s.m.i. Andando nello specifico per l'Italia, essa fa riferimento al D.Lgs. 32/10 per delineare la governance per lo sviluppo e la gestione dell'infrastruttura nazionale nell'ambito di INSPIRE. Altro cambiamento che ha comportato il D.Lgs. riguarda la trasformazione del Portale Cartografico Nazionale in Geoportale nazionale, in grado di fornire informazioni territoriali ed ambientali a soggetti sia pubblici che privati.

Per quanto riguarda gli strumenti di rilievo, si assiste ad una continua evoluzione che parte proprio dall'invenzione della fotografia avvenuta nei primi anni del 1800, consentendo di associare tale pratica alle tradizionali tecniche di rilievo.

Nel corso della storia, la pratica del rilievo si è fondata sull'utilizzo del teodolite, uno strumento che dai suoi albori permetteva la misurazione degli angoli azimutali e zenitali.

L'evoluzione tecnologica ha portato all'integrazione dello strumento del teodolite con la fotografia, permettendo così di ottenere delle prospettive orientate. Successivamente si assistette all'introduzione di strumenti elettronici, che automatizzano la fase di lettura angolare e memorizzano i risultati, fino ad una programmazione e automatizzazione integrata alle fotocamere coassiali, capaci di registrare sincronicamente sia l'immagine del punto rilevato che la panoramica del rilievo.

Questa continua innovazione necessita di una particolare attenzione soprattutto nella fase di integrazione tra le pratiche tradizionali di rilievo e quelle più recenti. Attualmente si dispone di un'ampia gamma di strumenti da poter utilizzare per effettuare un rilievo, per tale motivo risulta essenziale individuare le potenzialità di ciascuna categoria, riuscendo così a determinare lo strumento più idoneo all'elaborazione che si sta effettuando. Le esigenze di un tecnico possono essere molteplici, e possono dipendere dalla precisione del rilievo, dalle tempistiche a disposizione e dai software di elaborazione, che sono le principali questioni su cui ci si basa per la scelta dello strumento da utilizzare.

Nei capitoli successivi dell'elaborato verranno analizzate delle casistiche in cui i rilievi sono stati effettuati attraverso il supporto di strumenti che sfruttando due tecniche, ovvero la fotogrammetria e il laser scanner.

Fotogrammetria

La fotogrammetria si configura come una tecnica di rilievo di dettaglio, che si basa sui principi della geometria proiettiva e consente di ottenere informazioni metriche di oggetti tridimensionali mediante l'interpretazione e la misura delle immagini fotografiche.

Si tratta di una metodologia di rilievo che permette di determinare le caratteristiche degli oggetti senza la necessità di avere un contatto con essi, e di rielaborare le misure e le informazioni in una fase successiva; inoltre permette di operare anche su oggetti non più esistenti, ma di cui si hanno a disposizione solo delle fotografie.

La realizzazione di un rilievo fotogrammetrico si basa sulla necessità di reperire almeno due fotogrammi rilevati in due punti differenti dello spazio, basandosi così sul principio della stereoscopia, cioè nella riproduzione del meccanismo visivo che avviene quando guardiamo un oggetto, ovvero ricorrendo a punti di osservazione diversi, grazie ai quali è possibile determinare la profondità.

La visione stereoscopica artificiale consiste nell'utilizzo di un dispositivo che permette di osservare contemporaneamente due fotogrammi differenti e che elabori le immagini prese dai due diversi punti di vista, consentendo una fusione spaziale che permetta una visualizzazione tridimensionale.

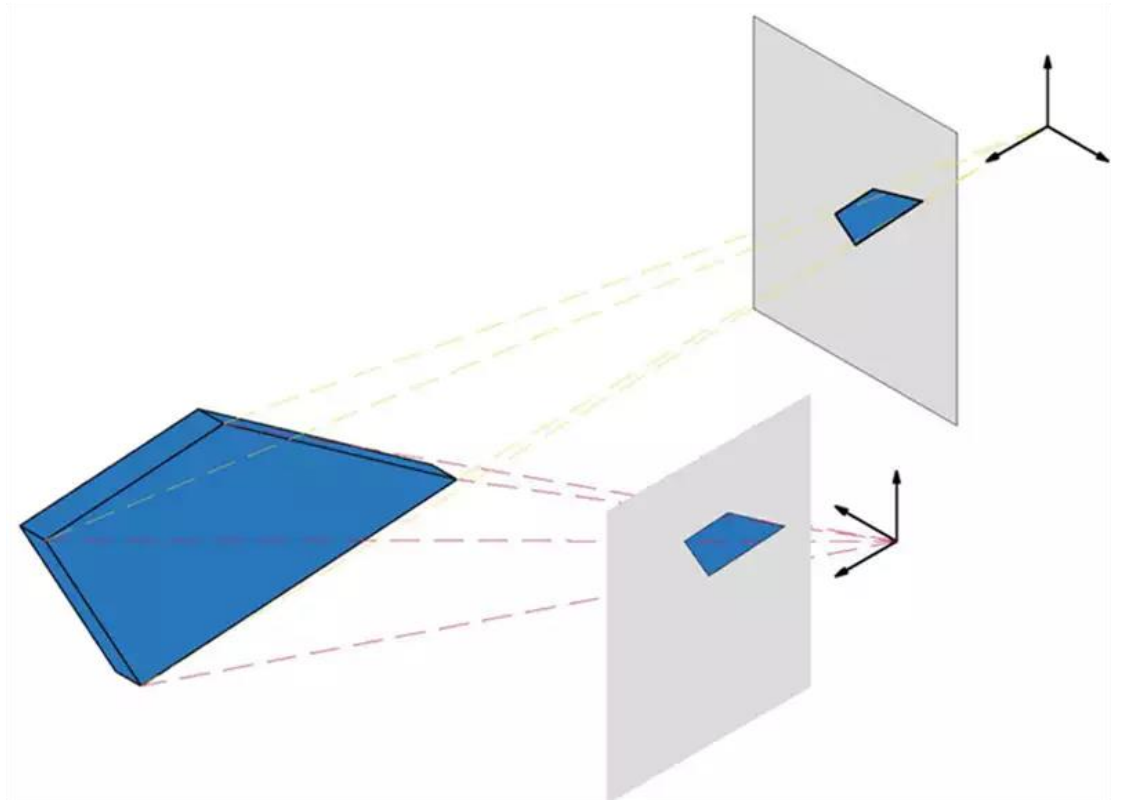


Fig. 14: Sviluppo tecnico della fotogrammetria

Fonte: BibLus BIM, 15-06-2023

L'acquisizione delle immagini può avvenire attraverso il supporto di differenti apparecchi fotografici, tra cui le macchine da presa nadirali, ovvero con l'asse ottico dello strumento verticale, o con le macchine da presa oblique, ovvero con l'asse inclinato di 45° rispetto l'orizzonte.

Il rilievo fotogrammetrico avviene secondo differenti fasi, che prevedono la pianificazione delle diverse riprese, l'acquisizione delle immagini fotografiche, e la successiva rielaborazione mediante l'utilizzo di strumenti restitutori.

L'ulteriore vantaggio degli interventi di rilievo fotogrammetrico consiste nel fatto che possono essere effettuati a scale differenti, a partire da quella territoriale attraverso il rilievo fotogrammetrico aereo, fino alla delineazione di singoli elementi o singole facciate di edifici tramite la fotogrammetria close-range.



Fig. 15: Strumento per la realizzazione di un rilievo fotogrammetrico terrestre

Fonte: 3dmetrica.it, 15-06-2023



Fig. 16 Strumento per la realizzazione di un rilievo fotogrammetrico aereo

Fonte: Drone Blog News, 15-06-2023

Laser scanner

La tecnologia laser scanner si caratterizza per la sua capacità di rilevare digitalmente gli oggetti attraverso l'acquisizione di una nuvola di punti, ognuno dei quali associato al sistema di coordinate x, y e z.

Questa tecnologia verte sul supporto di impulsi laser infrarossi che permettono di rilevare l'intervallo tra l'impulso emesso e quello di ritorno: questo permette di posizionare nello spazio ogni punto rilevato, alla quale viene associata una specifica coordinata e un valore di riflettanza, relativo alle caratteristiche dell'oggetto, riuscendo a restituire anche un parametro cromatico RGB.

Questo sistema di rilievo si presta molto bene per la restituzione di oggetti anche molto complessi o di larga scala, per questo motivo si considera una valida tecnica negli ambiti dell'urbanistica, della riqualificazione urbana e del monitoraggio delle trasformazioni territoriali.

Questa versatilità deriva dal fatto che è possibile collegare diversi rilievi in successione, sovrapponendoli tra loro grazie alla presa di punti in comune, arrivando a coprire aree di grandi dimensioni.

Le scansioni che vengono effettuate consentono di acquisire in modo rapido milioni di punti, permettendo di rilevare sia oggetti di grandi dimensioni, che oggetti più ravvicinati, garantendo una risoluzione compresa nell'ordine del decimo di millimetro ai centimetri, variabile a seconda della strumentazione utilizzata per il rilievo.

L'acquisizione dei dati attraverso il laser scanner richiede una successiva elaborazione in laboratorio attraverso software che permettono di elaborare i dati in formato las e laz, effettuando eventuali pulizie, conversioni o classificazioni degli elementi rilevati.

L'elaborazione di un rilievo attraverso la tecnologia laser scanner può essere effettuata attraverso strumenti con postazione fissa, o con strumenti in

movimento, ma come verrà analizzato successivamente ciò varia il numero di punti che lo strumento è in grado di registrare.

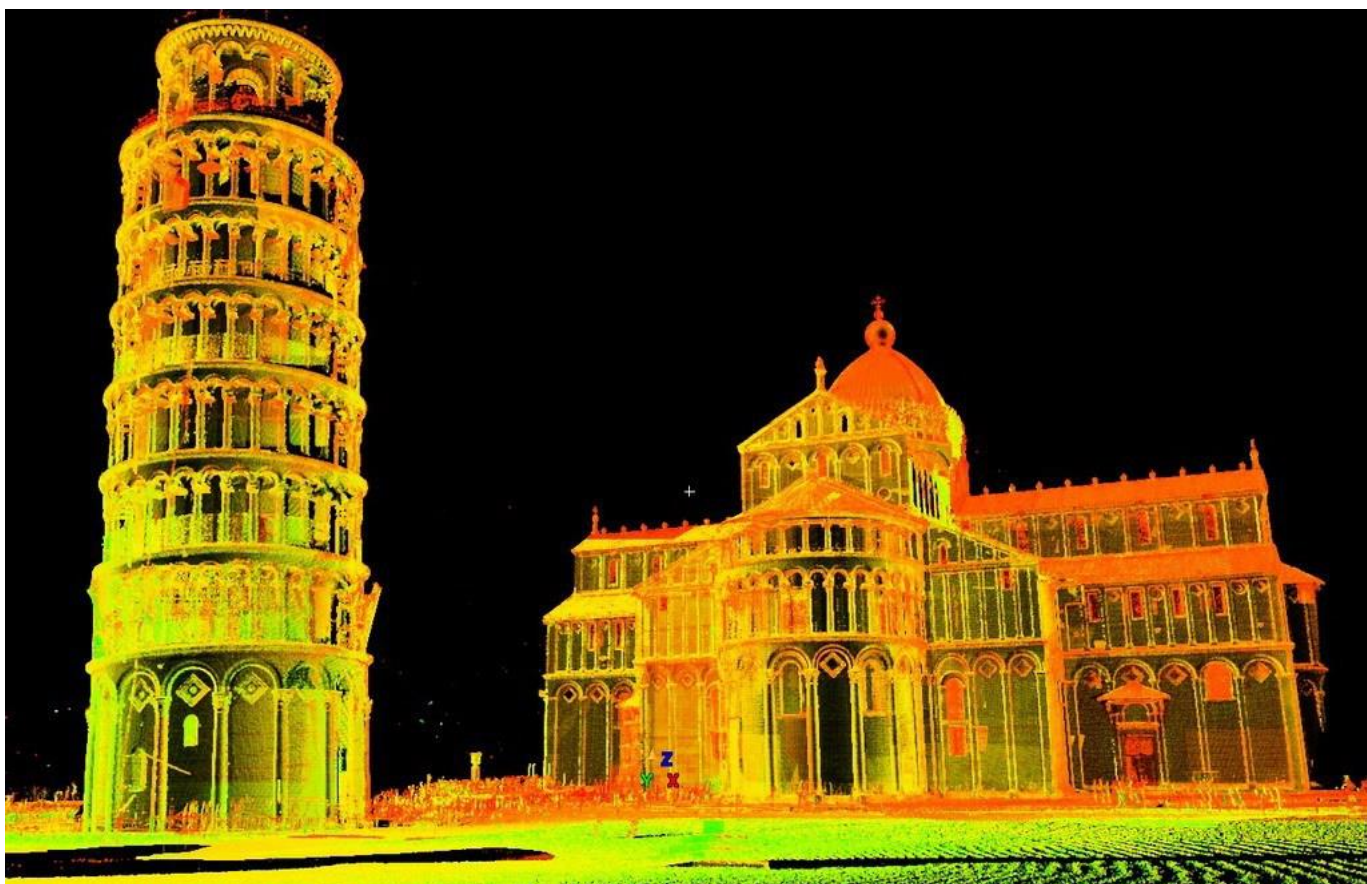


Fig. 17: Esempio di restituzione di una nuvola di punti della Piazza dei Miracoli, Pisa

Fonte: GoForm.it, 17-06-2023

Nel contesto delle pratiche di rilievo, per effettuare una geolocalizzazione dei dati acquisiti, è necessario fare uso dei target o marker, ovvero oggetti di riferimento posizionati all'interno dell'area oggetto del rilievo.

Tali strumenti di supporto possono essere di due tipologie differenti, ovvero naturali o artificiali. Per quanto riguarda i target naturali essi sono riconoscibili per le caratteristiche singolari che presentano; i target artificiali sono invece posizionati dall'operatore all'interno dell'area oggetto del rilievo, e si

caratterizzano per essere realizzati con materiali visibili e facilmente riconoscibili in fase di elaborazione del dato.

L'individuazione dei target sul territorio può anche essere associata alla geolocalizzazione attraverso un'antenna GNSS, permettendo così di georeferenziare il rilievo sul territorio. Nello specifico, per il caso pratico del Piazzale Grande Torino, è stato utilizzato il ricevitore GNSS S9III PLUS, visibile dalle foto sottostanti.

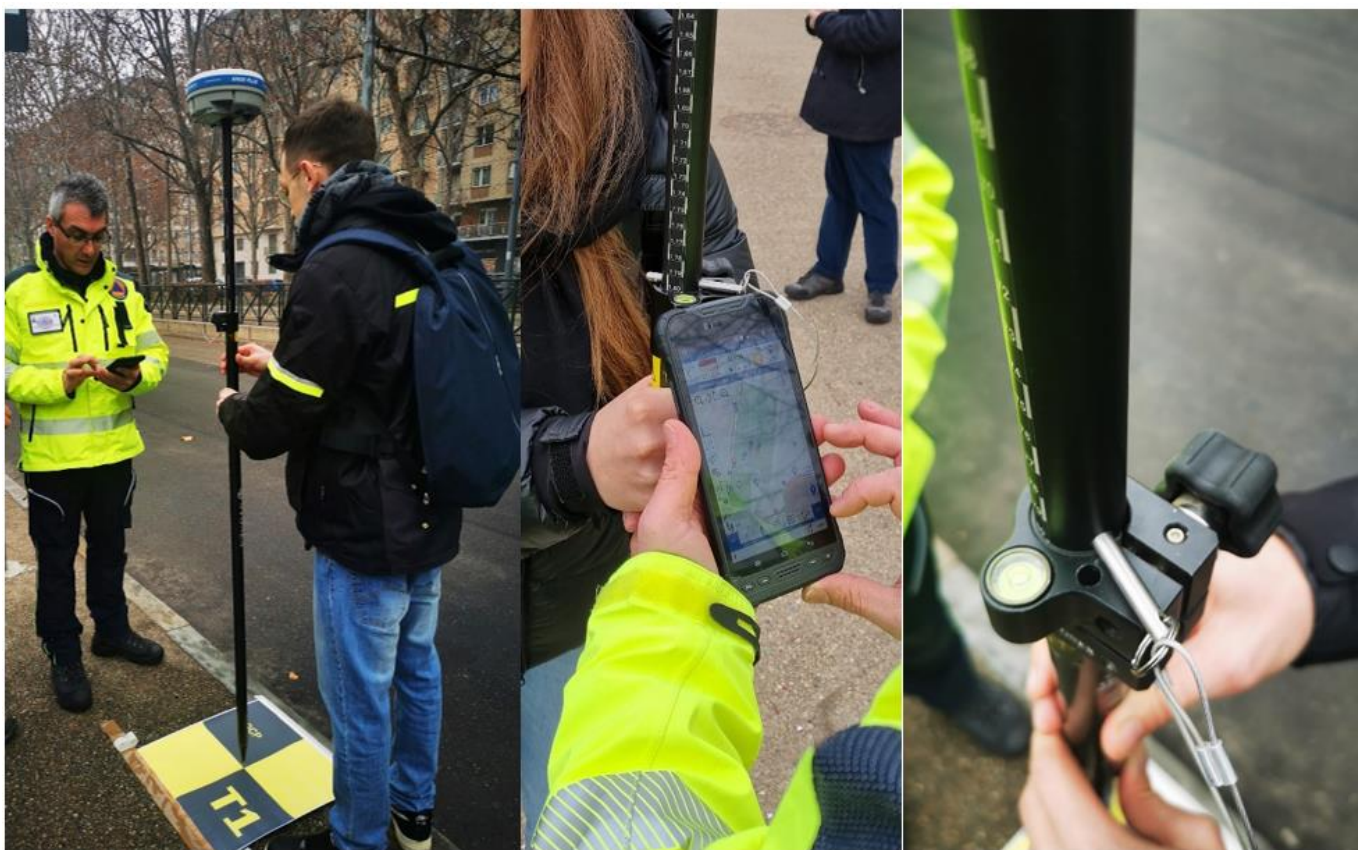


Fig. 18 : Utilizzo ricevitore GNSS S9III PLUS per georeferire i target

Fonte: Sopralluogo Piazza d'Armi Torino, 20-02-2023

Lo sviluppo di tale documento verte anche sulla diretta esperienza svolta sul campo, nello specifico attraverso il rilievo effettuato nel piazzale Grande Torino, di seguito meglio approfondito.

L'attività di rilievo, nelle medesime modalità sopra riportate, è stata svolta attraverso strumentazioni che permettono di effettuare rilievi terrestri ed aerei, analizzando nel dettaglio solo quelli utilizzati, data l'elevata quantità di strumenti esistenti in commercio.

Per quanto concerne il rilievo terrestre dell'area limitrofa allo Stadio Olimpico Grande Torino, esso si è realizzato attraverso il supporto di due strumenti differenti, ambedue supportati da una tecnologia che permette, in modo coordinato, sia il rilievo fotogrammetrico che quello laser scanner.

Nello specifico, per tali operazioni ci si è serviti degli strumenti "Trimble X7" e "GeoSlem - ZEB Horizon RT".

Trimble X7

Lo strumento Trimble X7 è stato progettato dalla Trimble, ovvero un'azienda leader nel campo delle tecniche di misurazione e rilevamento; esso si configura come uno strumento che permette di effettuare rilievi laser scanner 3D ad alta velocità, supportato dall'utilizzo del tablet Trimble Prospective capace di garantire una massima efficacia ed operatività anche sul campo.

La struttura dello strumento risulta versatile e leggera, rendendo possibile un agevole trasferimento ed installazione dello stesso nelle differenti aree di studio, in quanto lo strumento ha un peso pari a 5,8 kg, con dimensioni di 178 mm L x 353 mm H x 170 mm P.

L'apparecchio tecnologico dispone di un treppiede in fibra di carbonio per il supporto della sfera, agganciati tramite un adattatore che permette un rapido sgancio.



Fig. 19: Strumento Trimble X7 presso il Palazzo del Rettorato, Torino

Fonte: Sopralluogo 16-02-2023

Lo strumento offre una calibrazione automatica, senza quindi la necessità del supporto dei target e senza fasi di inattività dovute ai tempi tecnici delle procedure di calibrazione, inoltre garantisce un livellamento automatico, che permette di migliorare il grado di precisione del rilievo, ed è dotato di un sistema di posizionamento GNSS che offre la possibilità di georeferenziare i dati scansionati ed integrarli con gli altri sistemi di posizionamento.

Tale supporto tecnologico permette di effettuare delle scansioni laser 3D ad alta velocità, incrementando così l'efficienza e l'affidabilità sul campo. Le scansioni 3D avvengono mediante l'installazione del Laser EDM con una lunghezza d'onda di 1550 nm, ed un campo visivo di 360° orizzontalmente e 282° verticalmente che consente di acquisire un'ampia area circostante. La velocità di scansione dipende dal grado di accuratezza che si ha la necessità di ottenere dal rilievo specifico, e può variare da 01:35 min a 15:40 min a scansione. Il livello di precisione di scansione offerto dallo strumento è dichiarata di 3 mm ad una distanza di 25 m ed è in grado di registrare 58'000'000 di punti in quattro minuti. In base a come

viene programmato ottiene risultati differenti, che nella tabella sottostante sono mostrati con più dettaglio.

PARAMETRI DI SCANSIONE						
DURATA ⁴ (MIN)	MODALITÀ SCANSIONE	DISTANZA (MM) a 10 M	DISTANZA (MM) a 35 M	DISTANZA (MM) a 50 M	NUMERO DI PUNTI (MPTS)	DIMENSIONE MASSIMA FILE (MB)
2	Standard	11	40	57	12	160
4	Standard	5	18	26	58	420
	Alta Sensibilità	9	33	47	17	190
7	Standard	4	12	18	125	760
	Alta Sensibilità	6	21	30	42	330
15	Alta Sensibilità	4	13	19	109	710

Tab. 1: Parametri di scansione Trimble X7

Fonte: Scheda tecnica Trimble X7, 15-06-2023

Lo strumento, oltre ad avere un dispositivo per effettuare scansioni laser 3D, combina le tecniche della fotogrammetria per generare così dei modelli finali caratterizzati da una precisione ed una qualità migliore, rispetto ad un rilievo effettuato unicamente con la tecnologia laser scanner, dando la possibilità di colorare la nuvola di punti realizzata.

Per una più completa elaborazione e restituzione del dato rilevato, in concomitanza con lo strumento, viene fornito il software Trimble RealWorks, ovvero un programma di elaborazione che consente di analizzare ed elaborare i dati di scansione acquisiti. Tale supporto offre differenti funzionalità, tra cui la registrazione della nuvola di punti, l'elaborazione dei dati acquisiti e la creazione di modelli tridimensionali.

La versatilità, la precisione e la velocità di acquisizione dei dati dello strumento permettono la sua applicazione in molteplici settori, tra cui:

1. Ingegneria civile

Lo strumento supporta tali ambiti di studio in quanto permette di rilevare dati precisi per la modellazione tridimensionale, la pianificazione dei lavori, il controllo di qualità ed il monitoraggio dei progetti in fase di realizzazione.

2. Topografia e rilevamento

La tecnologia Trimble X7 risulta di supporto per il rilevamento topografico del terreno e la successiva generazione dei modelli digitali del terreno e delle mappe tridimensionali;

3. Architettura e design

Il supporto del rilievo laser scanner negli ambiti dell'architettura permette di effettuare delle scansioni precise degli ambienti interni ed esterni, facilitando l'analisi degli spazi realizzati e quelli in progetto, Inoltre, permette di utilizzare le informazioni acquisite per la modellazione degli edifici preesistenti e la creazione di modelli tridimensionali realistici.

4. Monitoraggio e ispezioni

La rapidità e la velocità di acquisizione dei dati, permette di effettuare scansioni periodiche degli oggetti da sottoporre a pratiche di monitoraggio, evidenziando eventuali deformazioni e difformità che si sono presentate nel tempo. Tale supporto risulta fondamentale per valutare la manutenzione e la sicurezza delle strutture e delle opere architettoniche.

5. Restauro e conservazione del patrimonio architettonico

La precisione con cui lo strumento riesce a rilevare i dati e a rielaborarli attraverso il software apposito, offre la possibilità di supportare le pratiche di restauro e di conservazione del patrimonio, in quanto permette di documentare gli elementi artistici di pregio, e consente la creazione di modelli digitali di alta precisione delle sculture o dei manufatti.

6. Industria manifatturiera

Anche nell'ambito dell'industria manifatturiera il supporto di tale strumento permette di acquisire e realizzare modelli tridimensionali dei macchinari e degli impianti industriali, per una migliore progettazione delle componenti ed una semplificazione della pianificazione della produzione.

Geo SLAM - ZEB Horizon RT

Lo strumento ZEB Horizon RT si basa sull'applicazione del rilievo SLAM- Simultaneous Localization and Mapping, ovvero una tecnica per mappare un ambiente sconosciuto e stimarne una posizione, grazie alla combinazione della mappatura e della localizzazione simultanea.

La realizzazione di una mappatura comporta la rappresentazione dell'ambiente circostante grazie ai dati rilevati dai sensori dello strumento, mentre la localizzazione consiste nel posizionamento e orientamento dell'agente mobile in questa mappa.

Un rilievo SLAM viene supportato dall'utilizzo di diversi sensori, tra cui le telecamere e i sensori LiDAR, i quali permettono di raccogliere informazioni sull'ambiente circostante. Specificatamente, le telecamere permettono di catturare immagini dell'area di studio, i sensori LiDAR di misurare gli oggetti attraverso i raggi laser.

Il laser scanner ZEB Horizon RT si configura come uno strumento rapido e agevole per acquisire ed elaborare rilievi attraverso una nuvola di punti 3D, grazie alla possibilità di rilevare dati in movimento.

Strutturalmente, lo strumento, si presta ad essere versatile e leggero, in quanto si caratterizza per un peso di 2,85 kg, di cui 1,45kg relativi allo strumento ed 1,40kg riguardante la batteria integrata. Lo strumento, per il suo funzionamento, non necessita di un supporto fisso, ma bensì le scansioni vengono effettuate in costante movimento: lo strumento può essere sostenuto dall'operatore stesso, oppure può essere installato sullo zaino dato in dotazione dall'azienda produttrice o sulle automobili.



Fig. 20: Strumento Geo SLAM - ZEB Horizon RT presso il Palazzo del Rettorato, Torino

Fonte: Sopralluogo 16-02-2023

Lo strumento, grazie al supporto della tecnologia laser scanner, permette di effettuare delle scansioni laser 3D con una massima efficienza per quanto riguarda le tempistiche di rilievo in relazione al grado di precisione che riesce a raggiungere.

L'acquisizione dei dati tramite la tecnologia SLAM viene supportata dall'apparecchio LiDAR installato su un motore che ruota a 360°, permettendo il di ampliare il campo visivo del sensore. Tale strumento permette di avere una portata di 100 mt ed una rapidità di acquisizione di punti pari a 300.000 al secondo. Il grado di accuratezza del rilievo della nuvola di punti è compreso tra 1 e 3 cm.

L'utilizzo del laser scanner con tecnologia SLAM, nel corso della fase di rilievo è supportata dalla fotocamera sferica 360° che permette di effettuare le foto panoramiche e di implementare il dettaglio della nuvola di punti, permettendone la colorazione.

Per quanto riguarda la realizzazione del rilievo aereo si è utilizzato come supporto il drone DJI Mini 3, tramite l'applicazione coordinata del rilievo laser scanner e fotogrammetrico.

Drone DJI Mini 2

Le tipologie di droni sono molteplici, per questo motivo si è scelto di soffermarsi sulle strumentazioni utilizzate nel caso pratico analizzato, ma prima di andare nel dettaglio del DJI Mini 2, si è voluto indicare quali sono le differenze secondo cui vengono suddivisi i vari modelli:

- numero di eliche: possono essere a singolo rotore, tricopter, quadcopter, hexacopter, octocopter. Il DJI Mini 2 rientra nella tipologia dei quadcopter, avendo quattro eliche che si muovono a coppia, due in senso orario e due in senso anti orario;
- dimensioni: possono essere di grande, media e piccola dimensione. Il DJI Mini 2 risulta essere di piccola dimensione essendo estremamente compatto;
- attrezzatura: ad esempio se dispongono di fotocamera, di sensore GPS, di stabilizzatori o di strumenti in grado di creare nuvole di punti. Il DJI Mini 2 utilizzato disponeva di tali attrezzature descritte;

Lo strumento tecnico Drone DJI Mini 2 è un aeromobile a pilotaggio da remoto. Si tratta nuovamente di uno strumento che permette di combinare il rilievo effettuato con sensori laser scanner e fotogrammetria terrestre.

Si tratta di uno strumento estremamente pratico, compatto e leggero, con un peso di 249 gr, ed una velocità di volo fino a 38 km/h a seconda delle necessità dell'operatore. Una delle principali problematiche dei droni è legata alla loro autonomia, ma in questo caso il DJI Mini 2 ha una batteria che può durare fino a 31 minuti. Inoltre, il livello di accuratezza, risulta essere di 0,5 mm in caso di posizionamento con il sistema GNSS ed è in grado di resistere alle raffiche di vento di livello 5, cioè di 29-38 km/h, anche se è di piccole dimensioni. Si tratta di uno strumento portatile, ma che racchiude grandi potenzialità, essendo in grado di decollare anche ad un'altitudine massima di 4000 metri e può trasmettere in HD anche a distanze molto elevate.



Fig. 21: Strumento Drone DJI Mini 2 , utilizzato presso Piazza d'Armi, Torino

Fonte: Sopralluogo 20-02-2023

Per quanto riguarda l'applicazione di tale tecnologia, è necessario sottolineare il fatto che per poterla utilizzare, è obbligatorio essere in possesso della certificazione ENAC, e dell'autorizzazione per poter sorvolare sulle aree urbane. E' possibile utilizzare anche il sito messo a disposizione dalla società d-flight S.p.A. per conoscere, oltre ad altri servizi che fornisce, quali sono le aree in cui è possibile sorvolare con e senza i permessi o dove è proprio vietato. Si tratta di una società italiana responsabile della gestione e del controllo del traffico aereo civile in Italia, che ha creato il portale d-flight per gestire i droni e il loro impiego, attraverso:

- la registrazione dei droni all'interno della banca dati italiana, attraverso un codice univoco che li identifica
- il reperimento delle informazioni da dover conoscere per poter volare in conformità alle normative vigenti e in sicurezza

L'attività che viene svolta sul campo prevede differenti fasi di sviluppo, in quanto è necessario pianificare la missione, pre definendo l'altezza del volo, la traiettoria e la lunghezza delle strisciate; è anche possibile predefinire la quantità di punti e la quantità di fotogrammi da acquisire in un certo arco temporale.

3

Esperienza diretta presso il comune di Torino

Il Comune di Torino si sta organizzando per realizzare un suo catasto del suolo pubblico, che sia esaustivo nella catalogazione degli elementi che occupano in modo permanente o temporaneo il suolo pubblico della città. Questa operazione viene svolta con il supporto dell'Ufficio tributi ed il responsabile della gestione della C.O.S.A.P , ovvero il Canone per l'Occupazione di Spazi e Aree Pubbliche.

La raccolta dati avviene principalmente per due ragioni: per completezza delle informazioni, in modo da conoscere la loro posizione, il soggetto pagante o la tipologia, ma anche per fini fiscali, in quanto si tratta di una registrazione degli oggetti localizzati sul suolo pubblico soggetti ad un canone di occupazione. Il pagamento della tassa è variabile e dipende dal tipo di zona a cui si fa riferimento, dai metri quadrati occupati, dalla quantità di giorni, quando si tratta di occupazioni temporanee, e dal tipo di opera che si va ad installare. Queste diverse tipologie determinano anche l'eventuale esenzione dal pagamento.

La registrazione dei dati avviene tramite autonoma dichiarazione dei cittadini che presentano la modulistica agli uffici competenti e ciò deve essere effettuato da:

- chi intende occupare una porzione di area pubblica in modo permanente;
- chi deve segnalare un errore di rilevamento della superficie occupata e quindi deve modificare la concessione;
- chi deve ottenere la voltura di occupazioni già presenti;

- chi deve cessare l'occupazione;

I dati raccolti servono al Comune di Torino per effettuare eventuali controlli su occupazioni ritenute abusive. Per essere tali devono essere:

- senza la concessione comunale che va rilasciata preventivamente;
- differenti le informazioni reali dell'oggetto rispetto a quelle registrate per l'autorizzazione (ad esempio eccesso di superficie occupata o se si supera la durata di permesso concessa);
- non volturate entro i 30 giorni dal cambio di titolarità;

Il processo di realizzazione del catasto del suolo pubblico si compone di differenti fasi, alla cui base vi è l'utilizzo delle tabelle excel disponibili ed aggiornate.

Le opere presenti all'interno di questo database sono definite da differenti caratteristiche, alcune delle quali indispensabili per la costituzione del catasto, ovvero:

- il tipo di opera
- l'ubicazione
- l'eventuale cessazione

Per quanto riguarda il tipo di opera si individuano differenti macro-categorie di classificazione, ovvero:

- Benzinai, al cui interno si inseriscono diverse tipologie di oggetti, quali gli accessi, le aree per piccole riparazioni, i cassoni metallici dei carburanti, i serbatoi per il carburante e gli olii, dispositivi self-service e lo svaso;
- Aree delimitate, suddivise in aree delimitate per i pubblici servizi e le aree delimitate in genere;

- Bacheche e vetrine, anch'esse suddivisibili in bacheche o vetrine di edicole o in genere;
- Locali interrati con un chiusino in superficie, al cui interno si raggruppano la categoria delle cabine, camerette e i cunicoli;
- Cavidotti ed i cavalcafossi a cui si aggiungono le condutture nel sottosuolo;
- Colonnine per la ricarica dei veicoli elettrici, le quali si suddividono in base al tipo di erogazione e la struttura;
- Chioschi, al cui interno si categorizzano i chioschi in base alla loro funzione (bar, alimenti, fiori, libri, etc.);
- Griglie e lucernai, raggruppati nella medesima categoria;
- Opere in genere, divise in occupazioni generiche s.p.f.c. e precarie in genere;
- Padiglioni;
- Passi carrai, al cui interno si suddividono i passi carrai a raso, localizzati in strade private, o in genere;
- Pensiline, anch'esse suddivise in base alla funzione svolta dall'attività;
- Pozzetti e botole, suddividendoli anche sulla base del fatto se sono per pubblici servizi;
- Rampe di accesso, suddivise in carrabili o pedonali;
- Sottopassaggio, comprendente sia la categoria del sottopassaggio che la passerella-sottopassaggio;
- Transenne;
- Vetrina, all'interno di questa categoria si classificano e diversificano in base all'attività della struttura di riferimento;
- Esistono ulteriori oggetti presenti sul suolo pubblico che non è possibile raggruppare in macro-categorie;

Ci sono delle specifiche categorie di opere che non sono soggette al pagamento della C.O.S.A.P., ma sono contenute comunque all'interno del registro per disporre di una catalogazione completa degli oggetti presenti sul suolo pubblico, in modo da poter gestire al meglio le scelte urbanistiche future.

Per la costituzione del catasto del suolo pubblico è necessario georiferire gli oggetti, perciò, a partire dai dati di scarico del database relativo alla C.O.S.A.P., è stato possibile confrontare la tabella ufficiale relativa ai civici della città, opportunamente coordinati, con la tabella relativa all'estrazione dei tributi.

Tramite l'ausilio delle coordinate del numero civico, è stata effettuata la geolocalizzazione, non nello specifico punto in cui si localizza l'oggetto, ma in riferimento alle coordinate del civico associato.

Tramite delle formule matematiche, è stato possibile effettuare una prima associazione della tabella relativa agli attributi degli oggetti sottoposti al pagamento della C.O.S.A.P. con le coordinate dei numeri civici.

Successivamente, nei casi in cui non è stato possibile attribuire in modo automatico le coordinate ai relativi numeri civici, è stato opportuno intervenire manualmente nella correzione del nome della via di riferimento, in modo che ci fosse corrispondenza con la tabella associata dal quale ottenere le coordinate.

La correzione è stata necessaria in molteplici casistiche a causa delle seguenti incongruenze registrate:

- In determinati casi l'indirizzo riportato è stato trascritto in modo errato, quindi in programma non permetteva l'automatica associazione alla tabella relativa ai civici della città;
- Si sono manifestate casistiche in cui l'indirizzo civico non era presente all'interno della tabella ufficiale, e quindi, si è ricorsi all'associazione dell'oggetto ad un civico limitrofo;






- In altri campi non è stato possibile attribuire all'oggetto una coordinata riferita al numero civico, in quanto non era specificato, ma era indicata unicamente la via;
- Casistiche in cui era specificato il numero civico, con anche l'interno, ma scritto con modalità differenti rispetto alla tabella ufficiale dei civici, rendendo impossibile l'associazione automatica;

Dato che è stato necessario modificare il database manualmente, si è scelto di attribuire ad ogni elemento un campo relativo alla precisione di geolocalizzazione in riferimento all'indirizzo civico di partenza:

- Il codice P (Prossimità) è stato utilizzato in tutti i casi in cui l'indirizzo civico di riferimento si localizzava ad una distanza massima di 5 mt;
- Il codice P1 (Prossimità1) è stato attribuito agli oggetti che sono localizzati ad una distanza compresa tra i 5 ed i 10 mt rispetto al civico di riferimento;
- Il codice VIA è stato utilizzato per i casi in cui l'oggetto che occupa il suolo pubblico non era distinto da un numero civico, ma unicamente dal nome della via; è stato perciò necessario, a seguito dell'elaborazione di un grafo stradale, attribuirgli le coordinate della via;
- Il codice VIA_Ce è stato assegnato a tutti quegli elementi che erano stati localizzati presso un numero civico errato o non presente all'interno della tabella di riferimento ufficiale; anche in questi casi sono state utilizzate le coordinate della via derivate dall'elaborazione del grafo stradale;
- Infine il codice GEO è stato attribuito a tutti gli elementi per cui è stato possibile individuare le coordinate precise.

Determinata la localizzazione degli oggetti che occupano il suolo pubblico, ed individuata la prossimità rispetto al numero civico di riferimento, si è deciso di

attribuire ad ogni oggetto un codice univoco, il cui scopo ultimo è quello di identificare l'opera presente sul suolo pubblico da tutte le altre; il codice civico permette quindi di identificare l'indirizzo preciso anche in casi di errore nella digitazione della via di riferimento.

Tipologia Oggetto	Descrizione	Simbologia
Oggetti suolo pubblico benzinai	Con simbologia di colorazione e dimensione differente, sono stati raggruppati gli oggetti sul suolo pubblico appartenenti ai benzinai, data l'elevata presenza di oggetti associati al medesimo civico	
Area delimitata	Aree delimitate, sottratte all'uso pubblico per attività spesso esenti dal canone	
Area delimitata pubblici servizi		
Armadio	Manufatti per impianti tecnologici a servizio della telefonia	
Armadio pubblici servizi		

Tab. 2: Esempi oggetti sul suolo pubblico e relativa simbologia

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Sulla base delle riflessioni svolte durante il tirocinio con i colleghi, si è scelto, per facilitare la comprensione delle icone, di utilizzare simboli uguali con colorazioni differenti per rappresentare oggetti simili, date alcune difficoltà riscontrate:

- gli oggetti sul suolo pubblico di Torino sono registrati da tempo, alcuni da prima che venissero fatte delle modifiche al nome con cui registrarli, questo comporta la presenza di oggetti che hanno le medesime caratteristiche, ma sono identificati con un nominativo differente all'interno della tabella;
- ci sono oggetti sul suolo pubblico che hanno caratteristiche molto simili, ma sono da registrare in maniera differente, come le varie tipologie di vetrine o chioschi, ed è per questo motivo che si è scelto in alcuni casi di utilizzare il medesimo simbolo, ma con colorazioni differenti

Per la visualizzazione cartografica degli oggetti sul suolo pubblico, risulta complesso definire una scala univoca per la loro rappresentazione, trattandosi di elementi presenti su tutto il territorio torinese, ma che necessitano di un grado di dettaglio elevato nella loro visualizzazione. Ad esempio, se si sceglie di effettuare le rappresentazioni a scala urbana, si perde il grado di dettaglio del numero civico, mentre se si usa una scala troppo di dettaglio, sarà chiara la posizione esatta dell'oggetto sul suolo pubblico, ma si riusciranno a mostrare solo pochi elementi in una singola carta. Per rispondere a queste problematiche di lettura cartografica, sarà fondamentale rendere disponibili gli shapefile o i file geoJeson, in modo da poter navigare a scale differenti all'interno della cartografia di Torino, potendosi concentrare sull'ambito di interesse specifico dell'osservatore.

Dovendo mostrare alcuni estratti cartografici degli oggetti sul suolo pubblico, al fine di comprendere meglio le tematiche trattate, si è scelto di utilizzare la scala 1:1000, che non permette di avere informazioni per tutti gli elementi della città di Torino, ma fornisce il grado di dettaglio ricercato. La scelta di questa scala di rappresentazione si basa sulle riflessioni effettuate attraverso le "Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici", Decreto 10 novembre 2011, ed il "Quadernetto del Pianificatore". All'interno del

primo documento analizzato sono definite le scale più adatte da dover utilizzare per rappresentare i vari elementi, in alcuni casi in maniera vincolate, ma per i numeri civici, sulla base della quale sono georiferiti gli oggetti analizzati, non è definita una scala da dover mantenere. Per questo motivo ci si è basati sul Quadernetto del Pianificatore, dalla quale si è appreso che il numero civico viene visualizzato, nelle cartografie di base, solo se ci si trova ad una scala di dettaglio elevata.

Nell'immagine sottostante è mostrato un primo esempio di rappresentazione in scala 1:1000 dei passi carrai, della quale è riconoscibile la posizione esatta, grazie alla scala di dettaglio, ed il numero civico di riferimento, grazie alla cartografia di base. Tra tutti gli elementi sul suolo pubblico analizzati, si è scelto di mostrare i passi carrai perché sono una delle categorie più numerose tra quelle analizzate, e spesso coincidenti con la posizione esatta del civico associato, a differenza di altri oggetti della quale è stato semplicemente associato il numero più prossimo.

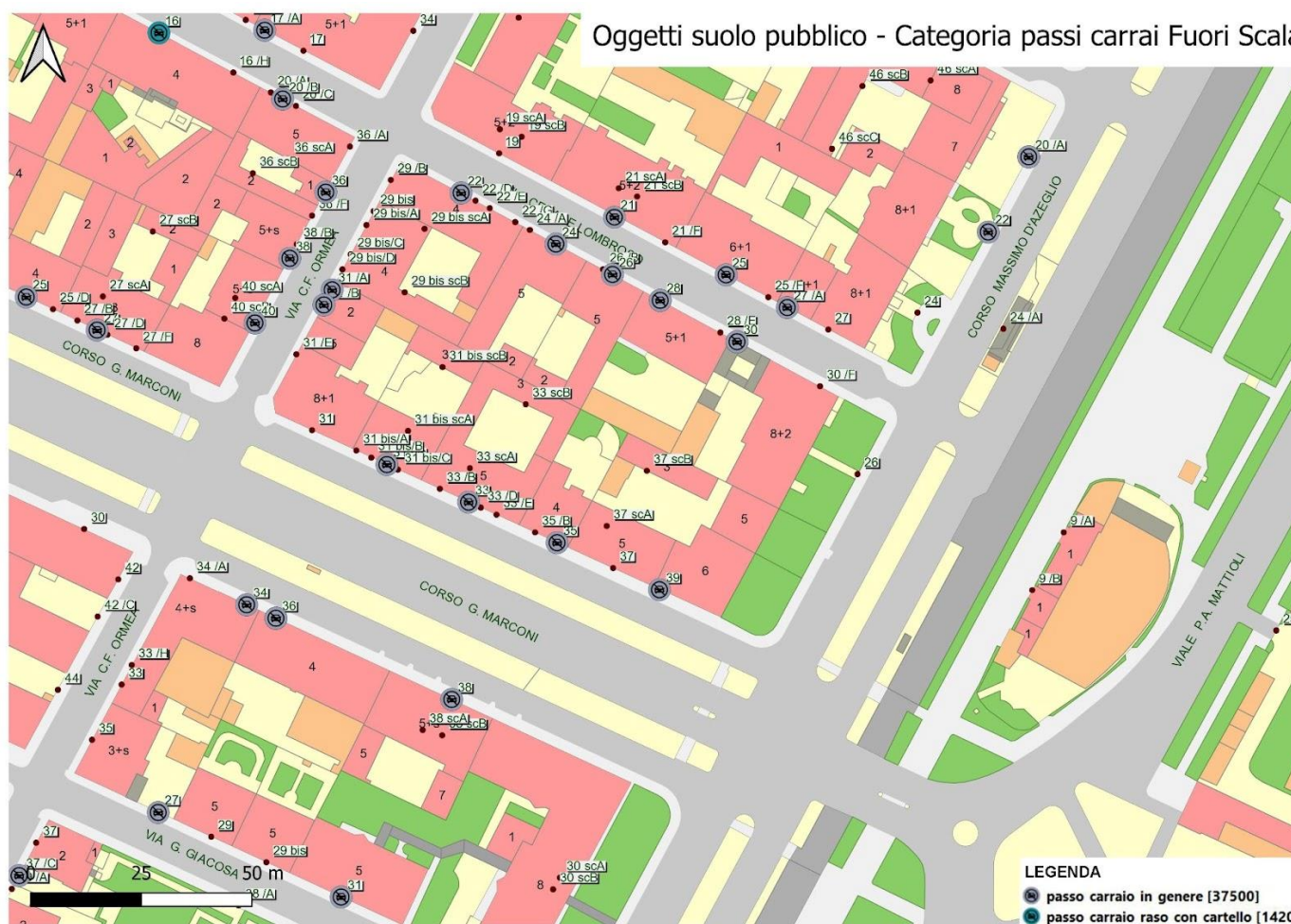


Fig. 22: Cartografia Oggetti suolo pubblico - Categoria passi carrai Fuori Scala

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Un altro esempio è quello per gli elementi appartenenti al raggruppamento degli oggetti sul suolo pubblico di interesse dei benzinai, vale a dire: accesso, aree piccole riparazioni, autolavaggio, cassone metallico carburanti, chiosco annesso carburanti, confezioni olio lubrificante, confezioni petrolio adulterato, dispositivo self-service post-pagamento, dispositivo self-service pre-pagamento, serbatoio compartimentato, serbatoio gasolio, serbatoio gpl, serbatoio olio esausto, serbatoio olio miscela, serbatoio petrolio riscaldamento, serbatoio super senza piombo e svaso. In questo caso è stata riscontrata un'ulteriore difficoltà, oltre al problema della scala di rappresentazione, dovuta alla presenza di più oggetti

registrati allo stesso numero civico, in quanto i benzinai sono coloro che possiedono la maggior parte d'oggetti sul suolo pubblico catalogati. Questa problematica è causata dalla georeferenziazione degli oggetti non sulla base della loro posizione esatta, ma a seconda del numero civico a cui sono registrati. Per far fronte a questo problema si è scelto di non utilizzare una simbologia articolata come nelle altre casistiche, ma semplicemente dei cerchi di colorazione e dimensione differente in modo da poterli sovrapporre, riuscendo a visualizzare anche le icone posizionate sotto ad altre, e riuscendo a comprenderne comunque la tipologia sulla base del colore. Nella figura sottostante viene mostrata la cartografia sopra citate in riferimento ai benzinai.

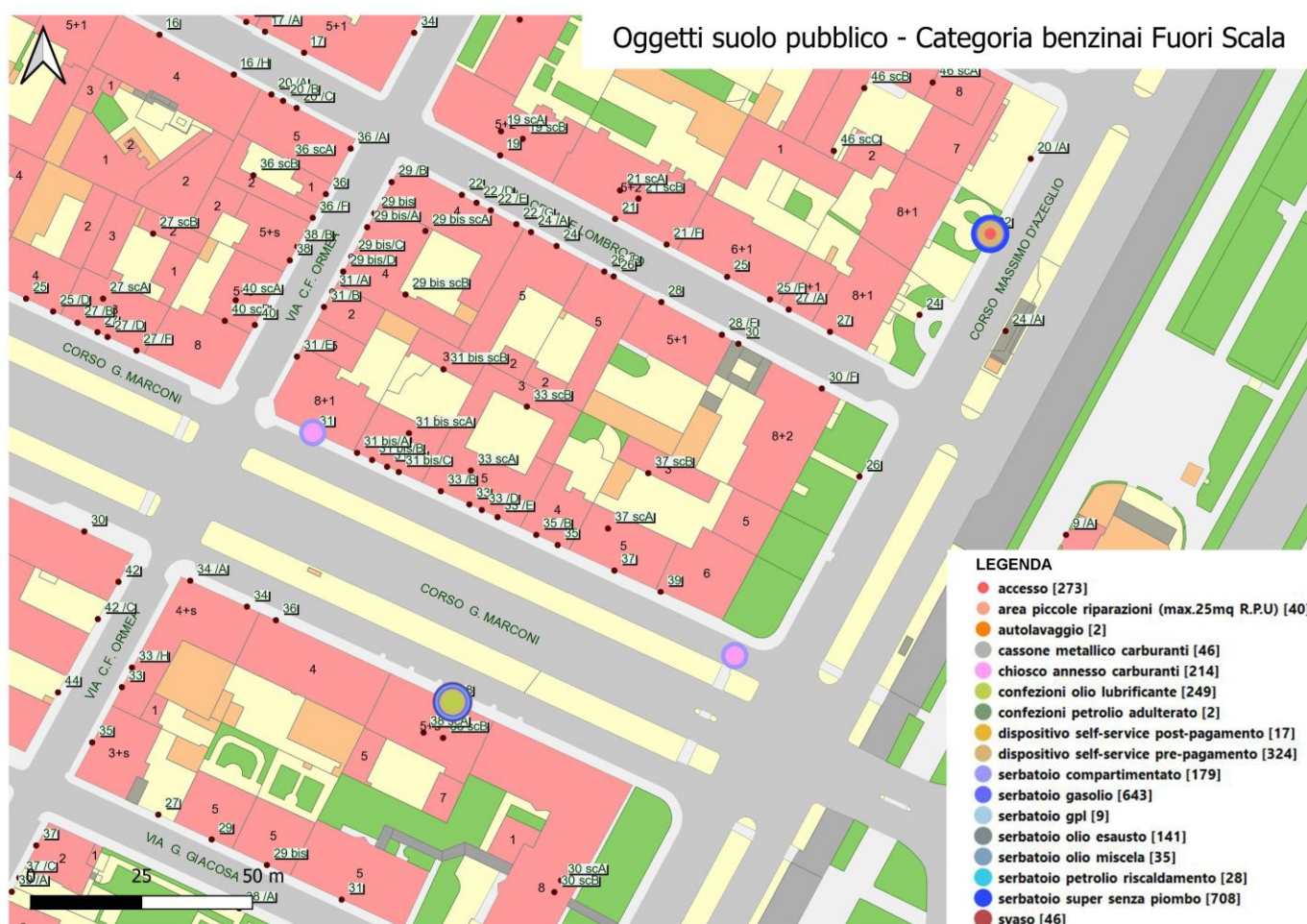


Fig. 23: Cartografia Oggetti suolo pubblico - Categoria benzinai Fuori Scala

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Dalle cartografie è visibile che, a fianco degli elementi in legenda, è inserito un numero identificativo della quantità di oggetti rappresentati. Questo risulta essere un dato fondamentale per comprendere quanti sono gli oggetti, appartenenti ad una determinata tipologia, che sono ancora attivi, perché si è scelto di rappresentare solo quest'ultimi, ma ne esistono non più attivi che sono comunque presenti all'interno della tabella excel di partenza per una completezza del dato.

Gli esempi mostrati in precedenza sono utili a comprendere l'importanza di fornire file navigabili a scale differenti, che attraverso cartografie in scale pre-determinate non è possibile comprendere con la stessa precisione. Inoltre, all'interno della tabella attributi, è possibile ottenere ulteriori informazioni inerenti al singolo oggetto, come la loro dimensione, il fatto che siano attivi o inattivi, il loro codice univoco, la data di registrazione, ma anche maggiori informazioni sulla loro posizione esatta, grazie al numero civico, alle coordinate e al link maps disponibile all'interno della tabella, che attraverso un semplice click permette di attivare lo street view sulla posizione indicata, in modo da individuare la posizione precisa dell'oggetto, non solo sulla base del civico di riferimento.

Il lavoro svolto presso il Comune di Torino ha riguardato anche le ciclabili della città, effettuando una prima revisione delle geometrie, per poi riflettere sulla loro classificazione.

Il primo lavoro svolto si è basato su un confronto tra lo shapefile delle ciclabili di Torino e gli shapefile di base della città, verificandone le geometrie e correggendo gli eventuali errori di tracciamento. Questo è stato possibile grazie alla cartografia di base che, oltre a fornire informazioni sugli edifici, strade, aree verdi, marciapiedi, forniva anche la posizione dei percorsi ciclabili su corsia riservata.

Successivamente è stata fatta un'analisi sulla classificazione dei percorsi, data la disponibilità di una tabella attributi che ne definisce la lunghezza, la posizione e soprattutto la tipologia, dato su cui è stata fatta la suddivisione, ma che ha necessitato di un'ulteriore correzione a causa di incongruenze con la lista attributi del Piano Regionale Mobilità Ciclistica della Regione Piemonte.

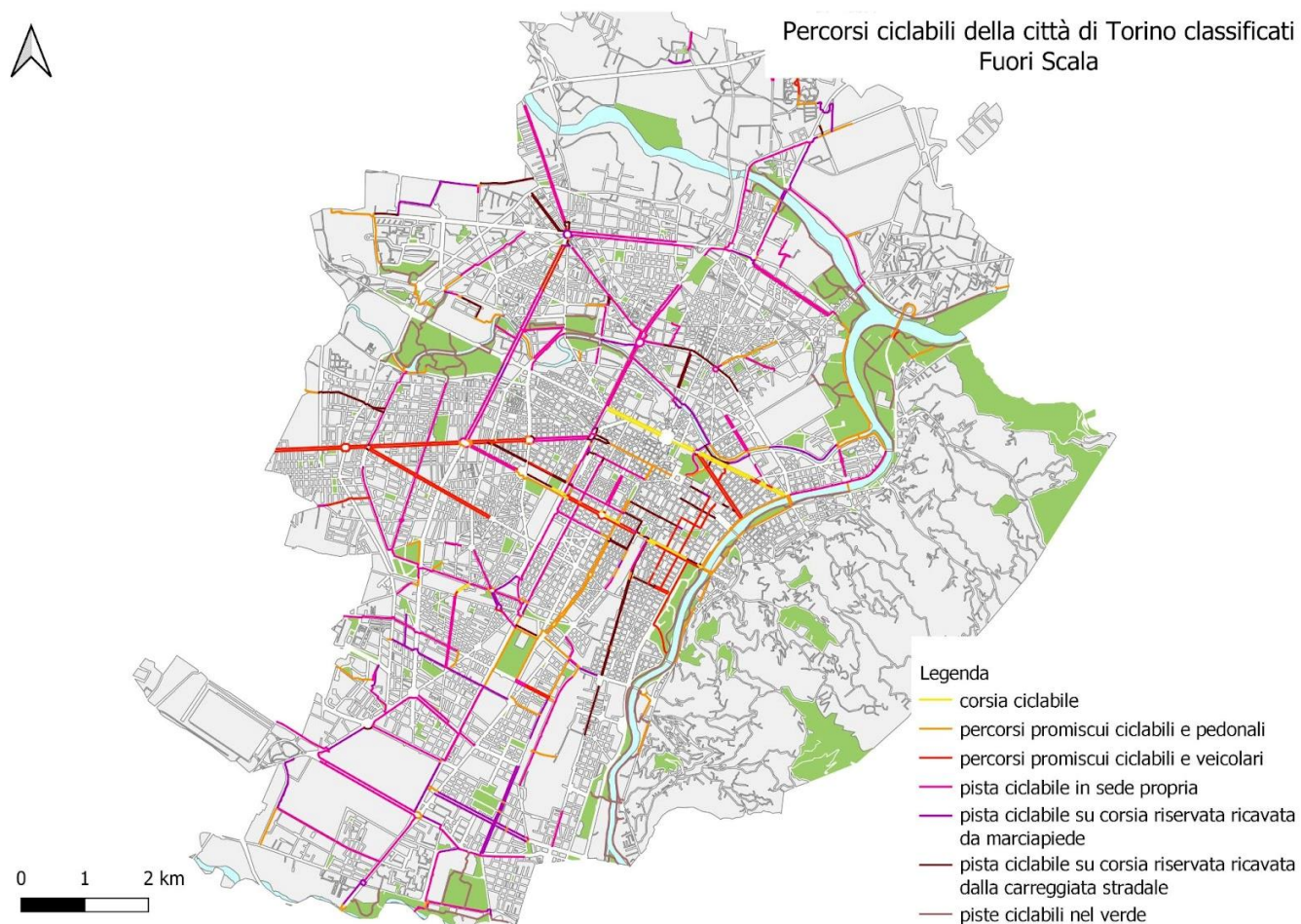


Fig. 24: Cartografia ciclabili Torino classificate in base alla tipologia

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Ispirandosi agli standard utilizzati dalla Città metropolitana di Torino nel 2016, integrati con attributi del Piano Generale Mobilità Ciclistica del 2021 e gli indirizzi

del PRMC del 2021, è stata effettuata una proposta sugli attributi minimi per il tracciamento Gis della rete ciclabile piemontese. All'interno di questa lista sono definite le tipologie su cui basare la classificazione delle piste, in modo da avere una metodologia standard per tutta la Regione:

1. Pista ciclabile in sede propria (A)

Attraverso tale classificazione si intende delineare le piste ciclabili a corsia riservata, non accessibili per gli altri veicoli, ma unicamente per i velocipedi;

2. Pista ciclabile su corsia riservata ricavata dalla carreggiata stradale (B)

Tale attributo racchiude le piste ciclabili che sono state realizzati a partire dalle delimitazioni della carreggiata stradale, senza andare a modificare le aree pedonali già presenti all'interno dell'area di progetto;

3. Corsia ciclabile (C)

Con il termine corsia ciclabile si classificano le aree ciclabili, localizzate all'interno della carreggiata stradale e delimitate da una linea tratteggiata bianca; questo determina un possibile attraversamento dell'area ciclabile da parte degli altri veicoli stradali.

4. Strada ciclabile (D)

5. Percorso promiscuo ciclabile e veicolare (e.g. Zona 30; etc.) (E)

Tale descrizione delinea tutte le aree in cui la carreggiata è un percorso condiviso tra i velocipedi e i veicoli a motore. Queste aree sono riconoscibili grazie all'installazione di un pittogramma sul manto stradale ed il supporto della cartellonistica stradale.

6. Pista ciclabile su corsia ricavata da marciapiede (F)

Tale attributo intende distinguere le aree ciclabili che sono state realizzate a partire da un progetto di trasformazione, il quale si è realizzato ricavando la corsia ciclabile a partire dalla superficie del marciapiede.

7. Percorsi promiscui ciclabili e pedonali (e.g. Zona Pedonale) (F1)

Con tale descrizione si intende comprendere tutte le aree in cui è possibile il transito dei pedoni e dei velocipedi, senza una precisa delimitazione dei due diversi percorsi.

8. Piste ciclabili nel verde (G)

Tale termine intende delineare tutte le aree ciclabili che si localizzano all'interno di parchi o di aree verdi.

Sulla base di questa classificazione è stato possibile effettuare una prima correzione delle tipologie di ciclabili registrate fino a quel momento dal Comune di Torino, che aveva utilizzato nomenclature come, per esempio, "Controviali 20 km/h" e "Controviali 30 km/h", non utilizzati in maniera scorretta, ma che portano alla creazione di incongruenze con le classificazioni degli altri comuni piemontesi. Per evitare di perdere i dati già raccolti, si è scelto di effettuare la correzione in una colonna nuova della tabella attribuita su Qgis, mantenendo le nomenclature in precedenza assegnate dal Comune di Torino.

Successivamente sono stati presi a campione alcuni tratti ciclabili, con la quale è stata fatta una verifica della corrispondenza tra la tipologia assegnata e le reali caratteristiche di quel tratto, per verificarne la coerenza. Attraverso Street View e la documentazione disponibile presso gli uffici competenti del Comune di Torino, è stato possibile effettuare un confronto a campione, individuando alcune incongruenze che hanno portato ad ipotizzare la necessità di un rilievo che permetta un aggiornamento rapido. Ciò è anche incentivato dal fatto che Street View fornisce informazioni non attendibili, data la disponibilità di dati non aggiornati e riferiti a periodi differenti, rendendo impossibile verificare la tipologia di ciclabile se ha subito modifiche recenti.



Fig. 25: Corso Bramante 21
Fonte: Street View, 04-2019



Fig. 26: Corso Bramante 21
Fonte: Street View, 05-2022



Fig. 27: Corso Bramante 21

Fonte: Sopralluogo, 25-05-2023

L'esempio di Corso Bramante 21 serve per mostrare, con le prime due figure riportate, come un semplice spostamento su Street View comporti l'ottenimento di dati riferiti a periodi differenti, rendendo complesso effettuare controlli su lunghi tratti ciclabili. Con la foto realizzata durante il sopralluogo è stato possibile avere la conferma della presenza di una ciclabile non riconoscibile da Street View, ma della quale si era precedentemente evidenziata la presenza grazie ad ulteriori documentazioni disponibili presso il Comune di Torino, inerenti ai progetti ciclabili della città.

Va specificato che Street View non è in grado di fornire informazioni utili per la pianificazione urbana, a differenza di un rilievo con strumenti Lidar e fotogrammetrici che permetterebbe di effettuare elaborazioni sui dati raccolti e di effettuare misurazioni sul modello realizzato, grazie alla nuvola di punti che si andrebbe a creare.

I due lavori sopracitati, svolti presso il Comune di Torino, hanno portato ad effettuare delle riflessioni sulle principali difficoltà riscontrate, comprendendo che i due punti principali su cui bisogna puntare sono:

- la creazione di sistemi standardizzati di registrazione del dato, sia per quanto concerne gli oggetti sul suolo pubblico, sia per le ciclabili torinesi, trattandosi di casi in cui la loro dicitura errata, o differente rispetto ad altre prese come riferimento, provoca problemi di grandi dimensioni, con un aumento delle tempistiche di correzione visto che si parla di numerose informazioni;
- la ricerca di un sistema che permetta un aggiornamento rapido dei dati, essendo numerosi e distribuiti su una porzione di territorio di grandi dimensioni, nella quale un rilievo di persona per il singolo oggetto d'interesse comporterebbe tempistiche troppo lunghe.

Queste esigenze possono essere soddisfatte attraverso l'utilizzo di strumentazioni di rilievo, la quale applicazione verrà analizzata più nel dettaglio successivamente con casi pratici e progetti che le città prese in esame stanno attuando, dando la possibilità di avere una raccolta dati su vasta scala rapida, precisa e in diversi formati (fotogrammetrici e nuvole di punti), fornendo una grande vastità d'ambiti d'utilizzo. Per comprendere meglio il concetto appena descritto, si fa l'esempio della possibile collaborazione tra il Comune di Torino e società cooperativa Co.R.In.Te.A., per effettuare un rilievo, con lo strumento GeoSlam, che interessi tutti i percorsi ciclabili della città di Torino, in modo da disporre di un dato aggiornato e che comprenda l'interezza dei percorsi, superando le problematiche prima trattate.

4

Il triangolo Genova, Milano e Torino verso il Digital Twin

Attraverso la consultazione dello Human Smart City Index 2022, basato su 456 indicatori utili all'individuazione delle città che più rispecchiano la definizione di smart city, è possibile individuare nelle prime posizioni alcune delle città appartenenti al triangolo industriale italiano chiamato To-Mi-Ge, dove tra la fine del XIX secolo e gli inizi del XX secolo, ha preso piede l'industrializzazione su larga scala dell'economia italiana, vale a dire le città di Torino, Milano e Genova. Torino si posiziona al terzo posto, con un punteggio in centesimi pari a 78,96, Milano si colloca in prima posizione con un punteggio di 85,25 e Genova si posiziona al quattordicesimo posto con un punteggio di 62,61.

Questa classifica si basa su una valutazione svolta su tutti i comuni italiani, e gli indicatori utilizzati per la sua definizione rientrano in tre principali categorie, ovvero:

- transizione ecologica
- inclusione sociale
- transizione digitale

Per quest'ultima categoria, grazie agli incontri svolti con i vari membri dei comuni sopracitati e grazie alle esperienze svolte sul campo, in cui è stato possibile osservare i vantaggi che l'innovazione tecnologica comporta al giorno d'oggi,

verranno analizzati nello specifico i cambiamenti e gli obiettivi che le tre città si sono posti. Complessivamente le città si stanno muovendo verso la messa in pratica di un gemello digitale che possa affiancare la componente fisica comunale, semplificandone la pianificazione urbana e con essa una riduzione dei costi e delle tempistiche.

4.1

Analisi caso studio di Genova

L'analisi del caso studio di Genova è stata possibile grazie alle tematiche emerse dall'incontro con due dipendenti del Comune, ovvero Vertamy Emilio e Terrone Martino, i quali si sono proposti con un intervento per comprendere in che modo la città sta progredendo verso l'applicazione del digital twin e del concetto più ampio di Smart City.

La città di Genova si localizza in un'area caratterizzata da una struttura topografica complessa, data dalla vicinanza al mare e alle montagne. E' quindi necessario considerare numerosi fattori naturali che ne hanno influenzato l'urbanizzazione attuale e che ne influenzeranno quella futura. Per tale motivo le analisi effettuate relative al comune di Genova si sono concentrate non soltanto sulla parte edificata, ma anche sulla conformazione territoriale.

La città sorge su un territorio in prossimità della costa del Mar Ligure ed il suo sviluppo è stato di tipo lineare, caratterizzato da un'elevata densità abitativa. Il territorio comunale, con un'estensione di circa 240 kmq, si caratterizza per una densità abitativa pari a 2325 ab/kmq, a differenza della densità abitativa della città metropolitana che è pari a 442,25 ab/kmq.

Queste sono alcune delle motivazioni che hanno portato ad effettuare delle raccolte di dati molto diversificate in base alla porzione di territorio analizzata, avendo esigenze e caratteristiche molto varie.

Data la necessità di realizzare il gemello digitale di Genova, è stato essenziale effettuare delle analisi, le quali sono state avviate grazie al Programma Operativo Nazionale Città Metropolitane PON METRO 2014-2020 - Asse 1 "Agenda Digitale Metropolitana", affiancato da fondi strutturali ed investimenti europei. L'obiettivo

del Comune di Genova era quello di aggiornare i propri dati territoriali, attraverso l'uso di metodologie innovative che permettessero un ammodernamento della banca dati. In questo modo è possibile ottenere un Database Topografico (DBT) completo ed accessibile a tutti grazie all'utilizzo dei servizi ICT che ne permetteranno l'utilizzo o la semplice visualizzazione.



Fig. 28: Digital Twin della città di Genova

Fonte: Geoportale del Comune di Genova, 29-05-2023

La produzione di questo Database Topografico è stata possibile grazie alla collaborazione di diverse imprese, tra cui Servizi di Informazione Territoriale S.r.l. (agent company, based in Noci - BA), Corvallis SpA (Padua), Arcadia Sistemi Informativi Territoriali S.r.l. (Milan) and Aerosigma S.r.l. (Grottaglie - TA). Il risultato è stato riprodotto tramite una rappresentazione sulla base di più fogli che rappresentano le varie parti del territorio: per le aree extraurbane si è utilizzata

una scala di rappresentazione 1:2000 ed una linea di perimetrazione di colore azzurro, mentre per le aree urbane si è adoperata una scala di rappresentazione 1:1000, per poter restituire un maggiore dettaglio, con perimetrazione indicata in colore rosso.

I dati di partenza per le analisi sono stati ottenuti principalmente da due fonti:

- un volo fotogrammetrico, effettuato nel 2018, su grande scala effettuato unicamente attraverso l'uso di telecamere;
- i dati cartografici storici, in quanto si tratta di un territorio sviluppatosi in maniera stratificata e caratterizzato dalla presenza nel terreno di tunnel o bunker sotterranei che ne influenzano la conformazione.

Con l'avvento delle nuove tecnologie, è stato possibile effettuare un aggiornamento dei dati avvicinando così la città di Genova al concetto di Digital Twin.

Nel 2022 è stato effettuato un secondo volo con ripresa lidar in grado di fornire, oltre alle informazioni fotogrammetriche, anche nuvole di punti, dando la possibilità di generare il modello digitale della superficie.

Per comprendere al meglio il grado di dettaglio che era richiesto per il rilievo è necessario analizzare più nel dettaglio gli strumenti utilizzati per effettuarlo, ovvero:

- una fotocamera Vexcel UltraCam Eagle Mark 3 posizionata su un bimotore Vulcanair P68 Victor B, in grado di produrre circa 5000 fotogrammi RGBM con GSD a 5 cm, per quanto riguarda la parte urbanizzata in scala 1:1000, mentre per l'area extraurbana il GSD era a 9 cm. Anche la programmazione dei piani di volo risulta essenziale per la buona riuscita del rilievo, ed in questo specifico caso si è scelto di tenere un'elevata copertura data la

conformazione territoriale di Genova e dell'area circostante (80-90% in senso longitudinale e 60% in senso trasversale).



Fig. 29: Fotocamera Vexcel UltraCam Eagle Mark 3 e bimotore Vulcanair P68 Victor B

Fonte: vexcel-imaging e aircraft24, 29-05-2023

- un sensore Riegl LMS-Q1560, per effettuare il rilievo LiDAR, in grado di avere una densità di 55 pts/m² per l'area urbana e di 40 pts/m² per l'area extra-urbana.



Fig. 30: Sensore Riegl LMS-Q1560

Fonte: Scheda Tecnica LMS-Q1560, 19-03-2015

Tali strumentazioni hanno permesso di ottenere un elevato grado di precisione, che ha soddisfatto le esigenze della città, riuscendo ad avere un dettaglio inferiore a 10 cm attraverso la fotogrammetria e inferiore a 5 cm con la strumentazione LiDAR.

Per avere un dato più completo e preciso delle aree urbanizzate, sono stati utilizzati strumenti slem, posizionati su automobili o gestiti da operatori a piedi, per ottenere dati fotogrammetrici e nuvole di punti delle parti più difficili da riprendere data la conformazione territoriale complessa e densa.

Nello specifico è stato utilizzato, per le vie accessibili su gomma, un'auto dotata di sensore LiDAR Riegl Vux 1, con apparato GNSS/IMU; ciò ha permesso di avere un grado di dettaglio maggiore rispetto a quello del volo effettuato, pari a 4000/5000 pts/m². In aggiunta, grazie all'utilizzo della fotocamera Ladybug sferica, capace di produrre scatti a 360 gradi, è stato possibile ottenere un rilievo fotografico.

Come detto in precedenza, Genova ha una conformazione territoriale densa e complessa, per questo i dati aerei sono stati integrati non soltanto dalle riprese svolte su gomma, ma anche a piedi, per raggiungere le parti più complesse come aree pedonali o vie strette. Per tali aree sono stati utilizzati due strumenti:

- uno scanner statico Leica con i punti di stazionamento situati ad una distanza di circa 20-30 m l'uno dall'altro, ottenendo 20000-30000 pts/m²;
- una fotocamera reflex da 20.000*10'000 pixel per ottenere una nuvola di punti che fosse anche colorata.



Fig. 31: Sensore LiDAR Riegler Vux 1 su auto e scanner statico Leica a piedi

Fonte: Geomatics and Geospatial Technologies, 07-2021

I dati raccolti attraverso i voli sono stati integrati con quelli ottenuti con gli strumenti a terra, riuscendo ad intrecciare informazioni sulle pavimentazioni, sui manti stradali e sui tetti degli edifici, ottenibili per via aerea, con informazioni verticali, ad esempio sulle facciate degli edifici.

Tutto ciò ha permesso di ottenere carte topografiche e tematiche complete, oltre alla possibilità di avviare le procedure per la nascita di un modello digitale per la città di Genova. L'obiettivo generale che si cerca di soddisfare è quello di avere un modello digitale completo, utile come base di lavoro per la sperimentazione o lo studio di interventi passati e futuri, fornendo allo stesso tempo un database completo delle informazioni inerenti l'intero territorio genovese.

Per visualizzare queste elaborazioni è stato utilizzato lo strumento SmartCity3D, in grado di intrecciare i dati LiDAR e quelli fotografici ottenuti dalle immagini

sferiche. In questo modo è possibile muovere i primi passi verso il gemello digitale, trattandosi di una rappresentazione digitale strettamente connessa con la componente urbana fisica e complessa, scambiandosi informazioni in maniera sincronica, vale a dire in contemporanea, o asincronica, cioè non in contemporanea.

Il programma è in grado di fornire all'utente differenti servizi, tra cui:

- identificare le immagini sferiche dell'ambito di interesse navigando all'interno delle cartografie fornite;
- visualizzare le immagini sferiche;
- effettuare misurazioni o altri tipi di calcolo grazie al supporto che la nuvola di punti fornisce ai dati fotografici;

Si tratta di un database completo che fornisce, oltre ad altre informazioni, l'indicazione esatta della posizione di numerosi elementi presenti sul territorio, che in altro modo comporterebbero costi elevati e tempistiche lunghissime per essere raccolti, con il problema aggiuntivo del loro continuo aggiornamento. Si tratta di 39398 accessi carrabili, di cui il dato è stato anche collegato con le banche dati comunali, di 39253 sistemi pubblicitari e anche di circa 200 dehors, con relative dimensioni o caratteristiche utili per fini fiscali.

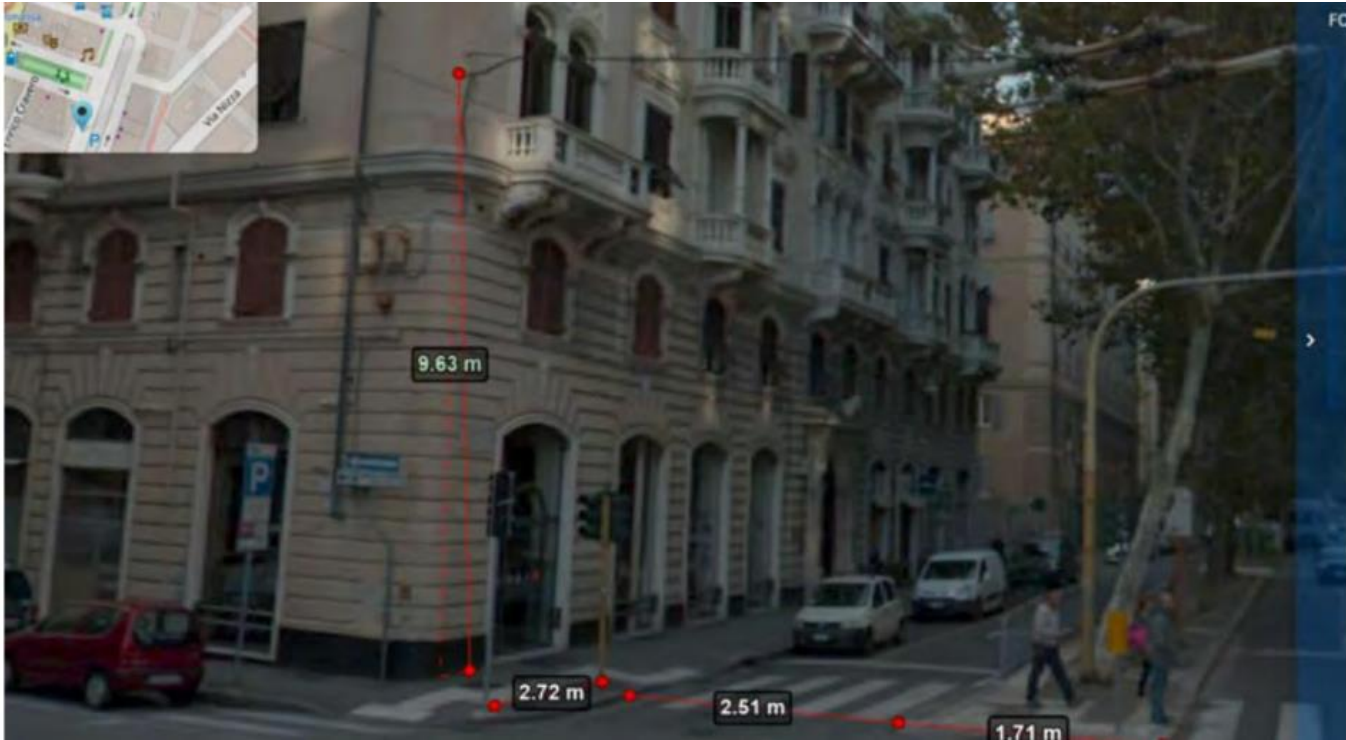


Fig. 32: Misurazioni con lo strumento SmartCity3D di Genova
Fonte: Geomatics and Geospatial Technologies, 07-2021

Le principali difficoltà che Genova riscontra e che può cercare di risolvere attraverso l'uso del modello digitale sono principalmente due:

- si tratta di un territorio topograficamente complesso per la presenza del mare e delle montagne, due fattori che ne influenzano lo sviluppo, trattandosi di una città densamente edificata e con numerose infrastrutture all'interno di gallerie, sopraelevate e, in futuro, sub-portuali. I rilievi effettuati fino ad oggi sono in grado di fornire un dato completo sia per quando riguarda la componente urbana, sia per quando riguarda gli aspetti topografici. L'unico limite riguarda il dato, ad oggi incompleto, su ciò che si trova all'interno del sottosuolo, fondamentale per effettuare considerazioni su Genova trattandosi di una città stratificata che possiede molte delle strutture passate all'interno del sottosuolo;

- un'altra difficoltà è legata alle competenze nei vari ambiti di intervento in un territorio densamente edificato e con numerosi fattori da dover prendere in considerazione. Il Comune di Genova, nell'organizzazione di possibili interventi da effettuare, non ha competenze per quanto riguarda, ad esempio, l'area portuale, essendo di competenza dell'Autorità Portuale, stesso discorso vale per le infrastrutture di livello autostradale; quindi, la gestione della città risulta essere complessa data l'elevata presenza di stakeholder che potrebbero entrare in gioco in base all'ambito di lavoro. La realizzazione di un gemello digitale completo e con i dati accessibili a tutti può semplificare le procedure di collaborazione in ambiti dove entrano in gioco più figure amministrative.

4.1.1

Ambiti di utilizzo del Digital Twin a Genova

Una volta ultimato il modello Digital Twin per la città di Genova sarà possibile gestire con un risparmio economico e una riduzione delle tempistiche i progetti che la città ha in programma, sia in ambito di sicurezza, date le calamità che la città a subito, sia in ambito progettuale, per vedere effetti o risultati ottenibili da eventuali interventi.

Come detto in precedenza, Genova dispone di carte storiche utili come base per le analisi attuali, trattandosi di una città che si è sviluppata in maniera stratificata, che sono state utilizzate per effettuare dei confronti con la situazione attuale in alcune aree di interesse. Per far ciò, è stata fatta una georeferenziazione e una digitalizzazione delle curve di livello delle carte di Porro “Carta Generale Difesa di Genova” realizzate negli anni 30 del 1800 per la generazione di un DTM storico.

Le quattro aree analizzate sono:

- Ponte Sant’Agata
- la tangenziale in salita
- il Promontorio di San Benigno
- l’area del nuovo Ponte San Giorgio in Val Polcevera

In questo modo, per le aree analizzate, è stato possibile osservare i cambiamenti avvenuti durante due secoli, anni in cui sono successi numerosi eventi naturali o catastrofici che hanno interessato queste aree. Ad esempio, Genova si localizza in un’area soggetta ad alluvioni, fattore che ha portato gravi danni in numerose aree,

tra cui quella dov'è situato il sopracitato ponte Sant'Agata, che negli anni subì notevoli danni: si tratta di un ponte storico con una struttura ad oggi a rischio, che nel 1970 perse due arcate su cinque a causa di un crollo provocato da un'alluvione, e negli anni successivi subì ulteriori danni che ne comportarono la chiusura definitiva. Analizzando l'evento catastrofico più recente e simbolico della città di Genova, ovvero il crollo del Ponte Morandi, ad oggi riprogettato da Renzo Piano e chiamato Ponte San Giorgio. Oltre alla grave perdita di vite umane, tale crollo provocò anche un cambiamento significativo dell'organizzazione urbana circostante, trattandosi di un ponte che passava al di sopra di un'area edificata e che svolgeva un ruolo fondamentale per la mobilità nazionale, con un transito medio di 43200 mezzi al giorno. La sua demolizione e ricostruzione avvenuta in 12 mesi, comportò una riorganizzazione dell'area circostante e del sistema viario, oltre al coinvolgimento di circa 1000 impiegati nel cantiere e più di 330 imprese, insieme ai colossi delle infrastrutture Webuild e Fincatieri. Questo intervento è un chiaro esempio della complessità che una riprogettazione può comportare, in termini di costi, di tempistiche e di stakeholder che entrano in gioco, che un gemello digitale potrebbe aiutare a semplificarne la gestione.



Fig. 33: Ponte Sant'Agata ed ex Ponte Morandi (attuale ponte San Giorgio)

Fonte: wikipedia e wikipnotizie, 29-05-2023



Fig. 34: Digital Twin Ponte San Giorgio, ex Ponte Morandi

Fonte: Geoportale del Comune di Genova, 29-05-2023

Le principali problematiche che la città deve trattare da un punto di vista naturale sono indubbiamente le alluvioni e le frane. Grazie all'incontro con i membri del comune di Genova è stato possibile osservare come il modello digitale che si sta realizzando analizza e gestisce i dati inerenti a queste tematiche. Ad occuparsi della componente idraulica si è individuata la società DHI Italia, che ha analizzato gli scenari di calamità utilizzando i nuovi DTM e DSM per produrre mappe di pericolosità, mentre l'Art Ambiente srl si è occupata degli studi geologici analizzando i possibili scenari relativi alle frane, producendo mappe di precipitazioni critiche e di instabilità dei versanti, alla base delle quali il modello digitale prodotto dai rilievi aerei e terreni è stato fondamentale.

Il gemello digitale di Genova fornisce informazioni che non risultano utili solo per la gestione degli eventi naturali e catastrofici sopracitati, ma può essere utile

anche in ambito di pianificazione urbana o a livello architettonico per la gestione semplificata di quelli che saranno gli interventi futuri per valorizzare la città e renderla più sostenibile.

Per conoscere al meglio il territorio, Genova si è posta la domanda sul perché non utilizzare anche le cartografie storiche, che possono fornire informazioni da incrociare con i dati attuali. Il progetto MIAGE (Monitoraggio geo-Idrologico Antica Genova), che in genovese significa “mura”, nasce dalla collaborazione del Dipartimento di Scienze della Terra dell’Ambiente della Vita (DISTAV) dell’università degli studi di Genova, con la Fondazione Carige.

Il lavoro si è avviato dall’analisi delle mappe custodite nell’Archivio dell’Istituto Storico e di Cultura dell’Arma del Genio (ISCAG) di Roma, tra cui la carta generale di difesa di Genova, a cura dell’ing. Porro negli anni 30 dell’ottocento, che fu uno dei precursori delle isoipse, vale a dire le curve di livello, fondamentali per l’analisi di un territorio topograficamente complesso come quello di Genova. La carta è composta da 77 disegni in scala 1:2000 e 60 riduzioni in scala 1:5000, che sono stati digitalizzati e georiferiti, permettendo di avere un primo confronto con il passato.

La successiva fase del lavoro consiste nella digitalizzazione delle curve di livello, permettendo di comprendere la morfologia territoriale passata, anche grazie ad un sistema incrociato che determina i valori delle curve di livello sconosciute attraverso un’interpolazione. Per le aree dove sono rimasti dei vuoti informativi sulla morfologia territoriale, sono state utilizzate delle carte dell’Archivio Storico del Comune di Genova alla scala 1:500 e 1:200, che fornivano alcune quote, ma non le curve di livello.

Successivamente si è passati alla ricostruzione delle mura della città, grazie ad un recente volo aerofotogrammetrico che ha permesso di ottenere le quote delle

mura cinquecentesche e seicentesche, permettendone una loro ricostruzione digitale.

Si è scelto di inserire anche le fotografie storiche del Centro di Documentazione per la Storia, l'arte e l'immagine di Genova (DocSAI) e dell'archivio Leoni, usandole come alternative alle cartografie di quel periodo, considerate non attendibili come quelle di Porro.

Sono stati inseriti i dati anche sugli eventi alluvionali del 1970 e del 1992, insieme alle informazioni sulle frane dovute dalle precipitazioni.

Infine sono stati ricostruiti i volumi degli edifici storici che sono arrivati al giorno d'oggi inalterati, attraverso un incrocio con le cartografie attuali, integrandoli con gli edifici non più esistenti nelle fasi successive.

Un obiettivo che il progetto MIAGE riesce a soddisfare è quello di Rendere la popolazione maggiormente consapevole sulle tematiche relative al rischio idrogeologico, facendo comprendere che nel sottosuolo ci sono delle vie d'acqua che sono in continuo cambiamento e che modificano la morfologia territoriale, ed è per questo che Genova ha puntato sulla costruzione di un gemello digitale per analizzare la città. Tale necessità richiede dunque la presenza di dato più completo, che consideri anche ciò che si localizza nel sottosuolo. Per questo motivo il Comune di Genova sta prevedendo la produzione di carte del sottosuolo ottenibili attraverso dei rilievi con georadar e laserscan3D. Gli scopi principali sono:

- pubblica utilità;
- prevenire i rischi;
- la gestione delle risorse idriche;
- resilienza;
- sostenibilità ambientale;
- protezione e promozione patrimonio culturale;

- turismo;
- approfondimenti scientifici;

Avere un censimento delle reti sotterranee darà la possibilità di ridurre eventuali rischi, grazie all'identificazione dei rivi ormai dimenticati, e fornirà le basi per la realizzazione di un'eventuale Piano Urbano generale dei Servizi nel Sottosuolo. I dati raccolti saranno poi integrati nell'insieme di tutto il Comune ricostruito tridimensionalmente.

E' importante per Genova avere anche un modello tridimensionale dettagliato dell'area circostante alla sola città, perché sono presenti 2605 ettari di aree verdi, di cui 755 ettari di boschi che comprendono alcuni parchi storici, come Villa Duchessa di Galliera, Villa Centurione Doria e Villa Pallavicini. Il censimento di queste aree è avvenuto attraverso il Piano di Assestamento Forestale (PAF), uno strumento che fornisce informazioni sui dati forestali, naturalistici, geologici e idrogeologici, utili per la programmazione di eventuali interventi all'interno di quelle aree. Anche per queste informazioni è importante avere una visualizzazione tridimensionale, che l'Ufficio SIT ha reso pubbliche nel geoportale del Comune di Genova, permettendo di capire, ad esempio, le ragioni relative all'inutilizzo di alcune aree per futuri interventi, che in cartografie bidimensionali non sarebbe comprensibile.

Un ulteriore progetto su cui il comune di Genova si è proposto di lavorare è quello relativo alla valorizzare il cimitero monumentale, trattandosi di una città che, oltre ad essere situata in una posizione strategica dovuta all'importante porto, è anche un'importante meta turistica, di cui un ruolo fondamentale è svolto anche dal cimitero di Staglieno. Venne aperto per la prima volta al pubblico il 1 gennaio 1851, anche se la struttura non era ancora completa come quella ritrovabile ad oggi. Si tratta di un'importante meta turistica per il fatto che al suo interno sono

seppelliti numerosi personaggi famosi, come ad esempio Giuseppe Mazzini (Politico) e Constance Mary Lloyd Wilde (Moglie di Oscar Wilde).

I rilievi aerei effettuati hanno permesso di ottenere un primo dato digitale della struttura del cimitero, che con l'ausilio di ulteriori rilievi a terra hanno consentito di realizzare un modello tridimensionale più completo, andando a rappresentare quelle che sono le parti più importanti, senza avere ancora un dettaglio elevato, per esempio, per quelle che sono le lapidi. I punti esaminati più nel dettaglio per adesso sono stati ad esempio, la statua dell'angelo di Monteverde, il Pantheon o le statue dedicate a personaggi famosi seppelliti al suo interno. Il tutto ha l'obiettivo di realizzare un modello dedicato tridimensionale del cimitero separato dai dati presenti sul geoportale, con il duplice scopo di registrare lo stato di conservazione dei manufatti e di rendere fruibile in maniera virtuale e ad alta definizione il cimitero stesso. Questo progetto permetterà di facilitare la raccolta di fondi per il restauro di tombe o altre parti del cimitero, grazie al suo forte impatto visivo.



Fig. 35: Modello digitale del cimitero monumentale di Staglieno

Fonte: Comune di Genova, 29-05-2023

Alcuni degli obiettivi che il gemello digitale di Genova può aiutare a soddisfare riguarda anche la mobilità, con alcune tematiche principali sulla quale la città si sta concentrando in questo momento, cioè la riorganizzazione di alcuni assi viari e l'incentivazione all'uso di mezzi alternativi all'auto privata, migliorando il sistema della rete ciclabile e il sistema di trasporto pubblico in alcune aree.

L'ausilio di un modello digitale permette ad aziende come AMT (Azienda Mobilità e Trasporti) di effettuare studi, con costi e tempistiche ridotte, in questo caso sulle linee bus collinari, producendo analisi sui profili altimetrici a partire dai percorsi planimetrici, migliorando la qualità dei dati a disposizione dell'azienda.

Come anticipato, una delle tematiche sulla mobilità su cui il Comune sta lavorando Genova è l'organizzazione delle ciclabili, della quale il gemello digitale fornisce un database completo e mappato, mettendo a disposizione informazioni anche su quella che è la segnaletica verticale ed orizzontale, catalogata grazie ai rilievi effettuati a terra con strumenti fotogrammetrici o LiDAR.

La città di Genova ambisce a valorizzare massicciamente la mobilità ciclabile per diverse motivazioni:

- si tratta di un territorio densamente edificato e topograficamente complesso. Questo comporta la necessità di fornire percorsi alternativi che favoriscano l'accessibilità di alcune aree, realizzando un nuovo modo di esplorare le parti marittime, storiche e montane della città;
- l'Agenda 2030 indirizza gli Stati membri verso la mobilità sostenibile per favorire la transizione ambientale, attraverso la realizzazione di infrastrutture e servizi efficienti e rispettosi per l'ambiente;
- la pandemia dovuta al COVID-19 ha portato la necessità di una riorganizzazione del sistema dei trasporti, puntando su quello individuale a scapito di quello collettivo, con il rischio di provocare un aumento delle

sostanze inquinanti. Il Governo nazionale (Decreto Rilancio 34/2020 e Decreto Semplificazioni 76/2020 ora legge 20/2020) ha deciso di puntare sulla mobilità ciclistica. Genova si è impegnata nella realizzazione di “corsie d'emergenza”, permettendo ai ciclisti di muoversi con maggiore sicurezza e visibilità, fornendo un'alternativa valida all'utilizzo dell'automobile, soprattutto per le brevi distanze. Ciò ha portato alla realizzazione delle “Bike Line” di colore rosso che indirizzano bici e monopattini per facilitare la condivisione della strada con gli altri mezzi. Attraverso il gemello digitale si sta sperimentando la realizzazione di un'ulteriore pista ciclabile su Corso Italia, per valutarne la posizione migliore e i possibili effetti.

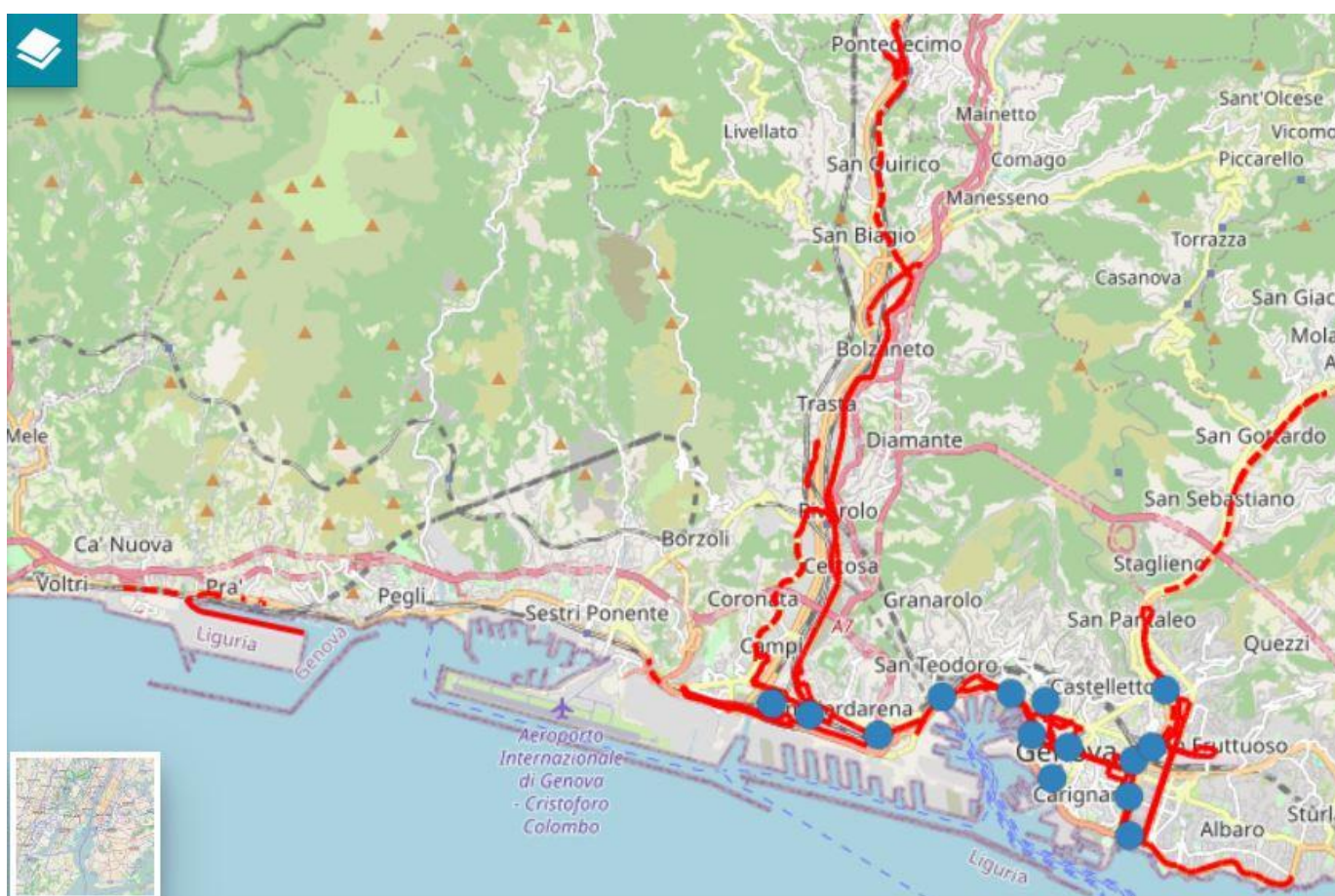


Fig. 36: In rosso le ciclabili di Genova e in blu i cicloposteggi BikeSharing

Fonte: Comune di Genova, 29-05-2023

In aggiunta un ambito d'intervento sul quale il Digital Twin può fornire un grande contributo riguarda la progettazione del tunnel sub portuale, che svolgerà il compito di alternativa all'esistente sopraelevata, fornendo un collegamento diretto tra il ponente e il levante della città. Il tunnel dovrà permettere di evitare l'attraversamento della città da parte dei mezzi pesanti che vanno verso l'area delle riparazioni navali. Si andranno a realizzare anche delle aree di sosta in prossimità delle uscite, posizionate vicino alla Marina e Calata Gadda.

Il gemello digitale, nonostante i sopracitati benefici, presenta ancora alcuni limiti, soprattutto per quanto riguarda la componente sotterranea. Nonostante ciò fornisce un ottimo punto di partenza per questa tipologia di analisi, riuscendo ad intrecciare informazioni sulla porzione di territorio complessa per la presenza del mare e del porto, oltre a svolgere il ruolo di "insieme" di tutti i dati ed interessi degli stakeholder che entrano in gioco.

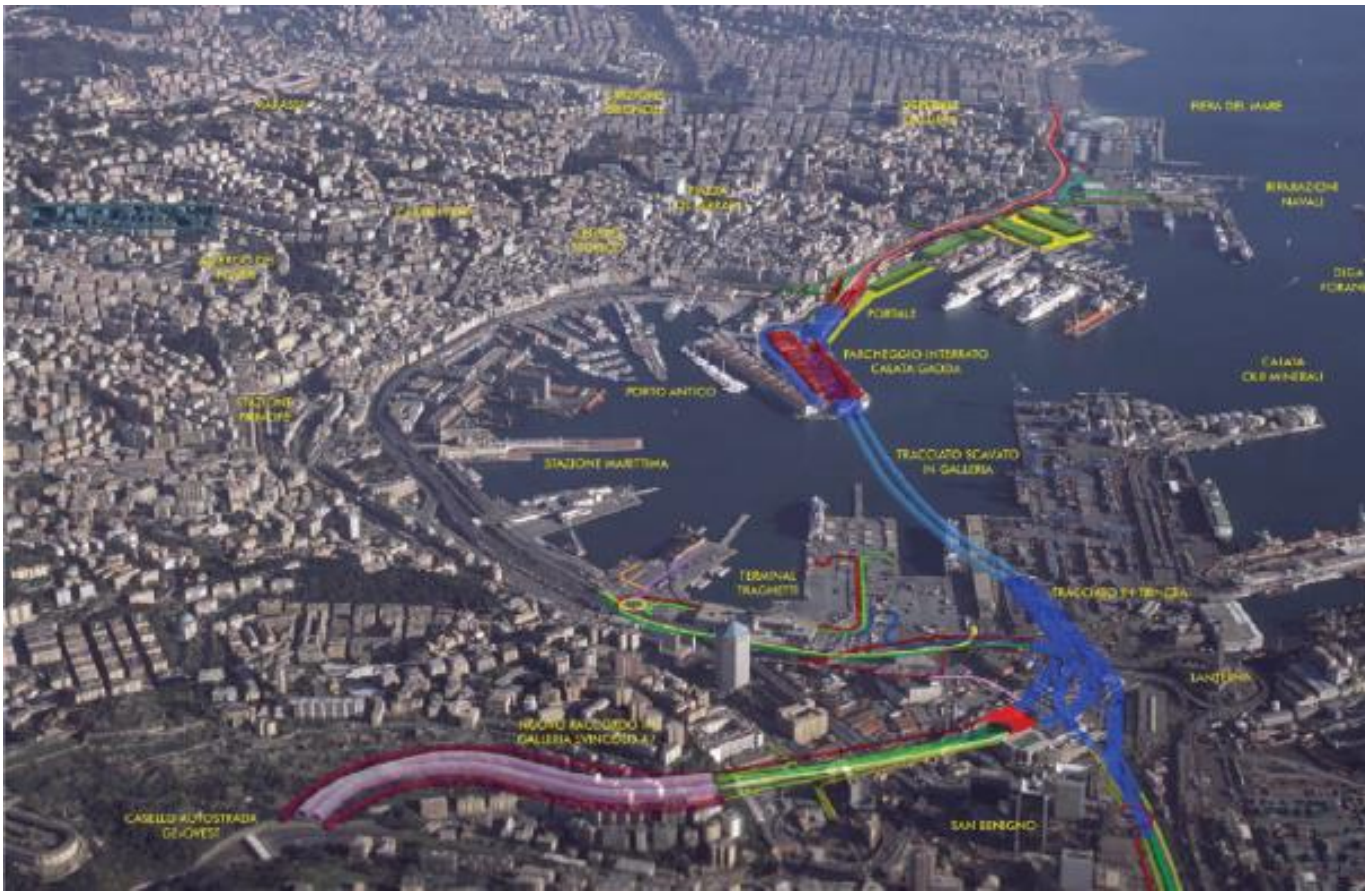


Fig. 37: Progetto tunnel sub portuale di Genova

Fonte: genovameravigliosa, 07-03-2022



Fig. 38: Digital Twin Porto di Genova

Fonte: Geoportale del Comune di Genova, 29-05-2023

Un altro ambito d'applicazione del Digital Twin discusso durante l'incontro con i membri del comune di Genova riguarda la progettazione a scala d'edificio. Come detto in precedenza, il gemello digitale svolge un ruolo fondamentale per effettuare analisi a questa scala se affiancato anche ai progetti BIM che forniscono informazioni architettoniche. Diventa quindi possibile intrecciare le elaborazioni svolte su altri programmi, come sezioni e prospetti effettuati su AutoCad, con il modello tridimensionale della città di Genova, per svolgere eventuali riflessioni per interventi futuri. Un esempio osservato è quello dell'edificio Tabarca, situato nell'area portuale in Via Megollo Lercari 41, osservabile nella figura sottostante.

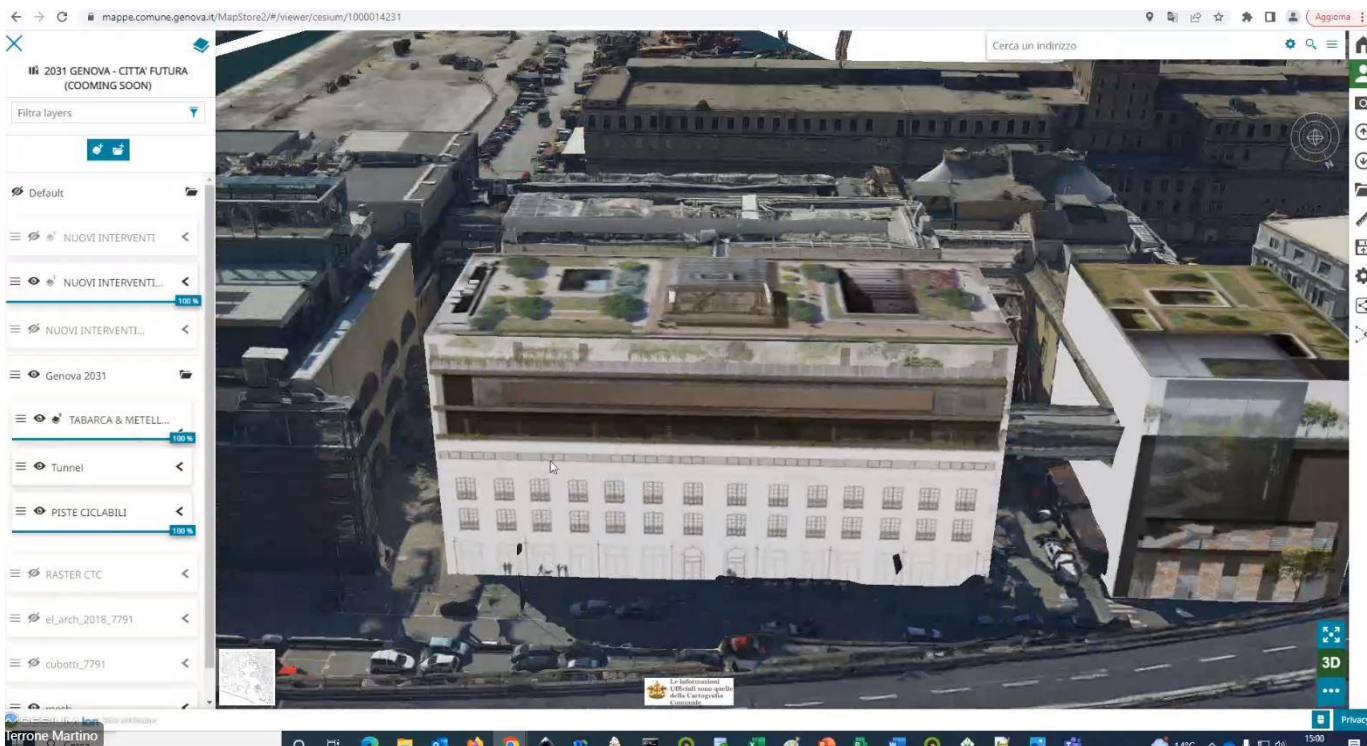
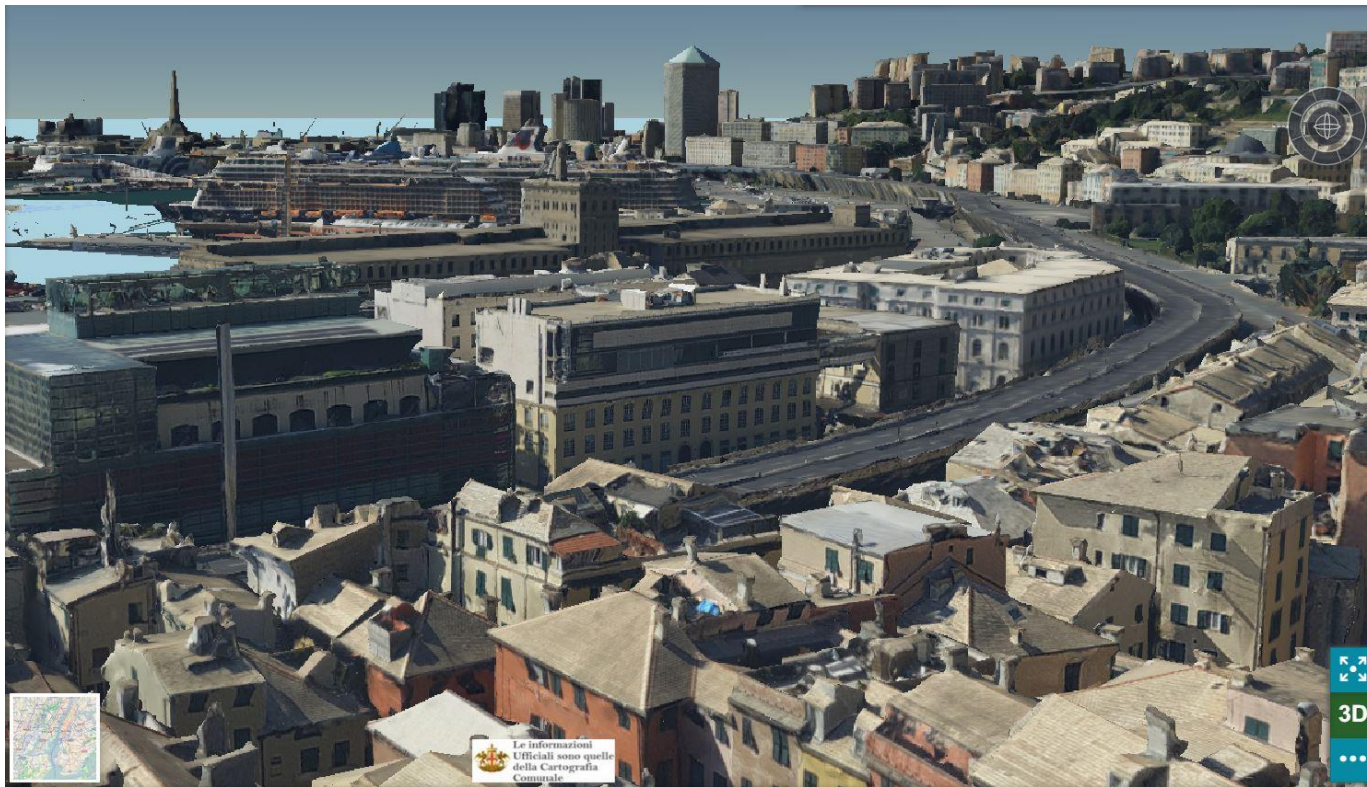


Fig. 39: Digital Twin dell'edificio Tabarca con prospettiva effettuato su AutoCad

Fonte: Geoportale del Comune di Genova, 29-05-2023

Negli ultimi anni, le innovazioni tecnologiche messe in atto dal Comune hanno portato alla realizzazione del Digital Twin per la città di Genova, che sarà accessibile a tutti nel corso del 2023 sul geoportale, rinnovando completamente il suo funzionamento. Si disporrà di un modello tridimensionale dell'intera area urbana ed extra-urbana di Genova, all'interno del quale sarà possibile ottenere informazioni, elaborare dati ed effettuare misurazioni, grazie anche alla presenza della nuvola di punti. Ciò comporterà una facilità di trasmissione del dato tra i vari stakeholders, una riduzione delle tempistiche e dei costi per svolgere le sperimentazioni necessarie per interventi futuri, una riduzione del rischio e soprattutto un avvicinamento alle tematiche dell'Agenda 2030 che la città di Genova si propone di raggiungere. Inoltre vengono promosse delle strategie di medio/lungo periodo per rinnovare la Città ambendo a diventare un polo di innovazione urbana, ambientale e impresa, attraverso lo scambio di dati con altre città italiane ed estere.

Un ruolo fondamentale l'ha svolto ASITA nel 2022 (Conferenza Nazionale di Geomatica e Informazione Geografica), contesto in cui professionisti, docenti, personale tecnico di enti territoriali e tutti coloro che lavorano nei molteplici ambiti della geomatica possono confrontarsi. Tale conferenza ha avuto luogo a Genova ed è stata l'occasione per comprendere il grande contributo che la geomatica può dare alla città in vari ambiti. La città stessa costituisce il laboratorio per le tecniche di modellazione tridimensionale del territorio, il cosiddetto Digital Twin, che porterà a semplificare le procedure di attuazione degli obiettivi della cosiddetta "2031 Genova - Città Futura", definita tale dai dipendenti del suo comune.

4.2

Analisi caso studio di Milano

L'indagine relativa ai metodi e agli strumenti sviluppati all'interno delle tematiche proprie di una smart city ha interessato anche il Comune di Milano, altra città che si sta avvicinando al Digital Twin. L'approfondimento in merito alle pratiche sviluppate dalla città è stato possibile grazie all'intervento dell'architetto Bruno Monti, architetto presso il Comune.

Milano è il comune italiano capoluogo della Regione Lombardia, che vanta una popolazione di circa 1300000 abitanti, una delle più popolate aree metropolitane europee ed è la seconda più popolosa d'Italia dopo la capitale Roma. Si tratta di una delle mete turistiche internazionali più importanti d'Italia, sia per il suo valore culturale, ma soprattutto per la sua importanza da un punto di vista fieristico, essendo sede di importanti eventi, tra cui anche Expo (Esposizione Universale) del 2015, e anche per il suo impatto economico.

Il Comune di Milano occupa una superficie di 181,67 km², con una densità abitativa pari a 7465,5 ab./km². A differenza del Comune analizzato in precedenza, ovvero Genova, quest'elevata densità abitativa non ha lo stesso peso, perché si tratta di un territorio con una conformazione topografica meno complessa e stratificata: Milano ha un numero di abitanti per km² quasi triplicato rispetto a Genova, che comporta una elevata complessità di gestione del territorio e alcune problematiche, ma non ha la stessa incidenza che avrebbe sul territorio montano e marittimo di Genova.

Grazie all'incontro svolto con l'architetto Bruno Monti, è stato possibile apprendere che anche la città di Milano si sta avvicinando da pochi anni alla realizzazione di un gemello digitale per il proprio territorio, reso possibile grazie

alla raccolta dei dati effettuata attraverso rilievi aerei e terrestri. Una volta resi disponibili i dati raccolti, ciò permetterà una miglior gestione di numerose problematiche emerse per Milano, con una riduzione dei costi e delle tempistiche. Il progetto è stato avviato il 2 maggio 2022 e dovrebbe concludersi entro il 31 luglio 2023 e si prevede un investimento di circa € 2.700.000.

Dal punto di vista tecnico i rilievi saranno geodeticamente riferiti al sistema di riferimento ufficiale italiano, ovvero ETRF2000, con una produzione cartografica eseguita nel sistema cartografico UTM Fuso 32; per quanto riguarda invece il sistema altimetrico, esso fa riferimento alla superficie dell'ellissoide WGS84 ed al riferimento altimetrico nazionale.

Per quanto riguarda l'effettiva acquisizione dei dati, essa sarà possibile grazie all'esecuzione di un rilievo aereo fotogrammetrico e LiDAR, di un rilievo terrestre effettuato mediante l'utilizzo della tecnologia MMS e di un rilievo degli oggetti urbani, ovvero: gli impianti semaforici, i pali della luce, i pali reggifilo, i passi carrai, le barriere come dissuasori, transenne, i dehors, i chioschi, le edicole, i Box di servizio ATM, l'area di circolazione stradale, le dimensioni dei varchi ponti e tunnel, le targhe viarie, le targhe commemorative, il numero e la dimensione delle vetrine delle attività commerciali, gli impianti di Pubblica Affissione, gli impianti pubblicitari, le paline e pensiline del trasporto pubblico locale, le rampe per i disabili agli incroci, gli orologi pubblici, i binari delle linee tramviarie, la verifica della numerazione civica e degli accessi, i pannelli a messaggio variabile, la segnaletica stradale verticale e orizzontale.



Fig. 40: Restituzione cartografica rilievo oggetti urbani

Fonte: Capitolato speciale d'appalto - Fornitura di rilievo cittadino con tecnologia multisensore terrestre ed aereo, 19-04-2023

La raccolta dei dati, come specificato precedentemente si svolgerà attraverso l'utilizzo di diversi strumenti, infatti, per quanto riguarda il volo aereo, esso interesserà tutto il territorio della Città Metropolitana, mentre la raccolta dati a terra, tramite il supporto del sistema MMS o di altri strumenti, riguarderà solo il Comune di Milano.

Per effettuare la raccolta dati, dato l'elevato grado di dettaglio che si cerca di raggiungere, nel territorio sono state definite 200 ARCO (Aree di Controllo) che hanno al loro interno due borchie fissate nel terreno e posizionate ad una distanza di 100 metri, situate in aree che possano fornire un buon posizionamento GNSS. E' stato utilizzato un elevato numero di ARCO per due motivazioni:

- bisogna disporre di un elevato numero di punti d'appoggio per riuscire ad ottenere dati numerosi ed affidabili;

- data l'ampia area analizzata (1575,65 km²), per poter effettuare analisi incrociate e compatibili tra di loro, è necessario avere un elevato numero di punti di riferimento;

I vertici che definiscono le ARCO sono delle borchie fissate al terreno per garantirne la stabilità, non potendo essere sempre sotto controllo data l'ampia area analizzata, e dovranno essere situate in aree visibili e con spazio nell'area circostante per l'eventuale posizionamento di marker fotogrammetrici. Andando più nello specifico, i presupposti che deve rispettare il posizionamento dei vertici sono i seguenti:

- buona visibilità dal cielo;
- assenza di ostacoli o superfici riflettenti;
- buona accessibilità con mezzi di varie tipologie;
- posizionamento su suolo pubblico;
- localizzazione in aree sicure su cui lavorare;
- accessibilità e visibilità del vertice in qualsiasi momento;

Inoltre bisogna rispettare dei principi per la loro posizione rispetto ai vertici vicini:

- distribuzione regolare con una densità costante;
- possibilmente vanno posizionati in aree urbane;
- deve esserci almeno un ARCO per nucleo urbano;

I vertici sono classificabili in due tipologie di tipo A, se posizionati su manufatti o pavimentazioni stabili nel tempo, o di tipo B, se posizionati in aree libere per disegnarci intorno gli eventuali marker fotogrammetrici.

In aggiunta, in corrispondenza con uno dei vertici verrà dipinto un marker fotogrammetrico sull'asfalto, in modo tale che il suo intorno possa essere utilizzato come riferimento per il rilievo LiDAR; inoltre 50 delle ARCO saranno

soggette ad un rilievo Terrestrial Laser Scanning - TLS equivalente ad un raggio di 250 mt, il cui obiettivo è quello di stimare l'accuratezza planoaltimetrica dei diversi rilievi.

Per quanto riguarda il rilievo terrestre si prevede che sia realizzato tramite il supporto della tecnologia Mobile Mapping System - MMS, realizzato con tecnologia LiDAR e la restituzione di foto sferiche relative all'area di circolazione, comprendendo tutte le aree della rete stradale, comprese le aree a traffico limitato o le isole pedonali, le corsie a traffico riservato, i parcheggi pubblici, le aree di sosta, e le gallerie e i tunnel, compresi quelli pedonali.

Il rilievo aereo si compone di differenti fasi, svolte con strumentazioni diversificate; è infatti previsto l'utilizzo di camere nadirali, camere oblique e strumenti LiDAR.

Con lo scopo eseguire un rilievo di precisione il territorio è stato suddiviso in due zone:

1. Zona 1

Fa riferimento al territorio del Comune di Milano ed i Comuni della prima cintura, ha una superficie totale di 405,31 Km² e sarà soggetta ad un rilievo di altissima qualità;

2. Zona 2

Equivala ai restanti comuni facenti parte della Città Metropolitana di Milano, ha una superficie di 1.171,34 Km² e sarà soggetta ad un rilievo di alta qualità.

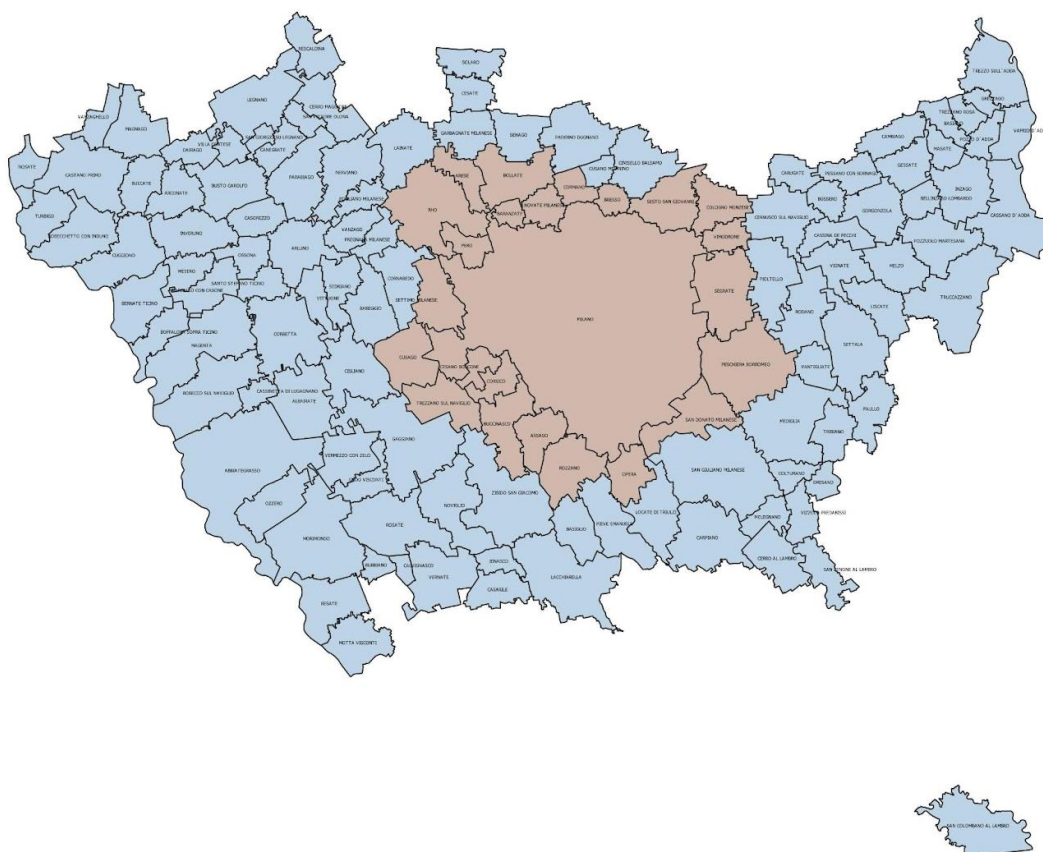


Fig. 41: Suddivisione della Città Metropolitana in zona 1 e zona 2

Fonte: Produzione propria, 07-06-2023

Dal punto di vista tecnico la Zona 1 è soggetta all’acquisizione di immagini fotogrammetriche nadirali e oblique grazie al supporto ed all’utilizzo di una camera fotogrammetrica obliqua, mentre per quanto riguarda il rilievo della zona 2, essa è soggetta ad una restituzione con immagini fotogrammetriche nadirali; in entrambi i casi il rilievo fotogrammetrico avrà una risoluzione al suolo di 5 cm ed una densità delle riprese lidar pari a 20 pt/mq.

Nello specifico, per quanto riguarda l’utilizzo della camera fotogrammetrica risulta necessario garantire un GSD (Ground Sampling Distance) di 5 cm, per tale motivo l’altezza di volo è stata calcolata sulla base di questa necessità; inoltre deve essere garantita una restituzione omogenea dal punto di vista cromatico e della tonalità

dei fotogrammi confinanti, perciò devono essere realizzati in condizioni meteorologiche prive di foschia e nubi. Per tali motivi il volo per il rilievo fotogrammetrico deve garantire traiettorie il più possibili rettilinee e che sia possibile, in casi di necessità, la replica di alcune strisciate difettose.

Per quanto riguarda le acquisizioni LiDAR devono essere effettuate in modo coerente con le caratteristiche morfologiche del terreno, garantendo una densità di punti mai inferiore ai 20 pt/mq. Anche in questo caso le strisciate devono essere il più possibile rettilinee.

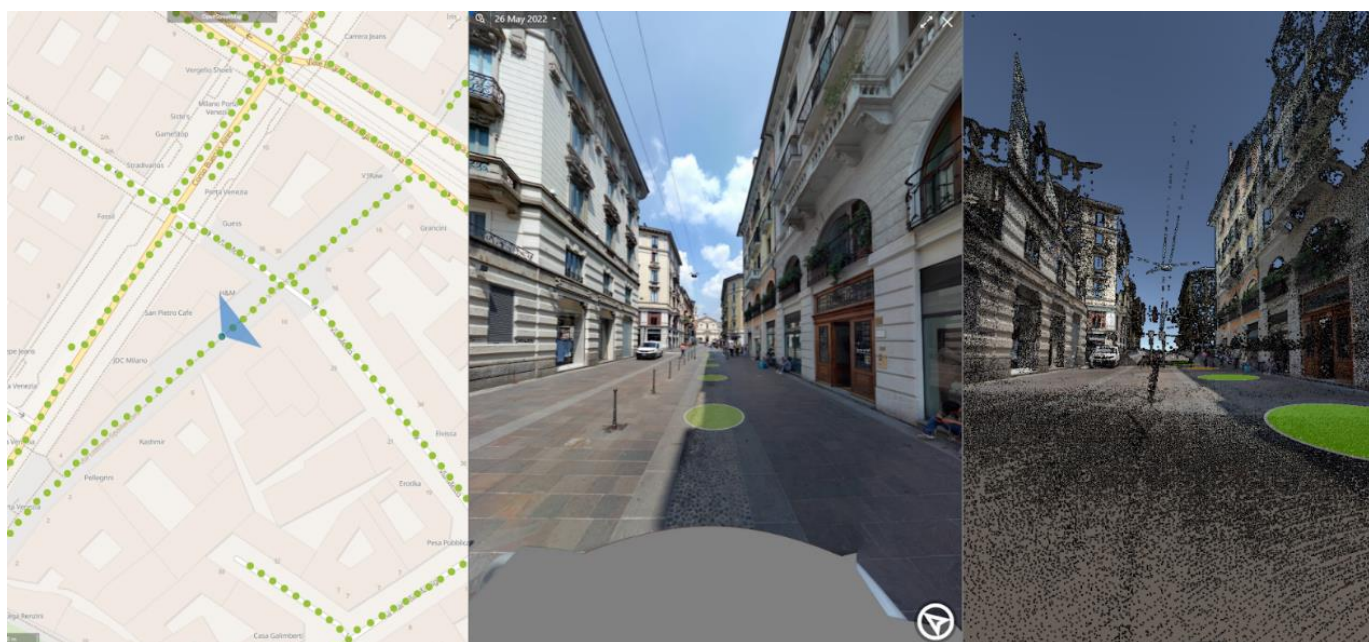
Per un risultato maggiormente preciso, che possa garantire una copertura totale della zona da rilevare, è necessario realizzare anche delle strisciate cross, ovvero delle strisciate incrociate, ortogonali rispetto alle strisciate realizzate precedentemente.

Il rilievo terrestre della rete stradale deve essere realizzato con rapidità di esecuzione, minimo disagio per i cittadini e soprattutto garantendo la sicurezza delle aree di circolazione.

Il rilievo MMS previsto per la Città di Milano è stato realizzato tramite l'acquisizione di immagini fotogrammetriche in 5 direzioni differenti, e tramite il rilievo con strumenti LiDAR con una risoluzione minima di 1500 pt/m² su una superficie a 10 mt dal mezzo utilizzato. Questa tipologia di rilievo permette di acquisire una nuvola di punti lidar, l'individuazione dei 22 oggetti urbani sopra indicati e le immagini panoramiche.

Il criterio di base per la realizzazione del rilievo è che vi sia una distanza minore di 20 mt tra lo strumento e gli edifici, perciò, nei casi in cui la strada su cui si sta effettuando il rilievo è abbastanza stretta è possibile effettuare il rilievo in una sola direzione, diversamente sarà necessario percorrere il tratto in più direzioni. Il rilievo delle piazze verrà eseguito passando diverse volte, in modo tale che venga effettuata una ripresa completa ad una distanza minima di 20 mt da ogni edificio.

Inoltre, in casi in cui il passaggio del veicolo può risultare difficoltoso si prevede l'ausilio della polizia municipale che avrà il compito di effettuare brevi blocchi di traffico, in modo tale da garantire di effettuare il rilievo alla velocità corretta. Non si esclude la possibilità di effettuare dei rilievi notturni nelle aree in cui non è possibile limitare le attività economiche in atto.



*Fig. 42: Elaborazione 3D sulla base della nuvola di punti realizzata con MMs
Fonte: Comune di Milano - Unità SIT Sistema Informativo Territoriale, 19-04-2023*

Una delle problematiche che permangono riguarda l'aggiornamento del database, in quanto non può essere effettuata sempre una campagna massiccia di rilievi fotogrammetrici e LiDAR. Per fare ciò la Città di Milano ha intenzione di mettere in campo due strategie, ovvero l'installazione di strumentazione per rilievo sulle vetture comunali, capaci di dare una restituzione dei dati nelle successive 24 ore, e nei casi in cui si manifestano massicce modificazioni all'interno di una determinata area allora si può prevedere di pianificare una successiva campagna di rilievi circoscritti, in modo tale da avere una restituzione completa della zona oggetto di trasformazioni. I successivi voli verrebbero

effettuati una volta all'anno con l'obiettivo di effettuare un rilievo solo per la nuvola di punti, in modo da comprendere i cambiamenti che avvengono con il passare del tempo attraverso una triangolazione.

Considerare l'aggiornamento del dato è un aspetto fondamentale per due motivi:

- fornire dati sempre aggiornati è uno dei principali vantaggi che il gemello digitale fornisce alla città, perchè fornisce innumerevoli dati a scala vasta che è "semplice" tenere aggiornati grazie alle sue tecniche di rilievo. E' per questo motivo che il Comune di Milano si sta impegnando ad acquistare strumentazioni di rilievo e veicoli propri per poter ottenere il dato raccolto già nelle 24 successive, senza dover aspettare che gli venga spedito;
- si tratta di una città che è in continua evoluzione in maniera molto rapida, quindi è fondamentale riuscire a stare al passo con i relativi dati ottenuti dai rilievi. Si conta che a Milano ogni anno si spostino circa 8000 negozi, ed è per questo che i rilievi terrestri effettuati raccolgono informazioni anche su tali oggetti;

4.2.1.

Ambiti di utilizzo del Digital Twin a Milano

La realizzazione di un gemello digitale della città ha lo scopo di supportare la progettazione urbana, per renderla più sostenibile sia dal punto di vista ambientale, che sociale ed economico.

Attualmente, i centri urbani sono soggetti a fenomeni di surriscaldamento locale, con un incremento delle temperature fino a 4-5° rispetto alle zone limitrofe al centro maggiormente urbanizzato; si ha la preoccupazione che questi fenomeni di surriscaldamento diventino sempre più critici.

Questi fenomeni sono maggiormente sentiti e localizzati all'interno dei grandi centri urbani, in quanto concorrono ad incrementare il surriscaldamento anche le caratteristiche termiche e radiative delle superfici che costituiscono il territorio: le superfici pavimentate come l'asfalto o il cemento assorbono maggiormente il calore e non garantiscono una traspirazione, evaporazione e permeabilità del terreno. All'interno dei centri urbani caratterizzati da un'alta densità di edificazione si verifica anche una bassa ventilazione degli spazi, e l'effetto del vento, che potrebbe garantire un ricambio d'aria ed un raffrescamento, viene meno.

Nello specifico, la città di Milano è maggiormente soggetta al fenomeno dell'isola di calore rispetto ad altri grandi centri urbani della Penisola, in quanto vi è una bassa presenza di aree verdi rispetto alla superficie edificata; vi è infatti una copertura totale delle aree verdi pari al 13,8% della superficie costruita.

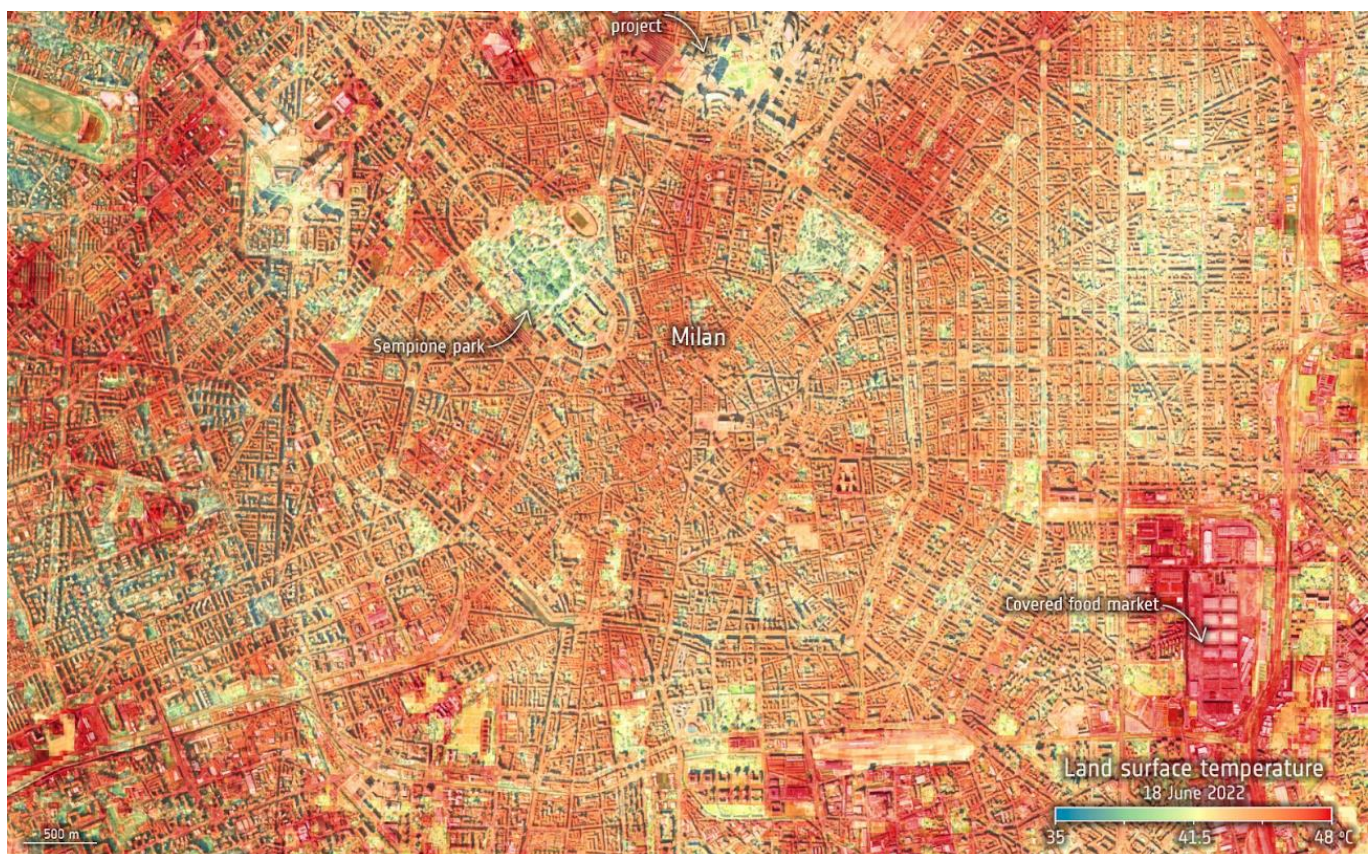


Fig. 43: Temperatura della superficie del suolo a Milano, misurata il 18 Giugno 2022

Fonte: Sara Carmignani, 13-07-2022

Le aree verdi aiutano a contrastare il fenomeno del surriscaldamento urbano, grazie alla creazione di zone d'ombra ed al processo di traspirazione. In questi termini il Comune ha redatto il Piano Aria e Clima, che ha lo scopo di contribuire al contenimento della temperatura locale di 2° entro il 2050, attraverso azioni di raffrescamento.

Nello specifico l'Obiettivo 4.2 "Raffrescamento urbano e riduzione del fenomeno "isola di calore"" prevede di dare un forte incentivo alla creazione di spazi verdi, ritenuti appunto come la chiave per contrastare tale fenomeno. L'amministrazione ambisce dunque a creare una città verde ed ombreggiata, sia in aree pubbliche che private, aumentando la presenza di tetti verdi, del verde pensile, riducendo la quantità di suolo dedicato alla sosta e prediligendo la

realizzazione di parcheggi in strutture con spazi permeabili con un sistema di drenaggio naturale.

La progettazione di questi spazi si prevede possa essere supportata dal modello digitale, in quanto, tramite il sussidio di algoritmi è possibile individuare tutte le superfici su cui realizzare tetti verdi, determinando i benefici che questa strategia può avere sul territorio comunale.



Fig. 44: Progetto dell'Architetto Boeri per il tetto verde del Policlinico

Fonte: tisostengo.com, 29-05-2023

Inoltre, il modello digitale 3D può essere opportunamente utilizzato per individuare i tetti degli edifici che più si prestano per l'installazione dei pannelli fotovoltaici, in quanto permette di considerare sinergicamente sia l'inclinazione

delle falde del tetto, l'ombreggiamento determinato da altri manufatti e l'orientamento.

Oltre ai fenomeni di surriscaldamento e inquinamento, la città si trova ad affrontare anche episodi di esondazione del fiume Seveso, le quali sono sempre più frequenti a causa delle ondate di maltempo.

Attualmente l'Autorità di Distretto, la Regione Lombardia ed il Comune di Milano hanno incaricato l'Agenzia Interregionale per il fiume Po (AIPO) di individuare le aree maggiormente a rischio, e di progettare e realizzare le opere. Si prevede quindi di realizzare aree di laminazione, cercando di limitare l'impatto dell'esondazione sulle aree urbanizzate.



Fig. 45: Vasche di laminazione in progetto per il contenimento degli eventi di piena del fiume Seveso

Fonte: ilNotiziario.net, 29-05-2023

L'ausilio del Digital Twin si prevede possa supportare la città di Milano e le autorità competenti nella simulazione e individuazione dei rischi che gli eventi di piena possono causare sulle aree urbanizzate.

Per quanto riguarda invece una progettazione urbana maggiormente inclusiva dal punto di vista sociale, la città di Milano mira ad individuare dei percorsi sicuri per il raggiungimento dei beni primari per le persone soggette a disabilità.

L'utilizzo del modello digitale permette di individuare la presenza di barriere architettoniche da abbattere, riuscendo a raggiungere l'obiettivo del Piano di Eliminazione delle Barriere Architettoniche P.E.B.A., ovvero: " costruire un piano strategico per l'accessibilità degli spazi pubblici e del patrimonio immobiliare comunale e favorire l'integrazione sociale e la sicurezza, la qualità della vita e la mobilità".

Fare attenzione che i servizi principali siano accessibili comodamente non è una prerogativa che Milano si è imposta solo per le persone con disabilità, ma nel rispetto del principio della "Città dei 15 minuti", cerca di pianificare la struttura urbana facendo in modo che, in un tempo massimo di 15 minuti, una qualsiasi persona, dalla propria residenza, possa accedere ai servizi essenziali, come supermercati, farmacie o scuole.

Il risultato finale che Milano punta ad ottenere, è la realizzazione di una Mesh tridimensionale dell'intero territorio, con un maggior dettaglio per la parte urbanizzata, in modo da poter effettuare le simulazioni al suo interno e avere una banca dati facilmente accessibile che fornisca le informazioni sugli oggetti che compongono la città: pavimentazioni, vegetazione, oggetti sul suolo pubblico o ad esempio sugli edifici, della quale sia possibile ottenere dei dati sulla classe energetica, sull'anno di realizzazione o tante altre informazioni che possono influenzare progetti futuri. Per esempio sarà possibile effettuare misurazioni per

comprendere le reali dimensioni di alcuni oggetti o la loro distanza, a differenza di altri programmi in grado di fornire virtual tour all'interno della città grazie all'utilizzo di telecamere a 360 gradi, che però non dispongono di nuvole di punti fondamentali per la creazione della Mesh e delle sue superfici, della quale si conoscono anche le informazioni rgb che ricreano il colore reale.

4.3

Analisi caso studio di Torino

Il Comune di Torino, a differenza di Genova e Milano, non dispone ancora di un volo o di rilievi effettuati a terra con tecnologie in grado di fornire nuvole di punti, che interessino l'intero territorio comunale o addirittura l'area della Città Metropolitana, per riuscire a realizzare un modello digitale a scala comunale, ma comunque si interessa alle tematiche di Smart City e di Digital Twin, vantando la nomina come terza città più a misura d'uomo secondo la classifica realizzata dalla ricerca EY Human Smart City Index 2022, presentata durante l'incontro EY Italy Outlook Talk. Questa classifica basa le sue valutazioni su tre tematiche:

- mettere al centro le esigenze dei cittadini;
- puntando sulla sostenibilità ambientale;
- utilizzando il digitale come strumento di integrazione ed accessibilità;

Quest'ultima componente è quella che più ha penalizzato la città di Torino, che negli anni precedenti si classificava in seconda posizione dopo il Comune di Milano. Ciò nonostante, le tre città, invertendosi negli anni le posizioni, vantano il podio nella classifica dal 2014 in maniera ininterrotta.

Anche se Torino non dispone ancora di un modello digitale dell'intero territorio, esistono numerosi progetti, associazioni ed aziende che, nel loro caso specifico, dimostrano come la città si stia sviluppando da un punto di vista digitale, grazie all'utilizzo di nuove tecnologie e di gemelli digitali ad una scala più specifica per il singolo ambito d'intervento. Nel corso del capitolo verranno esaminati casi riguardanti la mobilità e la rete trasportistica, porzioni di aree urbane o anche

singoli edifici, della quale le nuove tecnologie di rilievo ne hanno permesso l'evoluzione da un punto di vista digitale.

4.3.1.

MAAS4ITALY: sperimentazione MAAS e Living Lab to Move

Le nuove tecnologie renderanno Torino una delle prime città ad avere una vera e propria rivoluzione della mobilità, resa più sostenibile, inclusiva, smart e sicura. Le componenti progettuali che la interesseranno sono Maas, vale a dire Mobility as a Service, e Living Lab ToMove, appartenenti al progetto Maas4Italy che è stato approvato dall'assessora all'Innovazione, mobilità e trasporti, Chiara Foglietta, membro della Piattaforma degli Enti Locali di TTS Italia. Il tutto sarà reso possibile grazie ad un ecosistema digitale che farà rete favorendo la collaborazione tra i vari soggetti che entreranno in gioco.

L'obiettivo che la città prevede di raggiungere con la sperimentazione MaaS è di realizzare un servizio che fornisca ai cittadini la possibilità di acquistare, prenotare o avere altri servizi di mobilità pubblica, attraverso l'uso semplicemente di un'applicazione. Per far ciò ci sarà bisogno di una fase di sperimentazione che coinvolgerà numerosi utenti e operatori di mobilità, compresi quelli inerenti a servizi già presenti come il car sharing, i taxi, il car pooling o anche le colonnine di ricarica elettrica. Il soggetto responsabile sarà 5T, società in-house del Comune di Torino, che collaborerà con gli uffici comunali, GTT e altri soggetti che saranno coinvolti.

Per quanto riguarda il progetto Living Lab ToMove, l'obiettivo è quello di creare una base di sviluppo e sperimentazione per i servizi di guida autonoma e connessa, facendo passare la ricerca applicata da un livello prototipale ad uno

consolidato nell'ambiente reale. In questo modo Torino diventerà una delle più importanti città per la sperimentazione della guida autonoma.

Il progetto si basa su tre direttrici strategiche:

- l'integrazione di un servizio di trasporto collettivo autonomo basato sulla piattaforma MaaS, che sarà a conoscenza della situazione del traffico e della viabilità;
- sperimentazione sui servizi e sulle soluzioni innovative per la logistica, dato l'elevato impatto ambientale e la complessa gestione urbana che comportano servizi di e-commerce e home delivery sempre più in crescita;
- il Digital Twin, un gemello digital della città di Torino che permetterà una migliore gestione dei servizi di trasporto, con un risparmio economico e di tempistiche, grazie all'intreccio di dati sempre aggiornati.

I soggetti promotori del gemello digitale che parteciperanno sono COTO e Links Foundation con 5T.

Si effettuerà una prima analisi dello stato di fatto per individuare gli strumenti per lo sviluppo del dimostratore, affiancando le varie fonti che saranno necessarie per il funzionamento del sistema.

Il primo dimostratore per realizzare il gemello digitale dovrà soddisfare principalmente due obiettivi:

- svolgere il ruolo di sorgente informativa virtuale, come ad esempio dati che riguardano il traffico o il sistema semaforico;
- svolgere il ruolo di supporto alla decisione, analizzando quelli che sono, e potrebbero essere, gli scenari futuri (what if).

Il gemello digitale svolge un ruolo fondamentale di supporto e per il suo funzionamento necessita di una molteplicità di informazioni, che raccoglierà principalmente dalle seguenti fonti:

- Traffic Operation Center (TOC) di 5T;
- eventuali dati che può fornire il Comune di Torino;
- mezzi connessi con canali V2X (canali di connessione tra il veicolo e qualcos'altro, o viceversa, in grado di trasmettere informazioni tra loro a breve o lunga distanza);
- strumentazioni di raccolta dati posizionati per la città, come ad esempio telecamere, sensori, RSU, ecc.;
- aziende o altri soggetti privati che collaborano con l'obiettivo di ampliare le informazioni utili ad avere un Digital Twin completo;
- segnalazioni o altre informazioni che forniscono un contributo per il gemello digitale;
- eventuali rilievi svolti per singoli ambiti di interesse, attraverso l'uso di tecnologie innovative (fattori che influenzeranno il percorso degli eventuali veicoli a guida autonoma);

Verrà realizzato un ambiente di simulazione che riguarderà un'area di Torino, della quale saranno incrociati i dati precedentemente definiti con quelli raccolti dal progetto SHOW (sito pilota italiano CCAM nel traffico reale). Questo permetterà di:

- ipotizzare l'effetto di nuove strategie sulla mobilità;
- supportare il 5T nelle decisioni per il controllo della viabilità;
- sostenere la scelta della scala e della posizione più adatta per le sperimentazioni del CCAM.

Ciò porterà notevoli vantaggi, riducendo le emissioni inquinanti, fornendo una maggiore sicurezza stradale e rendendo efficiente la presenza dei veicoli autonomi, anche in un contesto complesso e pieno di esternalità, come il contesto urbano.

Il gemello digitale fornirà informazioni in continuo aggiornamento all'ISAD (Support Levels for Automated Driving), dando la possibilità di creare possibili scenari di simulazioni e creando un vero e proprio strumento di governance. Per la messa in pratica, sarà necessario definire la metodologia di lavoro, le informazioni necessarie e l'area di sperimentazione, che potrebbe successivamente cambiare in base alle esigenze. Un ruolo fondamentale, per un corretto funzionamento, lo svolge anche il singolo veicolo a guida autonoma, che dovrà disporre di un ODD, cioè di un Dominio di Progettazione Operativa, in grado di analizzare simultaneamente un'infinità di informazioni sovrapposte per prendere la decisione giusta, che ad oggi risulta ancora complesso data la molteplicità di pericoli e rischi che possono manifestarsi nelle aree veicolari della città.

Non essendo stata ancora trovata una soluzione e trattandosi comunque di un sistema in continua evoluzione, il gemello digitale necessita di interfacce di integrazione applicata aperte (API), in cui i vari soggetti che sono in grado di fornire informazioni utili per il corretto funzionamento del Digital Twin, possano dare il loro contributo. Si necessita di strumenti d'analisi come "big data" o "business intelligence", che permetteranno di effettuare analisi su aspetti riguardanti la mobilità urbana e sulla componente CCAM (Connected Cooperative Autonomous Mobility), riuscendo in questo modo a svolgere eventuali interventi di riorganizzazione della mobilità urbana o di eventuali componenti correlate. Alcuni esempi trattati possono essere:

- inerenti alla componente trasportistica, con una riorganizzazione della segnaletica stradale ad un incrocio che potrebbe causare rischi a causa della coesistenza tra veicoli con guidatore e a guida autonoma;
- inerenti alla componente tecnologica, ad esempio con integrazione di nuove tecnologie d'assistenza alla guida o di gestione degli eventuali comportamenti inappropriati per la sicurezza stradale;

Lo sviluppo del gemello digitale per il progetto ToMove dovrà avvenire in parallelo con la creazione del I “Digital Twin” della città, garantendo la massima interoperabilità tra i due, ed una condivisione di dati e informazione, con anche l'obiettivo di concorrere per i fondi PN Metro Plus 2021-2027.

Lo sviluppo sincronico tra i due modelli digitali prevede una suddivisione in quattro differenti fasi:

- analisi delle basi dati per definire la porzione di territorio di riferimento per il Digital Twin;
- acquisizione di fotografie e nuvole di punti necessarie per realizzare il modello 3D;
- messa in pratica di un modello in grado di ragionare secondo simulazioni ed analisi What If;
- i dati disponibili dovranno essere in continuo aggiornamento e disponibili per eventuali analisi;

L'attuazione del Digital Twin genererà anche con benefici nell'ambito della mobilità urbana, tra cui:

- incentivare i cittadini a scegliere mezzi di trasporto a basso impatti ambientale, spingendoli ad utilizzare mezzi di trasporto pubblici/collettivi;
- supportare le decisioni di pianificazione urbana e della mobilità, puntando verso una mobilità sostenibile e più smart;

- fornire dati sulle sostanze inquinanti prodotte dai veicoli che verranno intrecciati con i dati su altre fonti inquinanti, per dare ai decisori sull'organizzazione urbana dei presupposti di partenza su cui basare le proprie scelte;
- fornire informazioni aggiornate sulle condizioni del manto stradale o sugli elementi presenti in prossimità, come la segnaletica verticale ed orizzontale;

Inoltre, si può riscontrare come vi siano numerosi stakeholder che entreranno in gioco oltre al gruppo promotore, perchè in fase di progetto ci saranno momenti di confronto con organizzazioni pubbliche e private per comprenderne il potenziale. Inoltre ci si prospetta di collaborare anche con la rete europea Enoll per connettersi con altri living lab in Europa che possiedono un gemello digitale. Ultima figura fondamentale che sarà coinvolta nel progetto è quella rappresentata dai cittadini ed utenti, che saranno informati attraverso attività di divulgazione e formazione nelle scuole o attraverso l'allestimento di postazioni per l'utilizzo di strumenti di visualizzazione XR/VR, localizzazione in luoghi d'accesso pubblico per far comprendere il funzionamento del progetto.

Per quanto riguarda le possibili aree di sperimentazione, il gruppo promotore ha ipotizzato:

- le aree ZTL, perchè per una certa fascia oraria sono chiuse al traffico automobilistico e gli utenti potrebbero necessitare di un servizio di trasporto sostenibile, soprattutto nelle aree con un interesse culturale e turistico maggiore;
- le zone con una bassa copertura di TPL (Trasporto Pubblico Locale);
- le dorsali di penetrazione veicolare lungo gli assi nord/ovest/est, ipotizzando dei tratti stradali utilizzati dai veicoli privati, con annessi dei parcheggi di scambio per passare al mezzo pubblico.

Andando ad analizzare un caso più concreto in cui queste tematiche trattate sono andate a consolidarsi, ci si deve focalizzare sulle navette a guida autonoma di Navya. Si tratta della prima sperimentazione di trasporto pubblico a guida autonoma in Italia ed interessa una tratta lunga circa due chilometri (zona degli ospedali ex Molinette, Sant'Anna e CTO).



Fig. 46: Percorso sperimentazione navetta guida autonoma

Fonte: Torino Today, 08-08-2022

I partner e gli attori che hanno partecipato al progetto sono:

- GTT (gestore del servizio);
- Fondazione Links (coordinatore della sperimentazione di Torino);
- Navya;
- Ioki;
- Swarco;
- 5T;
- Città di Torino;
- Città della Salute e della Scienza;
- Reale Group;
- TIM;
- Iren;
- TTS Italia (partner istituzionali/supporter);

La sperimentazione del servizio ha avuto avvio nel mese di luglio 2022, attraverso l'utilizzo di due navette senza conducente che sono in grado di muoversi nel traffico quotidiano, prendendo in considerazione eventuali rischi ed ostacoli. La singola navetta può ospitare fino a 14 passeggeri, di cui 11 a sedere, e ha una dimensione di 4,74 metri di lunghezza e 2,11 metri di larghezza, con una velocità massima raggiungibile di 25 km/h (quest'ultima caratteristica è quella che più ha penalizzato il successo di questa tipologia di servizio senza conducente, che comunque necessita di un operatore GTT sempre presente a bordo per eventuale assistenza).



Fig. 47: Navetta Progetto Navya a guida autonoma

Fonte: Omnifurgone, 11-08-2022

4.3.2.

UTWIN TORINO: caso studio centro d'innovazione Nuvola Lavazza e scuola di Lessona

All'interno del Comune di Torino si individuano società private che stanno cercando di sfruttare i vantaggi che un gemello digitale può generare, tra queste è presente la UTwin, una società proptech che cerca di potenziare quelli che sono i dati e le informazioni sugli edifici e sulle infrastrutture della città. Lo scopo principale è quello di dare un sostegno ai proprietari, per favorire la collaborazione e avere vantaggi da un punto di vista della sostenibilità.

Il gemello digitale che ricrea la UTwin trova le basi sulla componente BIM (Building Information Modeling), fondamentale per la digitalizzazione a scala dell'edificio.

La piattaforma UTwin permette di avere una gestione centralizzata dei dati degli edifici e delle infrastrutture, archiviando e tenendo traccia di tutti i dati, fornendo la possibilità di gestire l'intero ciclo di vita dell'edificio a 360 gradi, anche con una semplice applicazione. Con il passare del tempo si potranno ridurre i costi operativi, mitigare i rischi e gestire gli edifici in modo intelligente.

UTwin vanta già numerosi progetti di cui si è occupata all'interno del territorio torinese, che ora verranno analizzati più nel dettaglio.

Nuvola Lavazza

Un primo esempio è la Nuvola Lavazza, situata in Via Bologna 32, all'interno del quartiere Aurora, inaugurato nel 2018 e con una dimensione di 30mila metri quadri. Quando si parla della sua progettazione non ci si deve soffermare solo sulla struttura dell'edificio, ma anche dell'effetto che ha comportato nell'area circostante, avendo ridisegnato il perimetro dell'area tagliata da via Bologna, largo Brescia, corso Palermo e via Ancona.

I due principali obiettivi che hanno portato alla realizzazione della Nuvola Lavazza sono:

- un progetto di riqualificazione del quartiere Aurora;
- avere un'unica sede degli uffici Lavazza;



Fig. 48: Nuvola Lavazza Torino (quartiere Aurora)

Fonte: Turismo Torino, 29-05-2023

Si tratta di un edificio che vanta le migliori tecnologie domotiche e di comunicazione wireless, non a caso ha ottenuto la certificazione LEED GOLD, per le sue prestazioni energetiche ed ambientali.

Lo scopo di UTwin per questo progetto è stato quello di creare un Digital Twin a partire dall'edificio esistente, dando la possibilità di effettuare anche tour virtuali a 360 gradi a fini commerciali. I vantaggi che ne comporta sono i seguenti:

- i dati sono affidabili e più facilmente trasmissibili, grazie ad un formato facilmente utilizzabile;
- facilità le attività di manutenzione;
- favorisce la collaborazione trattandosi di informazioni raccolte in un unico ambiente;
- disponibilità di tutti i dati e i documenti sull'edificio;

Centro di Innovazione Lavazza

Sempre per quanto riguarda l'azienda Lavazza, la collaborazione con l'associazione UTwin ha interessato anche il Centro di Innovazione Lavazza, reparto di ricerca e sviluppo, attraverso tre settori:

- ricerca e selezione delle materie prime del caffè;
- macchine e impianti;
- materiali e packaging;

Si tratta dell'edificio situato in strada di Settimo (Famolenta), con una dimensione di 7500 metri quadri, all'interno del quale nascono tutte le idee innovative per l'azienda, infatti è dotato di un Ufficio Brevetti interno per le soluzioni sviluppate per i tre settori sopracitati. Ci lavorano circa un centinaio di dipendenti e è formato da aule, uffici, laboratori progettati nel rispetto dei principi di sostenibilità, trasparenza e comfort. Ospita tre direzioni:

- ricerca e sviluppo;
- progettazione di macchine e impianti;
- training center (centro formazione).



Fig. 49: Centro Innovazione Lavazza (Famolenta)

Fonte: Civiltà del Bere, 09-10-2010

Per questo progetto UTwin si è occupata di realizzare un gemello digitale sulla base dell'edificio già esistente, realizzando un sistema in grado di effettuare tour virtuali all'interno per scopi commerciali, come per la Nuvola Lavazza. Inoltre è stato fornito un accesso UTwin integrato con i precedenti sistemi gestionali.

I vantaggi che ne comporta sono:

- semplificazione delle procedure di manutenzione;

- riduzione costi e tempistiche delle attività di facility management;
- memorizzazione delle informazioni in un unico ambiente per facilitare la cooperazione;
- aumento della produttività;
- facilitazione della collaborazione tra le arti grazie all'utilizzo di un unico canale di comunicazione.

Scuola di Lessona

Ultimo progetto analizzato di Torino su cui l'associazione UTwin ha dato il suo contributo riguarda la scuola di Lessona, situata in Corso Regio Parco 19. Venne costruita nel 1923 e oggi possiede 30 aule, un'officina per il corso popolare, una palestra, un refettorio e altri locali speciali per dirigenti, insegnanti e custodi.

All'interno di questa scuola è stata applicata la tecnologia Enerbrain, fondamentale per ridurre consumo energetico degli impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria, grazie a soluzioni intelligenti che sfruttano le tecnologie IoT e in Cloud.



Fig. 50: Scuola di Lessona (Torino)

Fonte: IC Regio Parco, 12-02-2019

Per la scuola di Lessona è stato realizzato un Digital Twin sulla base dell'edificio esistente, dando anche la possibilità di effettuare tour virtuali a 360 gradi per motivi commerciali. Inoltre è stato dato l'accesso UTwin per la gestione delle strutture e il monitoraggio IoT.

I vantaggi che ha portato:

- semplificazione delle procedure di manutenzione;
- riduzione tempi per attività di facility management;
- rafforza la cooperazione;
- possibilità di aggiornare la documentazione, per comprendere quelli che possono essere gli eventuali interventi da dover effettuare sull'edificio.

I progetti di cui UTwin si è occupata sono molteplici, visto che vanta 10 anni di esperienza nel mondo del Digital Twin, con oltre 1 milione di metri quadri digitalizzati in vari paesi, tra cui Italia, Spagna ed Emirati Arabi Uniti, ma in questo capitolo ci si è soffermati solamente su alcuni esempi d'interesse per la città di Torino.

4.3.3.

CO.R.IN.TE.A SOC. COOP, cooperativa per la ricerca delle innovazioni tecnologiche in agricoltura

Durante il corso del tirocinio svolto, è stato possibile collaborare con Co.R.In.Te.A, una società partner del Politecnico di Torino con cui sono stati svolti dei rilievi attraverso l'utilizzo di nuove tecnologie a loro disposizione.

Co.R.In.Te.A nasce nel 1984 con l'obiettivo di studiare e valorizzare il territorio, affrontando le varie tematiche in maniera multidisciplinare, sotto il profilo agronomico, ambientale, turistico, culturale, economico e sociale. Anche questa azienda svolge un ruolo fondamentale nella realizzazione del Digital Twin, perché i loro lavori, successivamente analizzati, sono svolti attraverso l'uso di tecnologie in grado di ricreare fotogrammi o nuvole di punti, alla base della creazione di un gemello digitale.

Grazie alla disponibilità dei suoi membri, è stato possibile discutere dei principali progetti di cui si occupano e delle strumentazioni a loro disposizione.

Il primo progetto di cui si è discusso dettagliatamente riguarda la panoramica che porta a Superga, di cui è stato effettuato un rilievo per ottenere informazioni sulle piante in prossimità della strada.

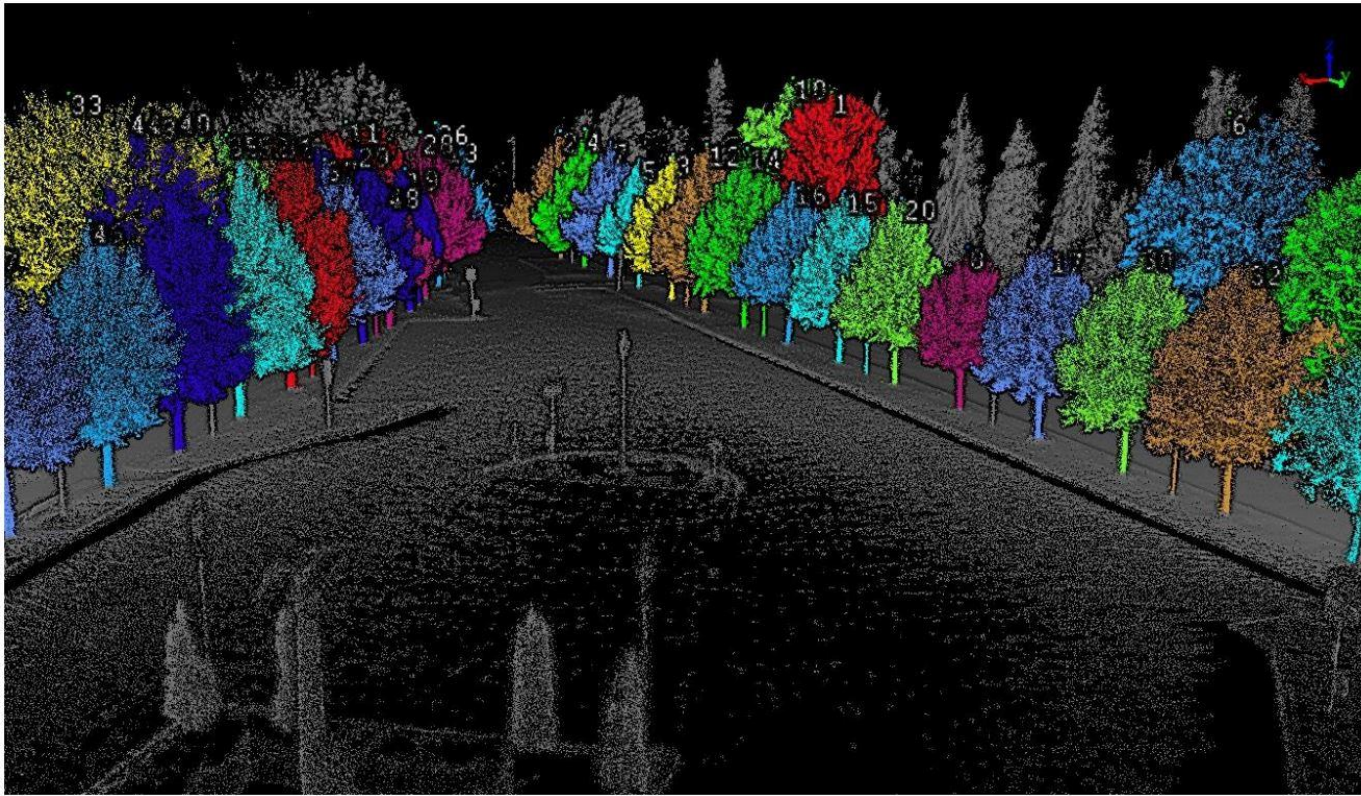


Fig. 51: Nuvola di punti con classificazione alberi parcheggio Superga

Fonte: Portfolio Co.R.In.Te.A., 29-05-2023

Il rilievo è stato realizzato con l'ausilio di un Laser Scanner SLAM Mobile, riuscendo ad ottenere velocemente numerose informazioni sull'intero tratto stradale analizzato e sull'area stradale di fronte a Superga. I dati ottenuti vengono elaborati con gli appositi programmi, scalando e colorando la nuvola di punti. In questo modo si ottengono informazioni biometriche sulle alberature, creando un database allo stato di fatto delle alberature con un'accuratezza intorno ai 5 cm. Successivamente i dati sono stati processati sul programma QGis, potendo attribuire ad ogni albero un punto che ne indica la posizione esatta e si creerà un centroide attorno al tronco sulla base dell'altezza e del diametro di quest'ultimo, in modo da riuscire ad effettuare delle riflessioni. Il principale obiettivo che si sono posti era quello di individuare le aree più soggette a rischio caduta: per esempio, per l'area del parcheggio di Superga, sono stati realizzati cerchi attorno agli alberi

di dimensioni differenti in base alle loro caratteristiche, in modo da intrecciare i dati per ogni pianta e ottenere il rischio che si crea nell'area sottostante, che risulta essere maggiore nelle aree con una vegetazione più fitta. In queste porzioni di territorio si potrà evitare di inserire panchine, cestini o lampioni, essendo soggetti ad un rischio maggiore.

Ad oggi si stanno sperimentando nuove tecnologie che riescano a fornire a questa velocità un dato ancora più dettagliato, ad esempio l'utilizzo di un'intelligenza artificiale in grado di comprendere la tipologia di pianta che viene ripresa, ma per ora si basa sulla fotogrammetria, che permette comunque di osservare digitalmente ampie aree e riconoscere manualmente le tipologie di piante.

L'utilizzo di una strumentazione di rilievo in grado di muoversi e di fornire nuvole di punti porta ad avere un grande vantaggio sulle tempistiche di aggiornamento del dato, perché attraverso l'utilizzo di un altro rilievo è possibile effettuare un confronto rapidamente, chiamato change detection, che confronta le nuvole di punti ed è in grado di comprendere i cambiamenti che si sono stati. In questo modo è possibile vedere quali alberi si sono spostati, valutandone il rischio di una futura caduta.

Questa metodologia di lavoro di Co.R.In.Te.A. in sintesi può avere più ambiti di applicazione:

- gestione e manutenzione delle aree verdi e delle aree urbanizzate;
- misurazioni dendrometriche;
- identificazione alberature a rischio caduta;
- valutazione accumulo materiale vegetale sul terreno;
- individuazione dei volumi legnosi a terra;
- monitoraggio della crescita a seguito della piantumazione;
- monitoraggio dello stato fitosanitario della vegetazione;
- valutazione del contenuto di umidità del suolo;

Come anticipato, si stanno sperimentando nuove tecnologie di intelligenza artificiale in grado di riconoscere gli oggetti raccolti dai rilievi, ed è il caso di Dream, con il quale Co.R.In.Te.A sta collaborando per il riconoscimento degli oggetti sul suolo pubblico, come bidoni, panchine, lampioni o oggetti simili. Anche se ciò non è ancora possibile ad oggi, si stanno impegnando nell'effettuare un database spaziale tridimensionale dell'arredo pubblico, attraverso una catalogazione manuale per adesso. I possibili ambiti di applicazione di questa tipologia di intervento sono:

- formazione del catasto stradale;
- rilievo caratteristiche geometriche della carreggiata;
- mappatura dell'illuminazione pubblica;
- mappatura della segnaletica stradale verticale;

I rilievi che Co.R.In.Te.A effettua possono essere realizzati anche ad una scala più di dettaglio, infatti si è occupata anche di progetti a scala di edificio, con l'obiettivo di fornire piante, prospetti e sezioni utili per il ridisegno in programmi come AutoCAD o Revit. Si tratta di una scala in cui possono essere usati sia strumentazioni Laser Scanner SLAM, permettendo di muoversi tra le varie stanze, ma anche Laser Scanner Terrestri, che forniscono una precisione millimetrica, ma che si basano su una serie di scansioni singole in punti precisi. Gli ambiti di applicazione di queste strumentazioni a scala di edificio sono molteplici:

- Realizzazione piante, prospetti e sezioni;
- Realizzazione di modelli BIM;
- Ristrutturazioni;
- Studi di fattibilità;
- Pratiche edilizie;
- Pratiche catastali;

- Progettazione;
- Facility management;
- Perizie estimative;
- Design di interni;
- Virtual tour;
- Corsi di formazione sicurezza sul lavoro;
- Stato avanzamento lavori.

Discutendo con i membri di Co.R.In.Te.A si è appreso quanto sono ampi gli ambiti d'applicazione di queste strumentazioni, trattandosi di una società che ha lavorato, o si rende disponibile a lavorare, in numerosi altri ambiti oltre a quelli sopracitati:

- rilievo edilizio esterno con fotogrammetria, attraverso l'utilizzo di un aeromobile a pilotaggio remoto (APR), per realizzare rappresentazioni delle porzioni esterne degli immobili edilizi;
- rilievo fotogrammetrico da terra, attraverso l'utilizzo di fotocamere full frame ad alta risoluzione per rappresentare con un'elevata accuratezza gli elementi architettonici interni di un edificio;
- rilievo della rete sentieristica, con strumenti in grado di raccogliere dati fotogrammetrici e nuvole di punti in movimento, con obiettivi simili a quelli del caso sopracitato di Superga;
- rilievo di frane e pendii soggetti ad instabilità attraverso l'uso di APR, per raccogliere dati sullo stato di fatto ed analizzare eventuali cambiamenti (con questa metodologia si possono produrre ad esempio profili piano altimetrici, curve di livello ed altro);
- rilievi su cave e miniere attraverso Laser Scanner Slam, per ottenere informazioni sui volumi estratti o sui blocchi instabili;

- rilievo di corpi idrici con l'intreccio di più strumentazioni, ottenendo informazioni sul fiume, sugli elementi vicini e sui possibili rischi;
- rilievo di discariche e cumuli di rifiuti;
- rilievi post incendio, fondamentali in caso di pericolo per ottenere rapidamente informazioni o per prevenirli;
- rilievi in ambito energetico, attraverso APR per studiare dimensione e esposizione delle coperture degli edifici, in modo da favorire la progettazione di pannelli fotovoltaici o solari;
- rilievi sullo stato d'avanzamento lavori (S.A.L.), in modo da comprendere, attraverso l'uso di Laser Scanner Slam, il cronoprogramma di cantiere senza interromperlo;
- rilievi multispettrali delle coltivazioni, con strumenti APR e ulteriori tecnologie che permettono di migliorare la resa delle colture e ridurre i costi di gestione;
- rilievi per la ricostruzione dinamica degli incidenti, facilitando le fasi investigative grazie alla disponibilità di un modello digitale dell'avvenimento.

Data l'ampia varietà di situazioni in cui Co.R.In.Te.A può lavorare, deve disporre di tecnologie differenti che siano in grado di rispondere alle numerose esigenze a seconda del caso studio. La strumentazione di cui dispongono è composta da:

- GeoSLAM Horizon RT;
- Gexcel Heron LITE Color RTK;
- DJI Mavic 3 Multispectral;
- Zenith 60;
- Faro Focus M70.

4.3.4.

Incontro URBAN LAB: Città parallel-e-spazi urbani e intelligenza artificiale

Oltre alla componente tecnica, è fondamentale comprendere quelli che sono gli aspetti sociali che un Digital Twin può influenzare in quanto alla base del suo funzionamento risiede l'intelligenza artificiale. Queste tematiche sono state trattate durante l'incontro svolto dall'associazione Urban Lab, essendo fondamentale sensibilizzare i cittadini su tali questioni anche per un discorso formativo. Si tratta di un'associazione autonoma che si pone come obiettivo quello di trattare i processi di trasformazione di Torino, attraverso divulgazione, dibattiti e documentazioni rese disponibili per i cittadini. Urban Lab organizza incontri per discutere di trasformazioni urbane e delle sue architetture, attraverso discussioni tra esperti, lavoratori in ambiti inerenti e cittadini semplicemente interessati alle tematiche trattate.

L'11 maggio è stato svolto l'incontro "Città parallel-e - spazi urbani e intelligenza artificiale", in collaborazione con Enaip Piemonte, partner del progetto Parallel-e, in cui gli studenti di turismo dei centri Enaip di Torino e Nichelino si sono occupati del ridisegno dei luoghi della loro socialità, attraverso un'interpretazione personale che porti ad un loro miglioramento/innovazione.

Successivamente, sulla base delle riflessioni ottenute dalle rappresentazioni degli studenti, sono stati svolti gli interventi da parte degli esperti in materia:

- Fabio Malagnino: esperto di digitale e di comunicazione pubblica;
- Tommaso Listo: studioso di pratiche progettuali;
- Sergio Pace: storico dell'architettura;

In questo modo è stato possibile comprendere quelle che sono le esigenze sociali e le innovazioni tecnologiche che possono trovare una loro interpretazione per l'organizzazione delle città future.

Il lavoro di Enaip ha portato come risultato finale una riflessione su quelle che sono le sensazioni che i loro studenti percepiscono verso gli spazi privati e gli spazi pubblici, comprendendo quelle che sono gli spazi e le sensazioni di cui necessiterebbero in una corretta organizzazione urbana:

- senso di appartenenza;
- rapporto con l'ambiente che si concretizza con la necessità di aree verdi o di un corretto rapporto tra urbanizzato e parchi;
- spazi per la condivisione e per favorire l'incontro e la socialità;
- qualità dell'arredo urbano;

I risultati ottenuti sono serviti come spunto di riflessione perché l'urbanistica, attraverso la creazione di un Digital Twin e con l'utilizzo dell'intelligenza artificiale, non deve prendere in considerazione solo gli aspetti tecnici, ma anche quelli sociali, comprendendo quelle che sono le città future che i giovani, vale a dire le generazioni future, vorrebbero avere.

Il Digital Twin svolgerebbe un ruolo fondamentale, perché sarebbe in grado di immagazzinare tutte le informazioni all'interno di un unico modello che, prendendo in considerazione anche i bisogni sociali, permetterebbe di guidare la progettazione nella direzione più corretta. Alla base del suo funzionamento l'intelligenza artificiale è fondamentale, e durante l'incontro sono state discusse le sue potenzialità e i suoi rischi:

- ad oggi le nuove tecnologie permettono una raccolta dati sempre più elevata, riuscendo a fornire moltissime informazioni che saranno sempre

più in crescita, fino a quando si arriverà ad ottenere due volte al giorno la stessa quantità di dati ottenuti fino ad oggi;

- l'intelligenza artificiale è in grado di analizzare rapidamente molti più dati rispetto ad una persona.

Inoltre, nel corso dell'incontro sono stati analizzati anche i rischi che può comportare l'utilizzo di un modello che basa il suo funzionamento su scelte prese da un'intelligenza artificiale:

- le anomalie che l'IA può registrare se percepisce comportamenti anomali o differenti da quelli che gli sono stati registrati;
- il fatto che l'IA è programmata da qualcuno, per questo motivo è fondamentale mettere al centro i cittadini per evitare comportamenti che facciano favoritismi o distinzioni;
- la vendita delle informazioni raccolte, visto che i dispositivi di raccolta dati condivisi sono sempre più in crescita e c'è il rischio di fornire informazioni sensibili;

Le riflessioni finali hanno portato come risultato alla complessità di definire un sistema che in futuro si baserà sull'intelligenza artificiale per due motivi fondamentali:

- il fatto che siano disponibili sempre più dati, non significa che siano sufficienti al funzionamento di un sistema così complesso, visto che dalle esperienze degli esperti è stato possibile comprendere la quantità elevata di dati che servirebbero: si sono occupati della realizzazione di un gemello digitale di musei inesistenti, in modo da creare un modello tridimensionale che permetta una visita tridimensionale a fini commerciali, ma è stata sperimentata anche l'intelligenza artificiale per la scelta delle opere da

esporre al loro interno, con risultati non soddisfacenti data la mancanza di dati sufficienti ad ottenere risultati certi;

- si parla di un futuro in cui saranno presenti nuovi strumenti di raccolta dati, nuove esigenze, nuove problematiche che non è possibile prevedere a priori, per questo motivo non è possibile effettuare delle riflessioni sicure ad oggi;

Il Digital Twin, come già anticipato, basa il suo funzionamento sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale, che ne ridurrebbe costi e tempistiche di gestione dei dati. Un esempio pratico è il caso di Superga su cui ha lavorato Co.R.In.Te.A, nella quale l'IA avrebbe potuto dare un valido supporto nell'individuazione della tipologia di piante che si affacciano sulle strade rilevate.

Il presupposto su cui si basa l'utilizzo dell'IA come supporto del Digital Twin è, come discusso durante l'incontro, che il suo funzionamento non sia influenzato da interessi personali, ma che venga programmata con l'obiettivo di perseguire quelli di tutti, senza effettuare distinzioni. Ad esempio si evidenzia il caso delle periferie torinesi che, nella maggior parte dei casi, hanno subito processi di pianificazione urbana gestiti con meno attenzione rispetto al centro città.

Ad oggi non si è ancora in grado di fornire all'IA i numerosi dati di cui necessita per funzionare autonomamente, ma affiancata al lavoro umano può fornire un valido aiuto, anche se ci sono pareri discordanti sul suo utilizzo, visto che c'è chi ne teme il potenziale ed i conseguenti rischi.

Si è quindi scelto di analizzare nel dettaglio alcuni progetti, come ToMove, o società/associazioni, come Co.R.In.Te.A, Urban Lab e UTwin, per dimostrare che, anche se Torino non dispone ancora di un gemello digitale che ricopra l'intera superficie territoriale, si sta comunque muovendo in questa direzione, essendoci

numerosi altri casi studio torinesi che non sono stati trattati, ma che cavalcano lo sviluppo tecnologico per muoversi verso un gemello digitale funzionale.

4.4.

Confronto tra le città italiane ed estere

Analizzando nel dettaglio la città di Torino, Milano e Genova, è stato possibile comprendere quelli che sono gli obiettivi raggiunti fino ad oggi e quali sono le loro principali esigenze e problematiche.

Ad aver effettuato i voli e i rilievi terrestri per la realizzazione di un Digital Twin dell'intera città, sono soltanto Milano e Genova, ma attraverso approcci differenti, trattandosi di territori con caratteristiche differenti e esigenze diverse. Genova riscontra delle problematiche legate alla sua posizione geografica e alla sua conformazione territoriale, che la portano ad effettuare analisi che prendano in considerazione la componente ambientale in maniera più vincolante per la sua organizzazione urbana.

Il fatto che Torino non abbia ancora effettuato un rilievo che riguardi l'interezza del suo territorio non vuole far intendere che non si interessi a queste tematiche, infatti sono numerosi i progetti di rilievo e di realizzazione di modelli digitali che rappresentino una copia della componente fisica. Non a caso, come già detto in precedenza, Torino è posizionata al terzo posto nella classifica delle città più a misura d'uomo secondo la ricerca EY Human Smart City Index 2022.

Oltre a confrontare le tre città italiane, è importante effettuare delle riflessioni su quello che le accomuna e le differenzia con i casi esteri visti, cioè la città di Zurigo, Singapore e Zagabria. Come prima cosa è fondamentale sottolineare che, nella realizzazione dei modelli tridimensionali delle città italiane ed estere, c'è stata sempre partecipazione da parte delle università locali, che hanno collaborato con gli enti responsabili dei vari progetti.

Ciò che accomuna le città estere tra di loro, differenziandole dai casi italiani, è l'impegno nella realizzazione del modello tridimensionale già in anni più lontani, riferendosi come massimo al 2011. Ad esempio, Zagabria possiede un proprio modello della città dal 2010, della quale il progetto è stato avviato già nel 2008 (risultato delle foto aeree, linee dei tetti e DTM, avendo utilizzato la tecnologia LIDAR solo nel 2012), mentre Zurigo ha realizzato il suo 3D definitivo già nel 2011. Le città italiane si ritrovano ancora indietro su queste tematiche, essendosi interessate a riguardo solo in anni più recenti e trattandosi di progetti che, anche nei casi esteri analizzati, necessitano di anni di lavoro per raggiungere un risultato definitivo.

Una tematica che accomuna tutte le città prese in analisi, sia estere che italiane, è l'importanza della partecipazione da parte di più enti e dei cittadini. In Italia, non avendo ancora raggiunto risultati definitivi, risulta ancora complesso definire i soggetti che hanno dato il loro contributo nella realizzazione dei 3D urbani, ma dai casi esteri si è compresa l'importanza di avere il contributo di più soggetti. Ad esempio, per Zurigo c'è stata la partecipazione da parte di "City of Zurig" ed altri 25 partner per gestire l'aggiornamento ed il coordinamento del modello realizzato, con la necessità di prendere sempre in considerazione i cittadini che la vivono e possono fornire il loro contributo. Prerogativa che accomuna tutte le città studiate è l'accessibilità dei dati per tutti, fondamentale per ottenere informazioni il più possibile complete e per semplificare le procedure d'aggiornamento del modello realizzato. Quest'ultima questione trattata è la chiave per avere un gemello digitale che sia efficace nel tempo, per questo motivo tutte le città analizzate, alcune più avanti di altre, stanno trovando soluzioni per tenere

aggiornate le informazioni raccolte, e ciò avviene principalmente in due modi, che si adattano alle situazioni della singola città di riferimento:

- attraverso l'inserimento di sensori in grado di raccogliere sempre più dati. E' stato discusso durante l'incontro nella sede di Urban Lab il fatto che si tratta di dispositivi sempre più in crescita come numero;
- attraverso la partecipazione di cittadini e proprietari dei servizi, che forniscono informazioni aggiornate con tempistiche specifiche. Un esempio è il caso di Zurigo, dove ogni settimana i proprietari di servizi all'interno della città devono fornire informazioni aggiornate.

Con un confronto tra città italiane ed estere si potrebbe pensare che le motivazioni che le hanno portate a realizzare un modello 3D urbano siano differenti, ma è stato riscontrato dagli obiettivi che puntano a soddisfare con il Digital Twin, che sono molto simili tra loro. Ogni città ha caratteristiche diverse, quindi gli obiettivi comuni sono comunque da considerarsi adattati alle loro esigenze, ma si riconosce sempre una ricerca nei seguenti ambiti:

- ambientali, con particolare attenzione alle isole di calore, ai rischi idrogeologici, alle aree verdi, ai rischi di dissesto territoriale. Ad esempio, a Milano si stanno occupando di inserire vasche di laminazione o tetti verdi, come l'esempio del policlinico. Altro esempio è il caso di Singapore, anch'essa molto attenta agli aspetti climatici ed ambientali a causa della sua posizione, essendo localizzata a solo un grado a nord dall'equatore, dove è costantemente caldo e umido tutto l'anno, oltre al fatto che è priva di foreste;
- mobilità, sia da un punto di vista di sostenibilità che di organizzazione. Disporre di un gemello digitale della città completo significa disporre anche di dati sulla mobilità, fondamentali per poter effettuare interventi di

gestione del servizio, organizzando il sistema dei semafori, le corsie per i mezzi di soccorso o ad esempio il traffico in orari di punta o a causa di incidenti. Se queste componenti vengono gestite correttamente è possibile organizzare gli spostamenti in modo da ridurre l'inquinamento che provoca, anche attraverso la messa in pratica della mobilità autonoma, di cui alcune città analizzate se ne stanno occupando. Ad esempio a Singapore la mobilità autonoma è un progetto in corso già da tempo, che si cerca di rendere standard entro il 2025, attraverso la messa in rete dei veicoli tra di loro e dei veicoli con il sistema infrastrutturale. Torino in alcuni ambiti risulta indietro rispetto alle altre città prese in analisi, ma anche lei si sta interessando a questa tematica, ad esempio con il progetto ToMove precedentemente trattato, diventando una delle prime città italiane di sperimentazione di questa nuova tecnologia;

- consumo territoriale, uno dei temi che accomuna tutte le città prese come riferimento, trattandosi di città densamente edificate, di grandi dimensioni e con la popolazione in crescita. Sono tutte città che hanno caratteristiche territoriali differenti, dovendo prendere in considerazione aspetti ambientali, topografici e idrici differenti, ma che pongono attenzione alla riduzione del consumo di suolo. Si differenziano solamente nel modo in cui si approcciano a questa tematica: alcune città, come Torino, cercano di riutilizzare gli spazi esistenti rimasti abbandonati, ad esempio a causa della deindustrializzazione, mentre altri puntano sullo sviluppo verticale, costruendo edifici di dimensioni sempre maggiori;
- la componente del sottosuolo, una delle principali tematiche in cui risulta complesso la raccolta dati per la realizzazione di un modello che la consideri. Attraverso i rilievi effettuati a terra, con veicoli o a piedi, e i voli aerei, risulta complesso ottenere informazioni su ciò che sta sotto terra,

ma alcune città analizzate si sono sviluppate in maniera stratificata, come Genova, o comunque tutte dispongono di servizi sotterranei, per questo è fondamentale raccogliere dati anche su questa componente per avere un gemello digitale completo;

- la realtà virtuale, in grado di dare un valido supporto in più settori, di cui molte delle città analizzate ne fanno uso, ma in ambiti differenti. Ad esempio è stato visto per il caso di Torino come questa tecnologia viene utilizzata per fini progettuali, ma anche commerciali e pubblicitari, riferendosi alla startup UTwin, che ha realizzato il modello visualizzabile in realtà aumentata ad esempio della Nuvola Lavazza. Altro caso è quello di Zurigo, che sfrutta questa tecnologia per i concorsi d'architettura o di urbanistica, rendendo osservabili, e maggiormente comprensibili, i progetti in realtà aumentata.

Si è scelto di trattare questi punti per dimostrare che, indipendentemente dal metodo adottato, dalle tecnologie utilizzate, dagli obiettivi raggiunti fino ad oggi e dalle caratteristiche che contraddistinguono le città, il gemello digitale è uno strumento fondamentale per l'organizzazione della città a 360 gradi, indipendentemente dalle componenti che si sceglie di analizzare, che in ogni caso sono le medesime trattate da parte di ogni città.

Dagli incontri svolti e dalle ricerche effettuate è stato possibile comprendere quali sono i singoli ambiti d'intervento in cui le città utilizzerebbero le grandi potenzialità del Digital Twin, chi per tenere sotto controllo aspetti più ambientali e chi più progettuali o urbanistici, ma per tutte le città analizzate svolgerebbe un ruolo fondamentale, portando ad avere una riduzione delle tempistiche, dei costi, favorendo la collaborazione multidisciplinare e avvicinandole alla nomina di Smart City, spesso utilizzata in maniera scorretta.

Nelle tabelle sottostanti viene mostrata una sintesi delle questioni appena trattate che accomunano o differenziano le città italiane ed estere.

		Città italiane		
		Torino	Milano	Genova
Tematiche	Realizzazione modello tridimensionale città	Progetto in fase d'avvio	Progetto in lavorazione (avvio nel 2 maggio 2022 e conclusione 31 luglio 2023)	Progetto realizzato (primo volo nel 2018; volo LIDAR 2022)
	Principali difficoltà individuate	<ul style="list-style-type: none"> > disinformazione su posizione esatta degli oggetti sul suolo pubblico > difficoltà nell'aggiornamento dei dati > necessità di dati standardizzati per semplificarne la trasmissione 	<ul style="list-style-type: none"> > aumento delle temperature > bassa ventilazione > carenza aree verdi > fenomeni di esondazione > velocità cambiamento attività commerciali 	<ul style="list-style-type: none"> > conformazione territoriale > rischio idrogeologico > competenze differenti in vari ambiti > sviluppo stratificato > presenza di servizi sotterranei
	Principali obiettivi ad oggi	<ul style="list-style-type: none"> > realizzazione catasto suolo pubblico > semplificazione processi urbanistici e progettuali > semplificare procedure d'aggiornamento dei dati > sperimentazione mobilità autonoma 	<ul style="list-style-type: none"> > semplificare ed accelerare le procedure d'aggiornamento dei dati > semplificare processi urbanistici e progettuali 	<ul style="list-style-type: none"> > semplificare procedure d'aggiornamento dei dati > semplificare procedure urbanistiche e progettuali > prevenzione rischio alluvioni e frane > valorizzazione cimitero monumentale > raccolta dati sulla componente sotterranea > gestione della mobilità (es. ciclabili e tunnel subportuale)

Tab. 3: Caratteristiche città italiane a confronto
Fonte: Elaborazione propria, 12-6-2023

		Città estere		
		Zurigo	Singapore	Zagabria
Tematiche	Realizzazione modello tridimensionale città	Progetto realizzato (primo 3D del 2011)	Progetto realizzato (avviato nel 2014 e concluso nel 2018)	Progetto realizzato (primo 3D del 2008)
	Principali difficoltà individuate	<ul style="list-style-type: none"> > aumento popolazione > consumo di suolo > stress/termico > siccità > rischi allagamento > pendii instabili > inquinamento 	<ul style="list-style-type: none"> > posizione geografica (caldo e umido) > isola di calore > cambiamento climatico > carenza aree verdi > aumento popolazione 	<ul style="list-style-type: none"> > terremoti che hanno colpito la città portando alla necessità di ricostruzioni > pessima gestione nella raccolta dei rifiuti
	Principali obiettivi ad oggi	<ul style="list-style-type: none"> > migliorare connessione ed aggiornamento dei dati > interconnessione tra BIM e GIS migliore > raccolta dati su parti sotterranee > creare catasto 3D > registrazione sistematica arredo urbano 	<ul style="list-style-type: none"> > aumentare coperture verdi > raccolta informazioni sul sottosuolo > mobilità autonoma standard dal 2025 > aumentare partecipazione nei processi decisionali 	<ul style="list-style-type: none"> > valutazioni della qualità dei dati raccolti > sviluppo di un'applicazione per visualizzare modello 3D > continui aggiornamenti al modello 3D per renderlo più complesso

Tab. 4: Caratteristiche città estere a confronto
Fonte: Elaborazione propria, 12-6-2023

5

Caso pratico: rilievo piazzale Stadio Grande Torino

Per comprendere al meglio le potenzialità delle nuove tecnologie e i loro ambiti di utilizzo, in questo capitolo è stato esaminato nel dettaglio il caso pratico dello stadio Olimpico Grande Torino, della quale sono stati effettuati i rilievi attraverso l'uso di strumentazioni terrestri ed aeree, e le conseguenti elaborazioni dei dati raccolti con gli appositi programmi.

Lo stadio è situato in Via Filadelfia 96/b, all'interno del Parco Cavalieri di Vittorio Veneto "Piazza d'Armi". Venne inaugurato nel 1933 con il nome di Stadio municipale Benito Mussolini, poi il nome venne continuamente cambiato fino al 2005 con l'arrivo dei Giochi olimpici invernali dove ha preso la nomina attuale. Si tratta di una struttura che ospita prevalentemente eventi calcistici, ma ospita anche partite di rugby o altre attività extra-sportive, per questo motivo si necessita di una corretta mappatura dell'area circostante e degli elementi che la compongono, in modo da poter gestire al meglio i flussi che questi eventi comportano all'esterno dello stadio. Bisogna gestire il posizionamento dei paninari o altri servizi che si localizzano ai cancelli dello stadio, i flussi di persone, il traffico e i parcheggi delle auto. E' fondamentale, per una corretta gestione dei temi appena trattati, conoscere gli oggetti fissi presenti sul suolo circostante, come ad esempio i lampioni, la vegetazione, i cestini, o altri elementi che compongono l'area e che ne possono influenzare l'organizzazione.

Queste motivazioni hanno portato ad effettuare dei rilievi attorno all'area dello stadio Olimpico Grande Torino, attraverso tecniche di rilievo terrestri ed aeree, della quale i dati sono stati intrecciati. In questo modo è stato possibile avere una rappresentazione tridimensionale, grazie ai dati fotogrammetrici e alle nuvole di punti, che hanno dato la possibilità di mostrare le potenzialità di un modello digitale.

5.1

Tecniche di rilievo

I rilievi effettuati attorno all'area dello stadio Olimpico Grande Torino sono stati realizzati con tre strumentazioni, di cui alcune utilizzate in giornate differenti.

Il primo rilievo effettuato è stato realizzato il 20 febbraio, attraverso l'utilizzo del drone DJI Mini 2, grazie al quale si è potuto effettuare un rilievo fotogrammetrico e la creazione di una nuvola di punti. Il volo è stato realizzato ad un'altezza di 20 metri, programmando il piano di volo anticipatamente.

Per avere un sistema di georeferenziazione bisognava andare a posizionare otto target fondamentali per effettuare il volo, localizzati all'interno dell'area di interesse. Per ognuno è stato necessario effettuare una loro registrazione attraverso il ricevitore GNSS S9III PLUS, che è stato posizionato al centro del target, è stato messo in bolla, ed attraverso la relativa applicazione sono stati registrati i vari punti di riferimento per il volo.

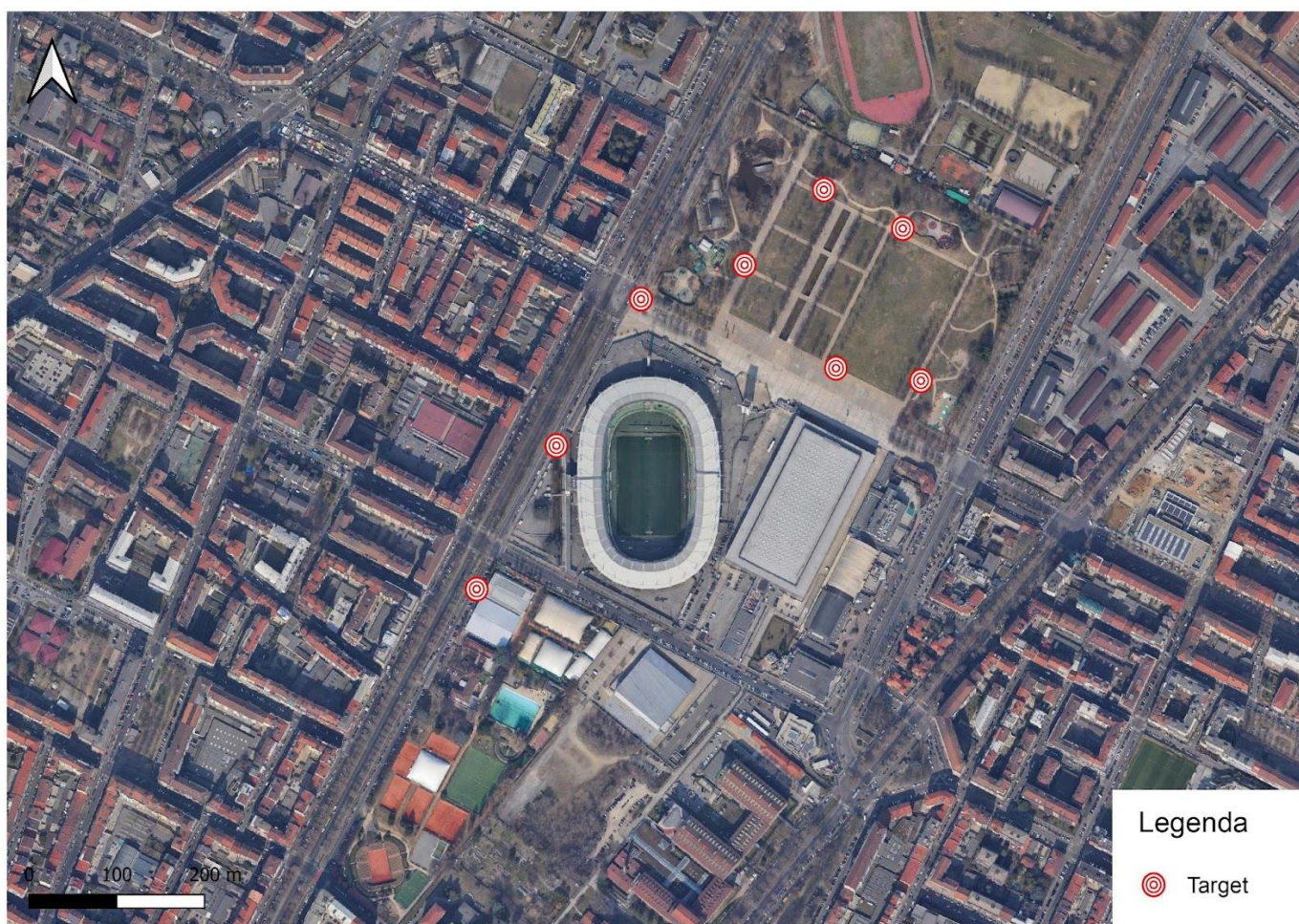


Fig. 52: Area Stadio Olimpico Grande Torino, posizione target per rilievo drone

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Nell'immagine soprastante sono visibili i punti esatti in cui sono stati posizionati i target, che devono rispettare le seguenti caratteristiche:

- devono essere realizzati in una colorazione particolarmente visibile, in modo che si distinguano facilmente dalla superficie (in questo caso erano di colorazione giallo acceso);
- devono essere posizionati in luoghi senza coperture che possano influenzarne la visibilità dal drone, come piante o tettoie.

Dopo questa fase è possibile iniziare il volo, che, anche se programmato in precedenza, deve essere tenuto sempre sotto controllo dal pilota, nel caso ci fossero eventuali problematiche riguardanti i permessi di volo, la batteria del drone o qualsiasi altro imprevisto.



Fig. 53: A sinistra drone DJI Mini 2, a destra ricevitore GNSS S9III PLUS

Fonte: sopralluogo, 20-02-2023

Com'è visibile dalle foto soprastanti, si trattava di una giornata di nebbia, ma risulta complesso riorganizzare il rilievo a causa dei permessi di volo richiesti per alcune zone. Questo fattore meteorologico ha influenzato la qualità del dato ottenuto,

Questi fattori hanno portato problematiche al piano di volo programmato in precedenza, per questo è stato necessario tracciarne uno nuovo grazie ai computer presenti al punto di ritrovo. In questo modo è stato possibile ridefinire i seguenti fattori:

- il tracciato che il drone deve seguire, dovendo effettuare un volo a linee parallele per ricoprire l'intera area di interesse;
- l'altezza a cui volare;

- la velocità;
- l'intervallo ogni quanto effettuare le fotografie, definibile o in secondi o in metri;

La seconda giornata di rilievo è stata effettuata il 23 marzo, in collaborazione con la società cooperativa Co.R.In.Te.A., grazie alla quale è stato possibile sperimentare l'utilizzo di strumentazioni innovative. I rilievi effettuati sono stati due, entrambi terrestri, attraverso l'utilizzo di due tecnologie differenti:

- il GeoSlam ZEB Horizon RT, prestato dalla società cooperativa Co.R.In.Te.A., in grado di fornire 300.000 punti al secondo, con un'accuratezza di 6mm e una portata di 100 metri
- il Laser Scanner Trimble X7, posizionato su un treppiede e in grado di raccogliere fino a 58.000.000 di punti in quattro minuti



Fig. 44 GeoSlam a sinistra e Laser Scanner Trimble X7 a destra

Fonte: sopralluogo 23-03- 2023

In questo modo è stato possibile ottenere una nuvola di punti ed un rilievo fotogrammetrico, grazie anche alla telecamera di cui il GeoSlam è fornito e alle strumentazioni Lidar.

Con il Laser Scanner Trimble X7 sono state effettuate più stazioni nel piazzale Grande Torino che collega Corso Galileo Ferraris e Corso Giovanni Agnelli, riuscendo ad ottenere una nuvola più densa rispetto a quella che fornisce il GeoSlam, che però, a differenza del X7, dà la possibilità di effettuare il rilievo in movimento, avendo un'accuratezza inferiore allo strumento precedente, ma riuscendo a registrare porzioni di territorio maggiori in minor tempo.

Potendosi muovere con il GeoSlam, mantenendo comunque una velocità il più possibile costante e cercando di tenerlo il più fermo possibile, è stato possibile rilevare i lati dello stadio verso Via Filadelfia, Corso Galileo Ferraris e Corso Giovanni Agnelli, ottenendo informazioni su un'area più ampia di quella registrata con l'X7. Per georiferire i dati ottenuti dal GeoSlam è stato necessario posizionare dei target nel Piazzale Grande Torino, che dovevano rispettare le caratteristiche di visibilità già viste per quelli utilizzati per il volo con drone.

Per ottenere un dato più preciso possibile e per dare la possibilità a tutti i partecipanti al lavoro di sperimentare l'utilizzo del GeoSlam, sono stati effettuati dei rilievi separati per i quattro lati dello stadio, uno nel piazzale Grande Torino e gli altri tre lungo Via Filadelfia, Corso Galileo Ferraris e Corso Giovanni Agnelli, che in fase di lavorazione saranno sovrapposti tra di loro per fornire una nuvola di punti unica. Per far sì che ciò sia possibile, è fondamentale rilevare sempre dei punti in comune, in modo che il programma sia in grado di effettuare una sovrapposizione.

I vantaggi che il GeoSlam porta sono quindi numerosi rispetto al Laser Scanner X7, soprattutto sulle tempistiche, ma dipende sempre dall'obiettivo del lavoro, dalle caratteristiche dell'area di studio e dal grado di dettaglio che si sta cercando, essendo in grado di produrre una nuvola di punti meno fitta dell'X7.

Successivamente i dati raccolti dai tre strumenti saranno elaborati con i programmi adatti e si potranno produrre risultati differenti in base alle esigenze.

5.2

Elaborazione dati rilevati

La fase successiva al rilievo sul campo deve essere svolta in laboratorio, e comprende l'elaborazione dei dati rilevati tramite l'utilizzo di software specifici che permettano di leggere la nuvola di punti ed effettuare una rielaborazione.

La nuvola di punti rappresenta un modello 3D dell'oggetto o dell'ambiente rilevato rispetto a delle specifiche coordinate xyz, definite sulla base del sistema di riferimento prescelto. In questo caso la scelta ricadeva su due sistemi:

- Gauss-Boaga (3003, proposta nel 1940 dal professore Giovanni Boaga ed utilizzata come sistema di riferimento per la maggior parte delle cartografie ufficiali italiane;
- RDN2008 (7791), più recente rispetto al precedente.

La scelta è stata per Gauss-Boaga, anche se si tratta di un sistema di georiferimento più vecchio, perché è quello su cui si riferiscono le cartografie del Comune di Torino, sulla quale sono state fatte le successive elaborazioni, e non si voleva correre il rischio di provocare eventuali errori convertendo il sistema di riferimento delle carte di base.

Nei rilievi effettuati, avendo combinato il rilievo fotogrammetrico ed il rilievo con sensori LiDAR, le nuvole di punti racchiudono informazioni relative al colore, alla scala cromatica ed alla riflettanza.

Soprattutto nell'ambito topografico queste tipologie di rilievo sono divenute indispensabili per una fedele elaborazione dell'area di studio.

Per visualizzare la nuvola di punti del caso studio relativo al piazzale dello Stadio Olimpico Grande Torino, si è utilizzato il software “Trimble RealWorks” in versione open.

Il rilievo dell’area, come sopra indicato, è stato effettuato per mezzo dell’utilizzo di diversi strumenti, avendo così come esito tre differenti nuvole di punti.

Il rilievo effettuato con lo strumento GeoSlam, essendo stato georiferito sul campo, è stato utilizzato come nuvola di riferimento per i rilievi effettuati con gli altri strumenti. E’ quindi stato utilizzato il comando “cloud to cloud” per sovrapporre le differenti nuvole di punti del GeoSlam, con quelle del Laser Scanner Trimble X7 e del drone DJI Mini 2. A causa delle problematiche riscontrate con i dati forniti dal volo con il drone, si è scelto di mantenere come dato intrecciato solo quello tra il GeoSlam e il Laser Scanner Trimble X7 per effettuare le elaborazioni successive. Il problema del volo riguarda la geolocalizzazione della nuvola di punti, posizionata su una coordinata z differente rispetto alla nuvola di punti ottenuta dall’intreccio tra i dati del GeoSlam e dell’X7. Inoltre, andando ad osservare la densità di punti del drone, si è arrivati alla conclusione che non fornisca informazioni aggiuntive a quelle raccolte con gli strumenti a terra, per questo motivo non è stata mantenuta per le successive riflessioni.

Quando si intrecciano più nuvole di punti, oltre a dover indicare quale delle due è posizionata nelle coordinate giuste per spostare di conseguenza l’altra, bisogna indicare il tipo di processo che deve essere effettuato, cioè se bisogna unire le due nuvole di punti, o se vanno tenute separate tra di loro.

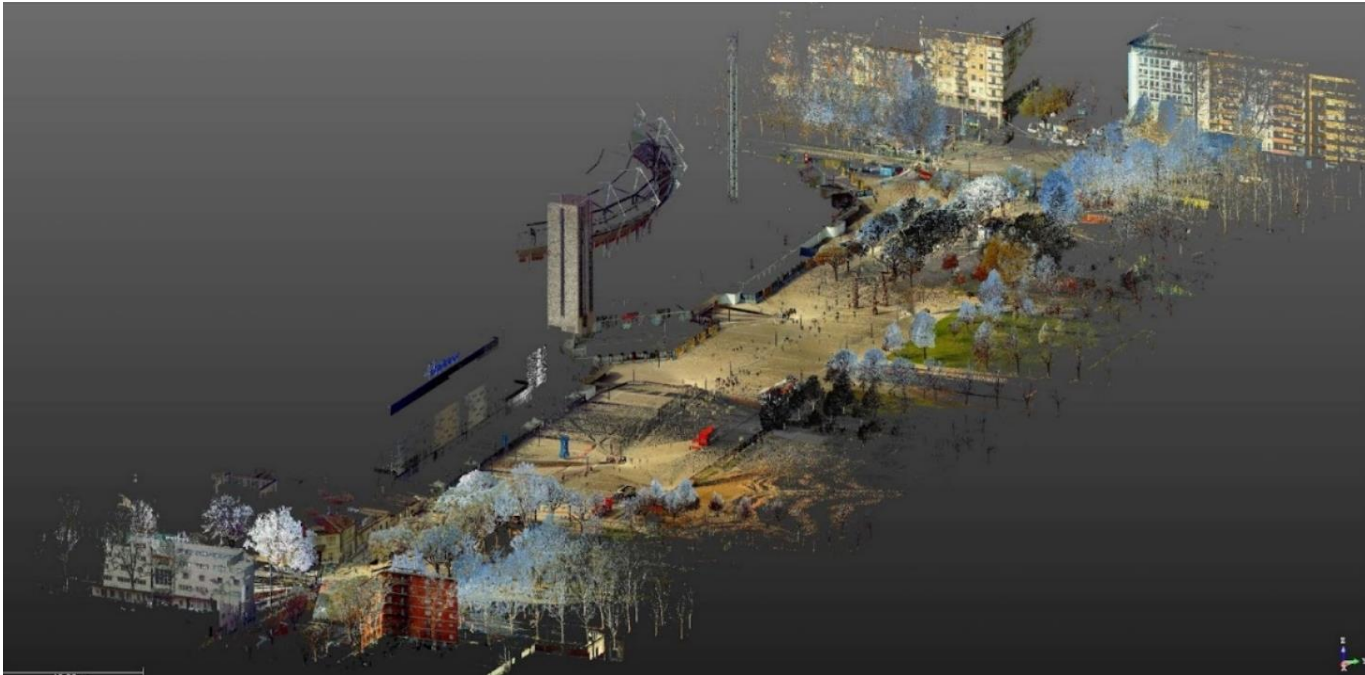


Fig. 54: Intreccio nuvole di punti ottenute dal GeoSlam e dal Laser Scanner Trimble X7

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Successivamente, sulla base delle esigenze di analisi e di visualizzazione, è possibile individuare la tipologia di colorazione più consona all'elaborazione della nuvola di punti. La scelta è possibile effettuarla tra diverse metodologie di colorazione, per esempio:

1. True color

Permette di visualizzare una colorazione associata ai colori reali dell'area di rilievo, ed è possibile grazie all'associazione del rilievo fotogrammetrico, che grazie all'acquisizione di foto permette di registrare la colorazione dell'ambiente;

2. Grey Scaled Intensity

Consiste nella colorazione della nuvola di punti basata sulla scala di grigi, la quale può essere funzionale nei casi in cui gli elementi rilevati siano realizzati con materiali riflettenti, che quindi possono generare delle alterazioni di colorazione e di proiezione dei punti stessi;

3. Color Coded Elevation

Si configura come una colorazione suddivisa in bande di diverse tonalità in base all'altezza dell'elemento oggetto di rilievo, rendendo così possibile un'immediata lettura e individuazione delle diverse altezze delle componenti del territorio;

4. Color Coded Classification

E' possibile fare uso del comando che permette di eseguire una classificazione degli elementi rilevati grazie all'intelligenza artificiale. Questo comando permette di classificare in modo automatico gli oggetti in differenti categorie prestabilite disponibili sul programma.

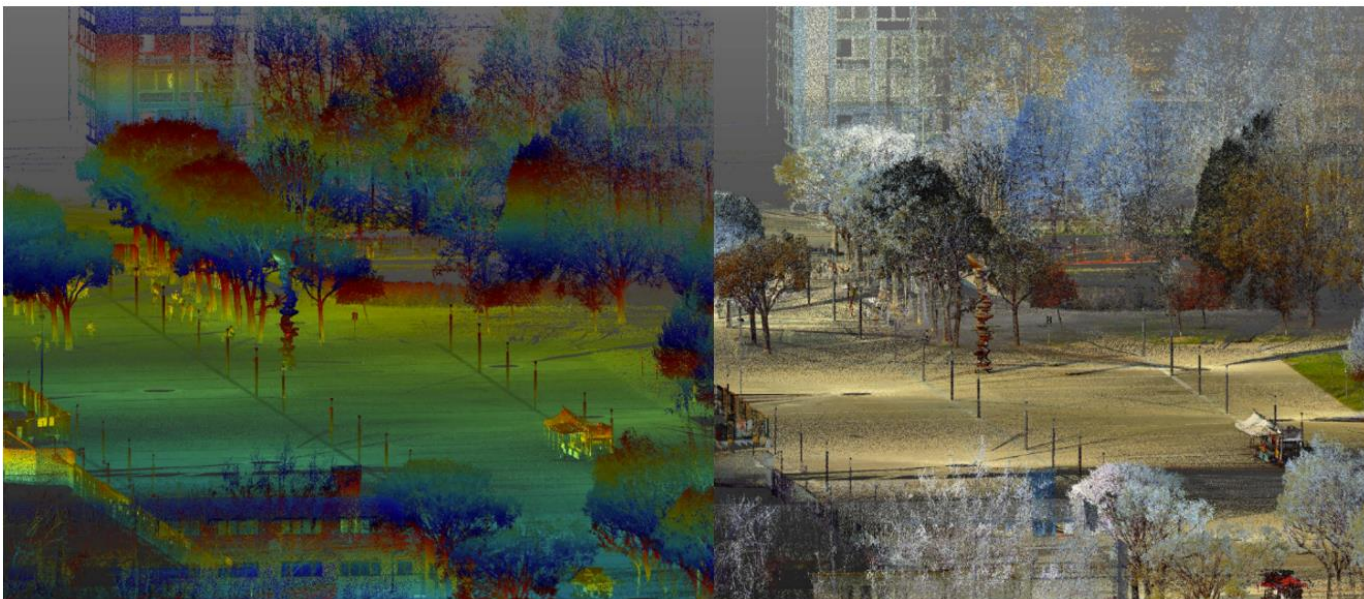


Fig. 55: Confronto tra Color Coded Elevation a sinistra e True color a destra

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

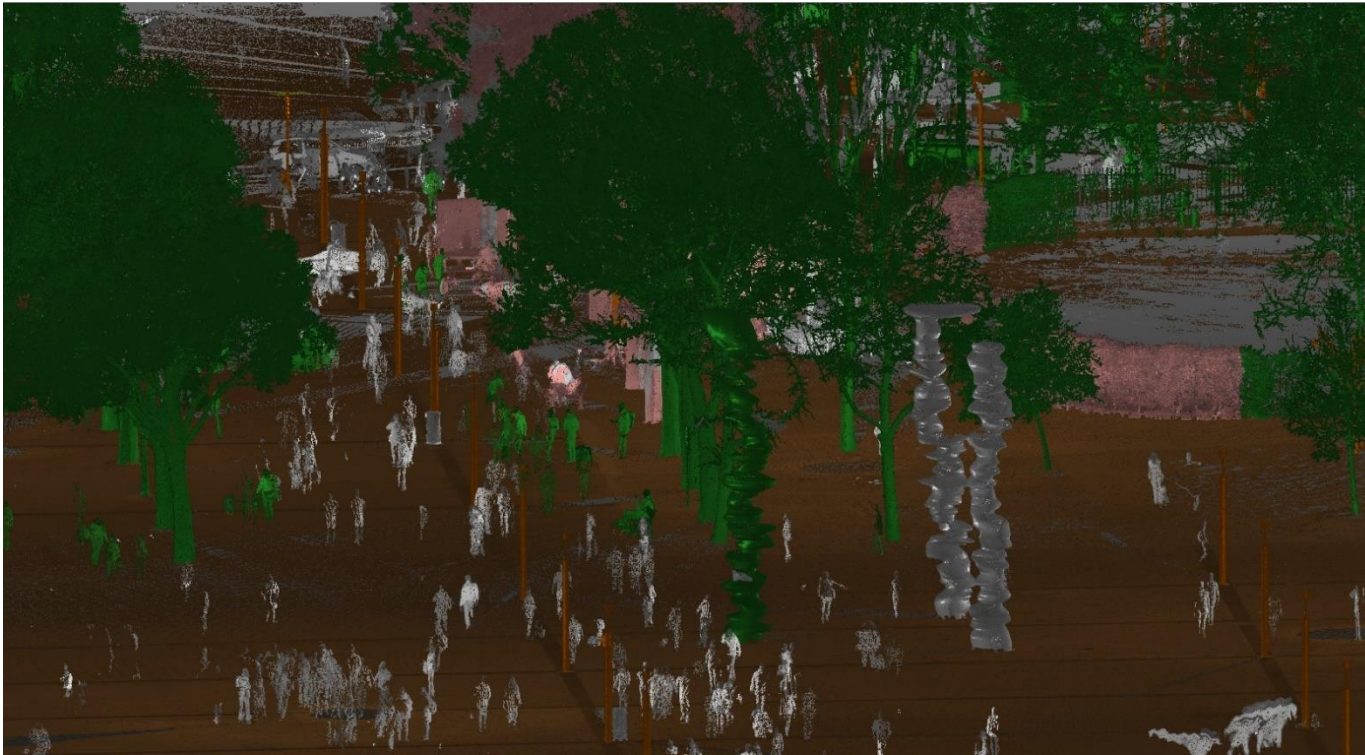


Fig. 56: "Color Coded Classification" nuvola di punti GeoSlam e Laser Scanner Trimble X7

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Le categorie di oggetti predefinite sono attualmente poche e limitate, ma permettono di effettuare un'analisi preliminare sulla nuvola.

La classificazione, per quanto riguarda i rilievi outdoor comprende l'individuazione "ground", "building", "poles and signs", "power lines", "high vegetation"; mentre per quanto riguarda la classificazione dei rilievi indoor essa permette la distinzione di "floor", "grated floor", "ceiling", "walls".

Questa classificazione automatica effettuata dal software presenta delle problematiche, in quanto risulta molto efficace per effettuare una prima classificazione degli elementi, ma è bene effettuare una successiva verifica, per individuare eventuali errori nella distinzione della tipologia di oggetto.

Per l'area circostante allo Stadio Olimpico Grande Torino, tali problematiche sono insorte soprattutto in occasione della classificazione degli elementi verticali, in quanto sono stati spesso inseriti nella tipologia "high vegetation" nonostante non

facciano parte di tale tipologia, come cartelli stradali, persone, semafori, lampioni e monumenti.

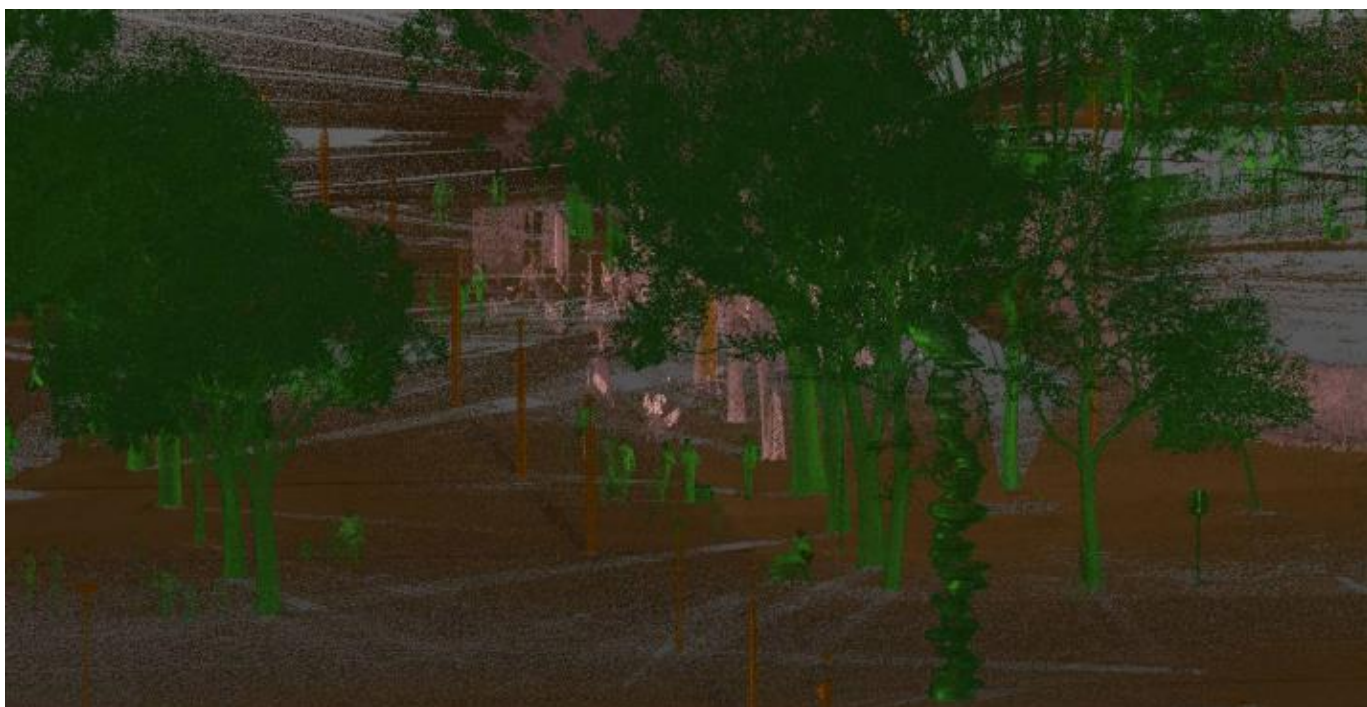


Fig. 57: Problematrice nella classificazione automatica "Color Coded Classification"

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Perciò, per una classificazione più precisa, è necessario intervenire manualmente per correggere le categorie di alcuni elementi, ma questa classificazione automatica è comunque utile per eseguire una prima visualizzazione per classi, effettuando una lettura più semplificata e rapida della nuvola di punti, ottima come punto di partenza.

In seguito, per una migliore visualizzazione della nuvola, è necessario effettuare una pulizia manuale, eliminando gli elementi di rumorosità della nuvola, oppure gli elementi che non sono richiesti per l'elaborazione dei dati rilevati.

Grazie alla suddivisione in differenti layer delle differenti categorie di oggetti classificati, come prima operazione, è quindi possibile disattivare il livello relativo agli elementi "non classificati", dove solitamente sono inserite le persone o altri

elementi in movimento; successivamente è indispensabile procedere manualmente tagliando gli elementi non necessari.

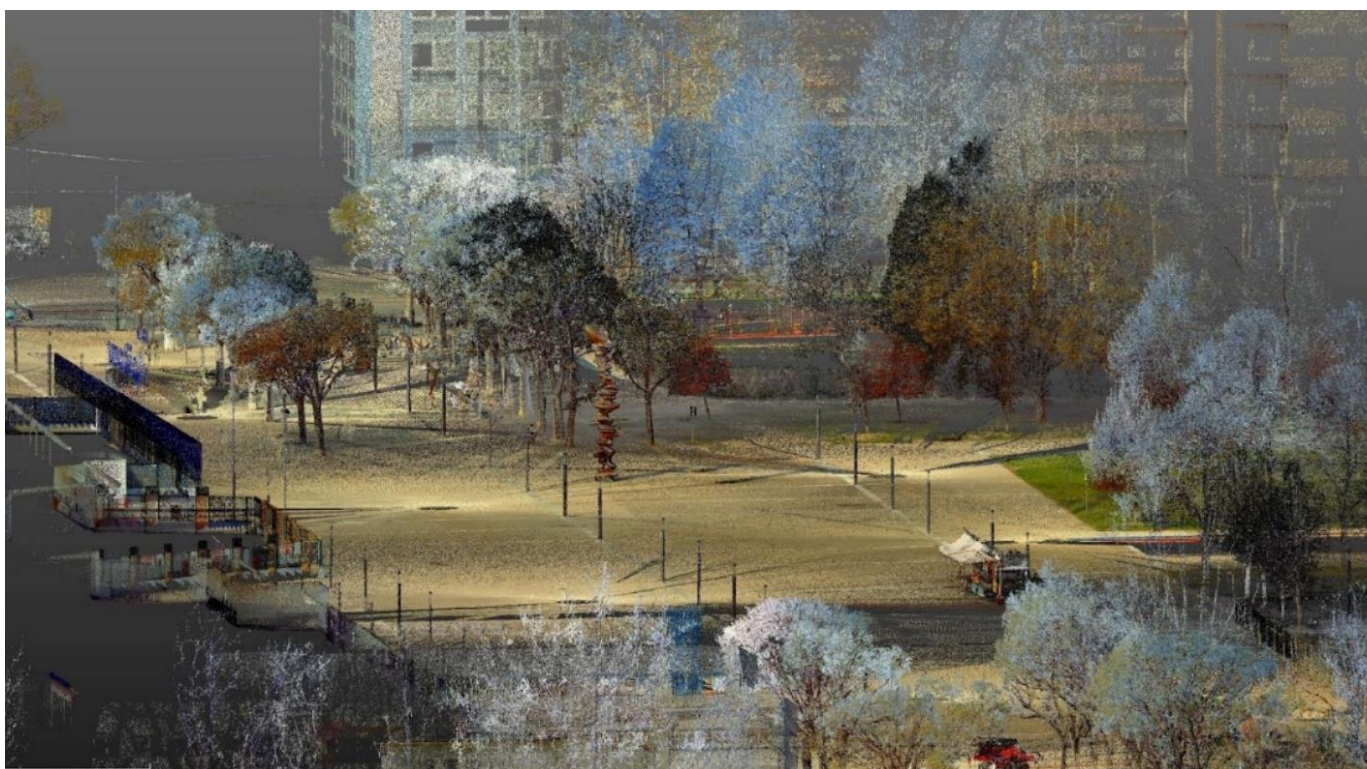
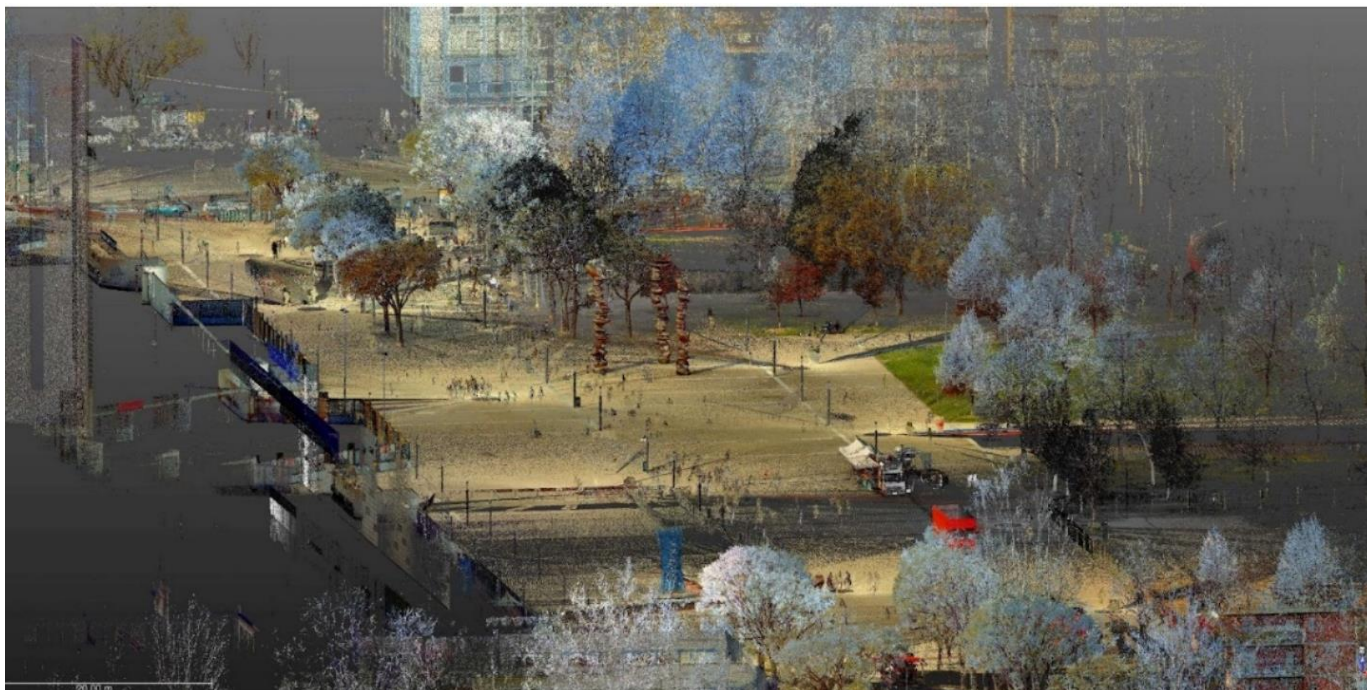


Fig. 58: Prima e dopo l'eliminazione degli elementi non classificati su Trimble RealWorks

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Dalle immagini soprastanti è visibile come l'eliminazione degli elementi "non classificati" renda più leggibile il modello, andando a rimuovere alcuni elementi in movimento, come le persone. Si tratta comunque, come già detto in precedenza, di una classificazione non precisa, per questo motivo va presa come tale. Ad esempio dalle immagini è visibile che sono state eliminate due delle tre colonne della scultura realizzata da Tony Cragg, "Punti di vista".

I rilievi dello Stadio Grande Torino, sono stati realizzati con differenti strumenti ed in occasioni diverse, per questo motivo presentano molteplici difformità, come la presenza di food truck a seconda della giornata e dell'orario in cui è stato effettuato il rilievo.

Tali difformità possono essere individuate per mezzo dell'utilizzo dello strumento "change detection", in grado di sovrapporre i punti in comune tra le diverse nuvole e, nel caso in cui si presentino cambiamenti all'interno dell'area di studio, individua quelli non coincidenti, evidenziandoli con una

Un'ulteriore elaborazione che può essere svolta partendo dalla nuvola di punti è la realizzazione di una "mesh", ovvero un insieme di punti che definiscono una superficie determinata dall'unione di poligoni di base come i triangoli. Ogni triangolo si compone di tre punti, ed a sua volta è assemblato con altri triangoli limitrofi fino a comporre la superficie.

Il programma Trimble RealWorks dà la possibilità di visualizzare la nuvola di punti sia lateralmente e sia dall'alto, in modo da poterne facilitare alcune elaborazioni:

- visualizzare la nuvola di punti dello Stadio Olimpico Grande Torino di lato ha facilitato il tracciamento della linea di sezione che ha tagliato la nuvola di punti ad una certa quota, in modo da poter visualizzare la superficie a terra degli oggetti d'interesse, per esempio rimuovendo la chioma di alcune piante, osservandone solo il tronco. Questo processo comporta

anche la creazione di una nuvola di punti alleggerita, che ne facilità la sua lettura ed il trasferimento su altri programmi;

- visualizzare la nuvola di punti dall'alto la rende utile come base da sovrapporre con altre cartografie, in modo da poter effettuare un confronto anche su altri programmi che non ne permettono la lettura tridimensionale;



Fig. 59: Vista laterale della nuvola di punti su Trimble RealWorks

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

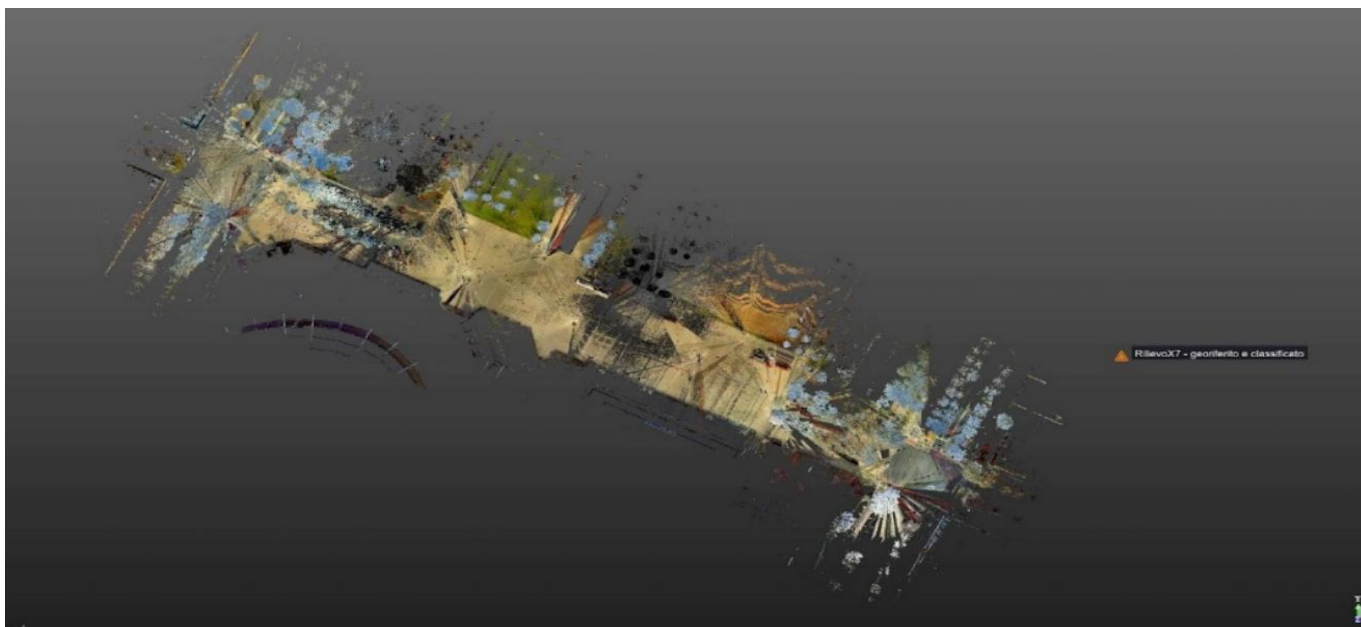


Fig. 60: Vista dall'alto della nuvola di punti su Trimble RealWorks

Fonte: Elaborazione propria, 29-05-2023

Grazie alle analisi effettuate, è stato possibile concentrarsi sull'elaborazione di una porzione del catasto del suolo pubblico relativa alle aree limitrofe allo Stadio Olimpico Grande Torino.

A partire dall'elaborazione della nuvola di punti sul software "Trimble Realworks" è possibile procedere con differenti modalità e software, come ad esempio per mezzo dell'utilizzo di Autocad o di Qgis.

Elaborazione del catasto del suolo pubblico tramite l'utilizzo di Autocad

A partire dall'elaborazione della nuvola di punti effettuata sull'apposito software è stato possibile esportare il file in formato "las".

Dato che il programma autocad non permette di visualizzare i file in formato "las" (dati completi della forma d'onda, per questo motivo di solito sono file di grandi dimensioni) e "laz" (versione compressa del file las), è necessario importare il file sul programma Autodesk Recap, dando la possibilità di aprire e visualizzare la nuvola di punti in formato las, e successivamente di esportarla in formato "rcp", permettendo così la successiva visualizzazione sul programma Autocad.

Dopo aver effettuato la conversione, è stato possibile visualizzare la nuvola di punti e sovrapporla alla carta tecnica della città di Torino in formato "dxf", mantenendo il sistema di georiferimento.

La cartografia che ha fornito il Comune di Torino non dispone di un grado di dettaglio così elevato da poter mostrare quelli che sono gli oggetti sul suolo pubblico dell'area analizzata, per questo motivo, grazie alla nuvola di punti realizzata, è stato effettuato il tracciamento dei seguenti oggetti:

- i pali della luce
- gli alberi

- le panchine
- le tre statue del monumento “Punti di vista”
- la pavimentazione
- cestini



Fig. 61: Piazzale Grande Torino con riconoscibili i pali della luce, il disegno della pavimentazione e il monumento “Punti di vista”

Fonte: wikipedia, 05-06-2023

Per il momento si sta ragionando ancora a livello bidimensionale, ed è per questo motivo che è stato ridisegnato solamente lo spazio che gli oggetti ricoprono sulla pavimentazione, ad esempio per le piante ci si è basati sul diametro del tronco, creando una rappresentazione standard che le racchiude tutte, anche se ci sono alberi di diverse dimensioni e diverse tipologie (prevalentemente tigli e frassini). Nel ridisegnare gli oggetti sul suolo pubblico sopra elencati, è stato più semplice individuare la posizione degli elementi verticali rispetto al disegno della pavimentazione, avendo ottenuto un dato più chiaro dalla nuvola di punti per i primi, ma per entrambi si è riusciti a mantenere un grado di dettaglio

centimetrico, riducendo gli eventuali tempi di lavoro per la raccolta delle medesime informazioni con altre metodologie.

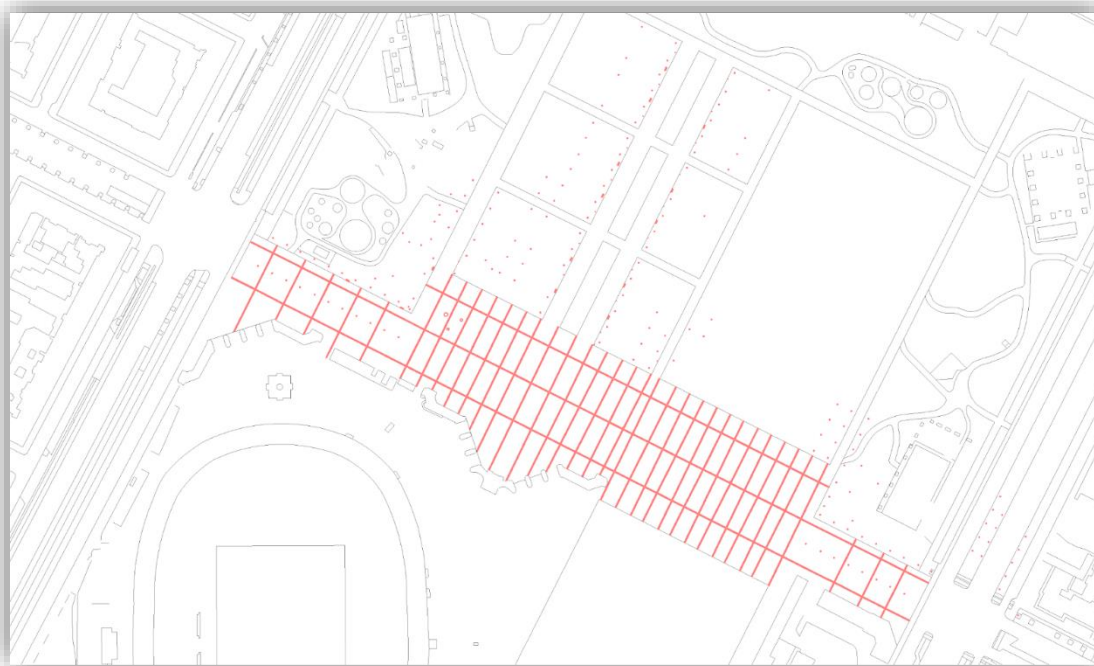
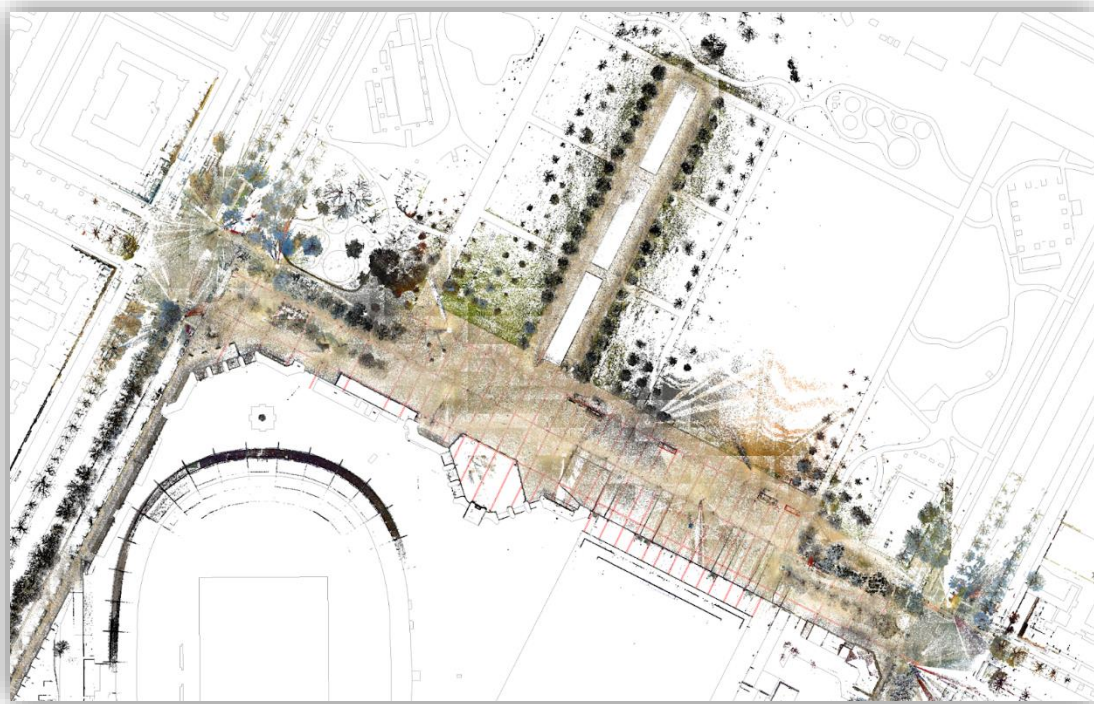


Fig. 62: Rappresentazione oggetti suolo pubblico e pavimentazione, con e senza la nuvola di punti

Fonte: Elaborazione propria, 07-06-2023

Nella fase successiva, sulla base del ridisegno degli spazi occupati dagli oggetti sul suolo pubblico, sono stati realizzati i modelli 3D dei lampioni, degli alberi e delle panchine, ottenendo una visualizzazione più chiara di quello che è il loro volume e la loro influenza sullo spazio circostante. Si tratta di un'elaborazione rapida, trattandosi di un'area che possiede lampioni ed alberi con dimensioni non esageratamente variabili, per questo motivo si è scelto di utilizzare un unico blocco per tutti i lampioni individuati, ed un unico blocco anche per tutte le piante, della quale è stata cambiata la dimensione in piccola, media e grande per racchiudere tutte le piante del parco rilevate.

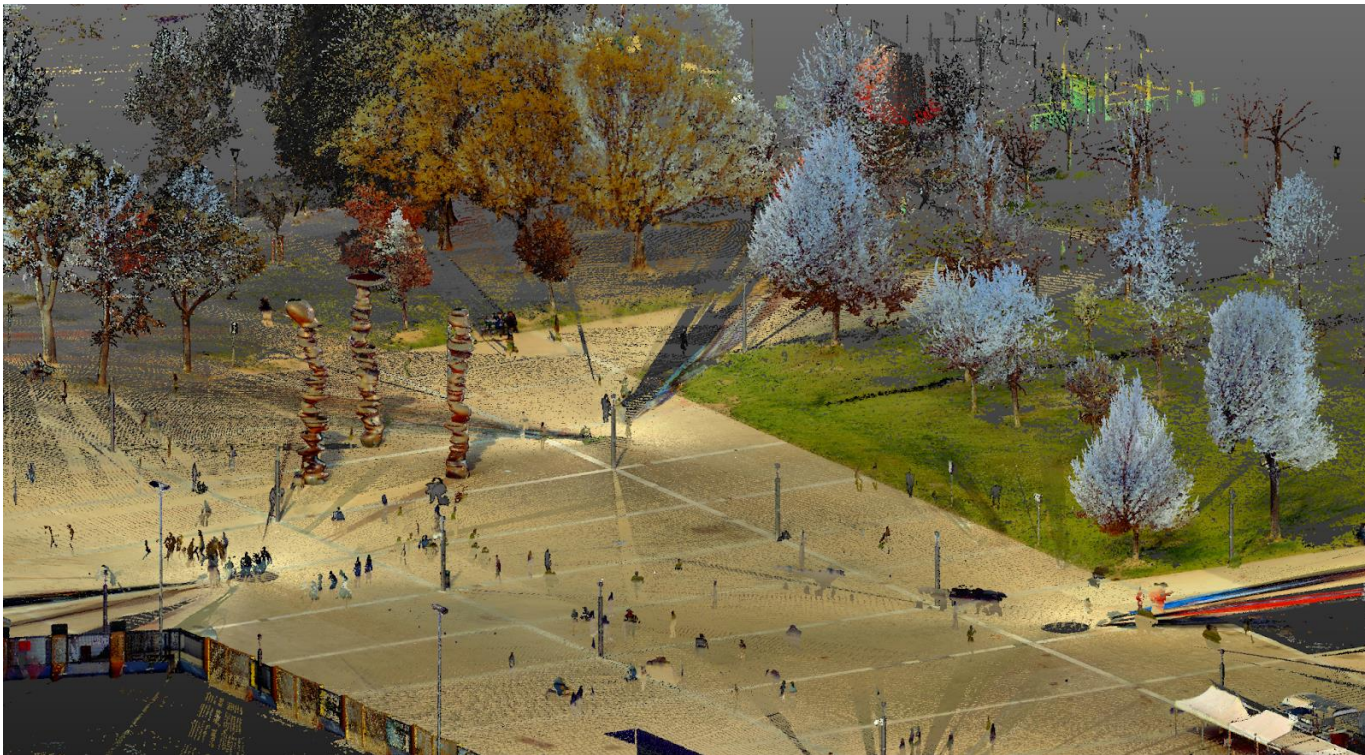
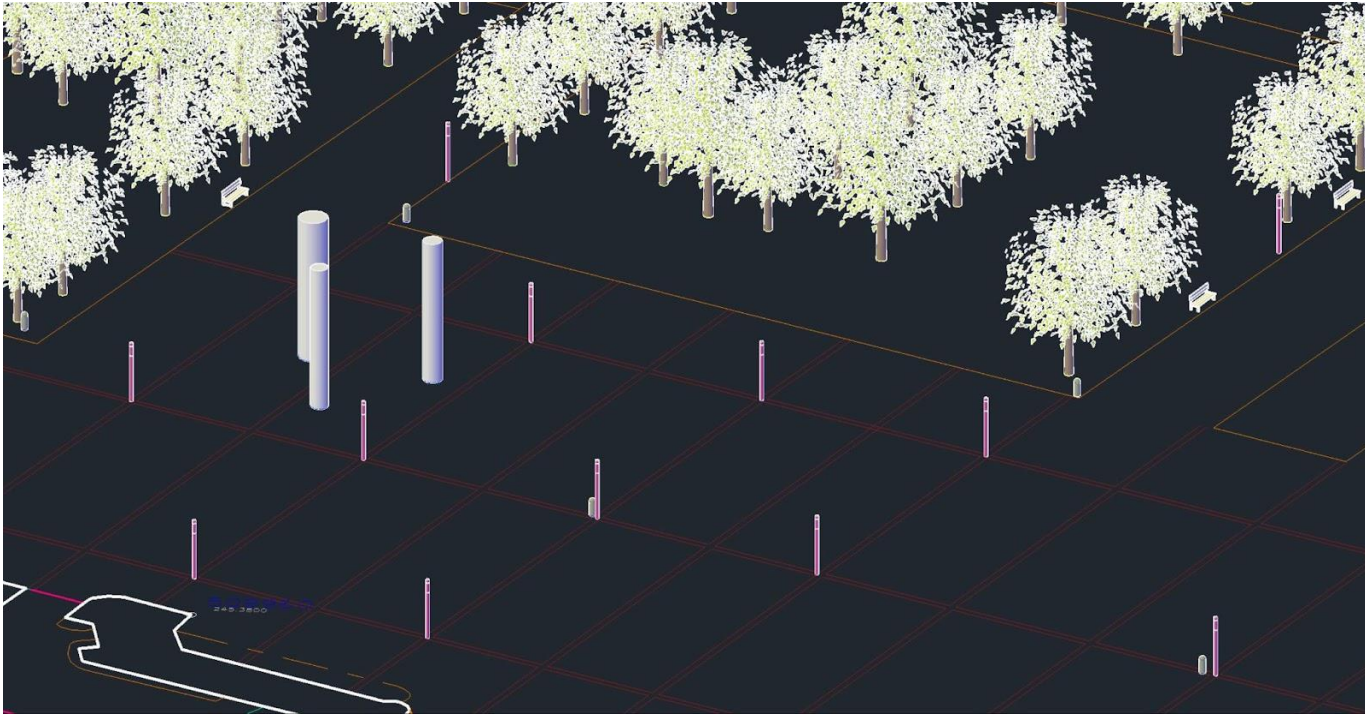


Fig. 63: Viste piazzale Grande Torino zona monumento "Punti di Vista"

Fonte: Elaborazione propria, 08-06-2023

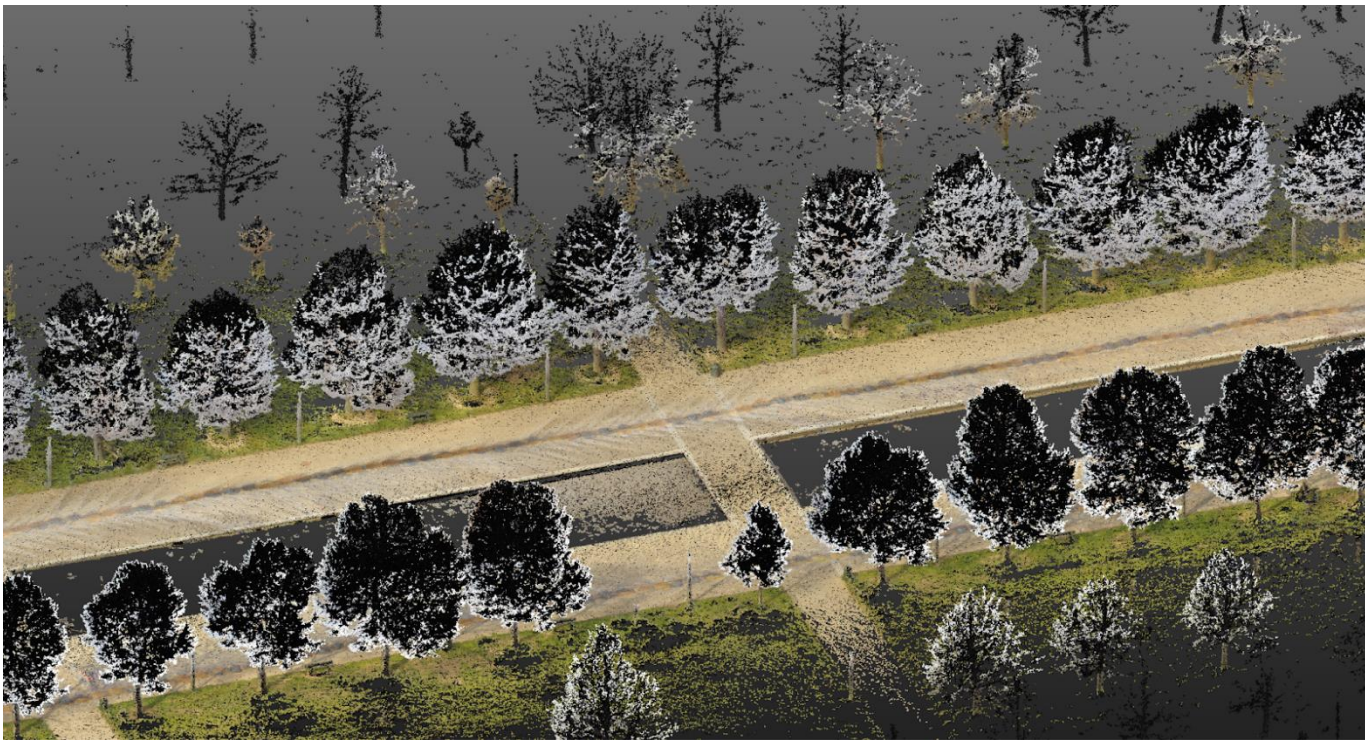
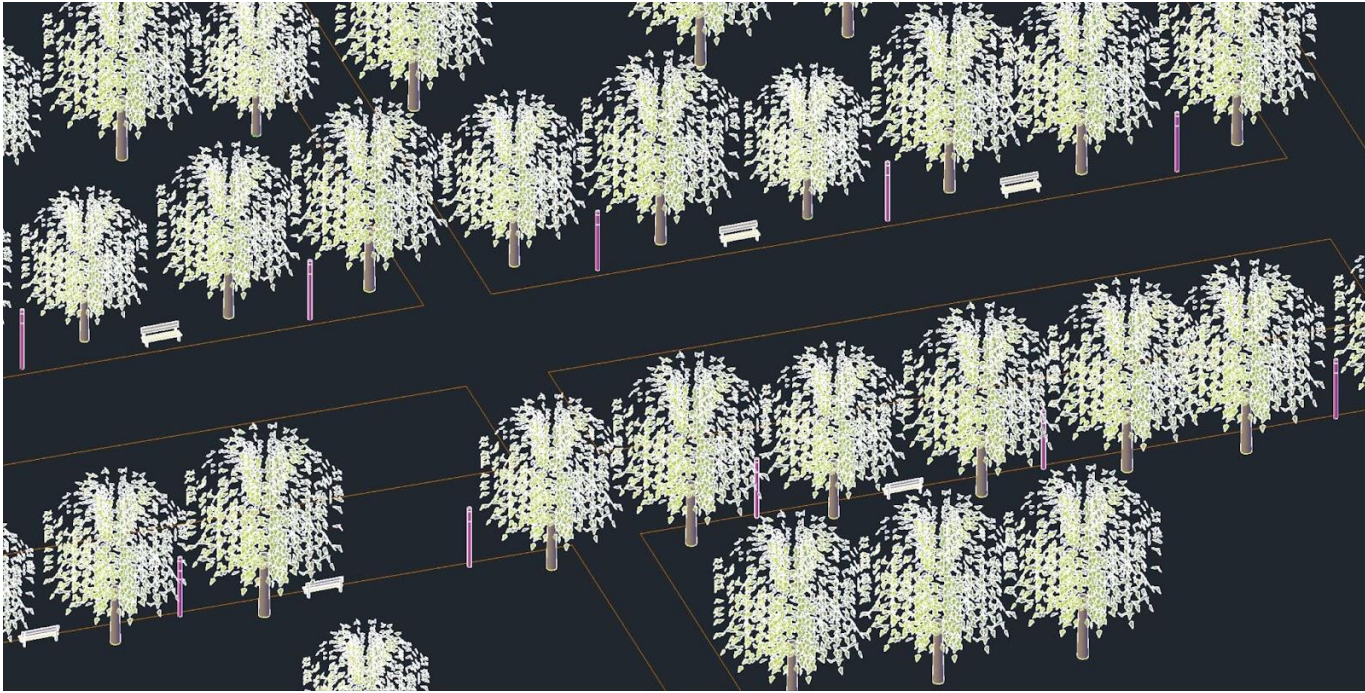


Fig. 64: Viste piazzale Grande Torino zona lungo lo specchio d'acqua

Fonte: Elaborazione propria, 08-06-2023

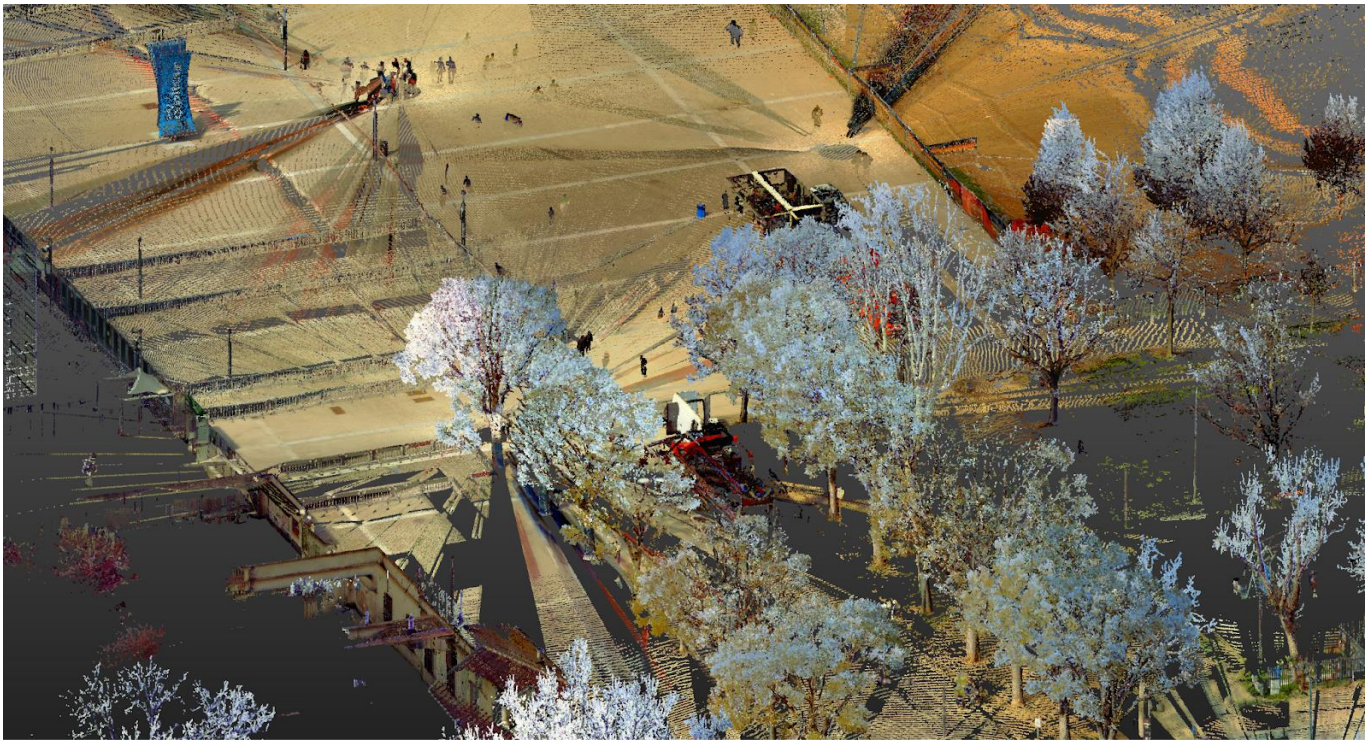
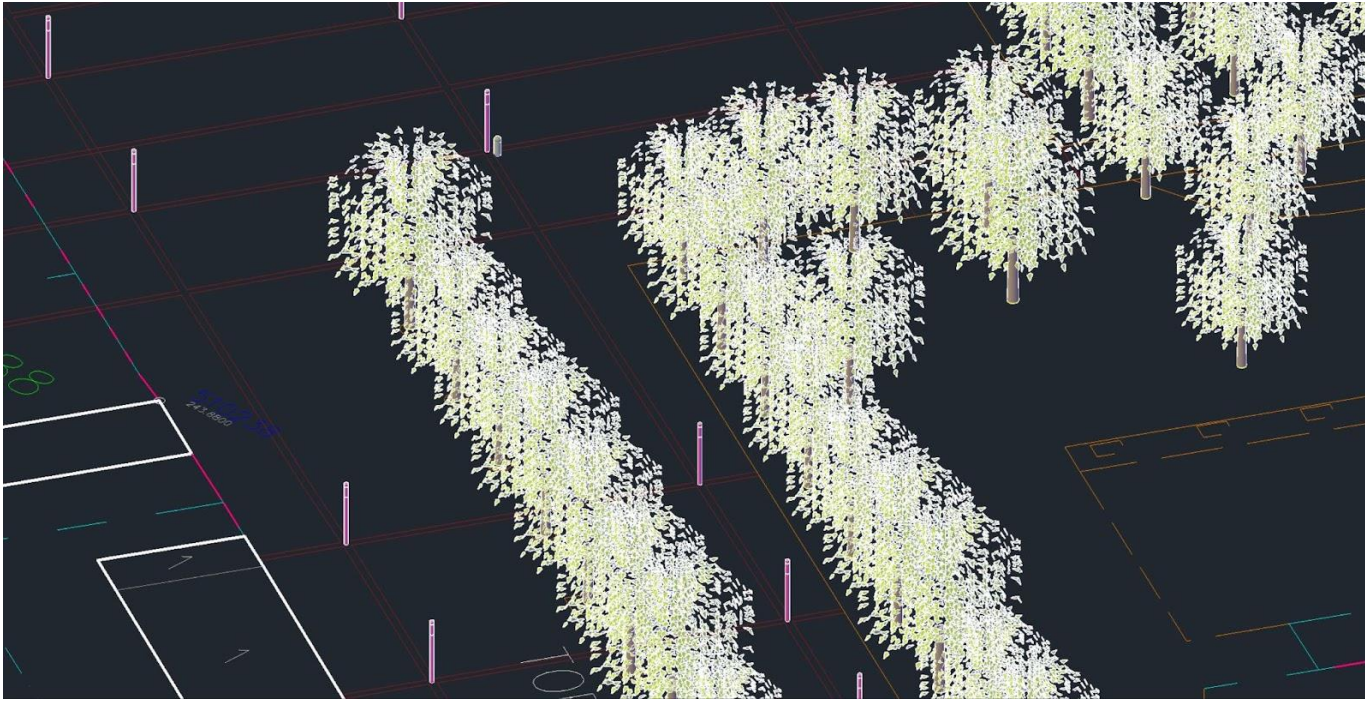


Fig. 65: Viste piazzale Grande Torino zona verso Corso Galileo Ferraris

Fonte: Elaborazione propria, 08-06-2023

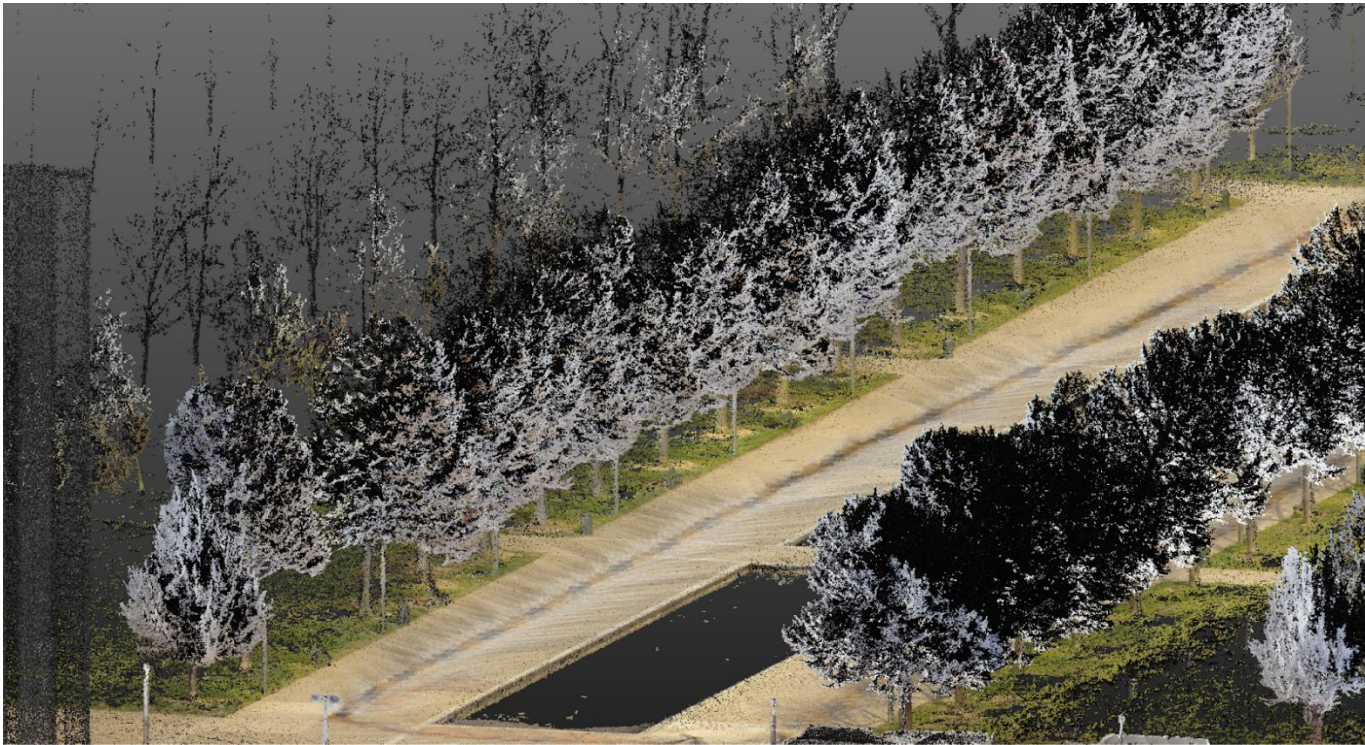
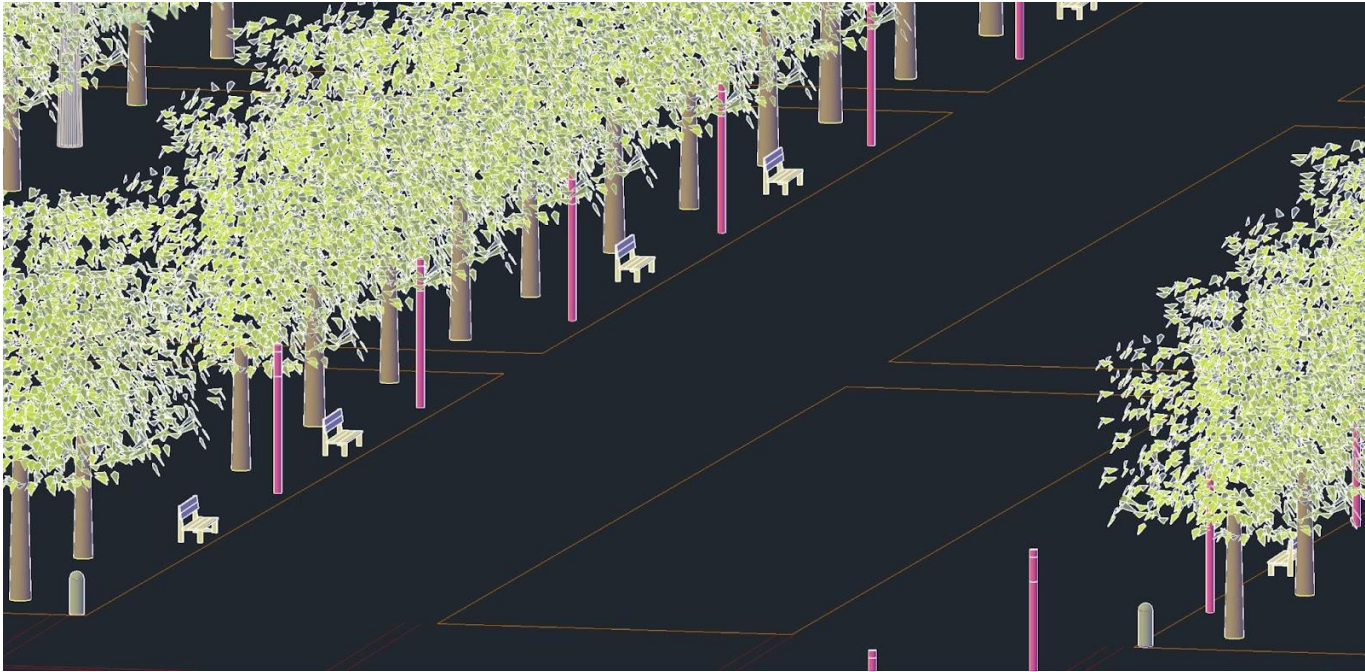


Fig. 66: Viste piazzale Grande Torino zona lungo lo specchio d'acqua

Fonte: Elaborazione propria, 08-06-2023

Il ridisegno degli oggetti sul suolo del Piazzale Grande Torino poteva essere svolta attraverso altre metodologie:

- importando la nuvola di punti su Qgis, in modo da rappresentare gli elementi puntuali ed areali, ed associando per ognuno le informazioni racchiuse nella tabella attributi, come la tipologie, le coordinate, ecc.;
- direttamente sul programma Trimble Realworks.

La scelta è ricaduta sul programma Autocad per le seguenti motivazioni:

- permette di ottenere un grado di dettaglio più elevato nel ridisegno degli elementi sul suolo pubblico;
- è possibile associare per ogni elemento un blocco tridimensionale di dimensioni standard, come per i lampioni tutti di egual dimensione (la prerogativa è che si conoscano le dimensioni verticali degli oggetti rappresentati);
- permette di mantenere il sistema di georiferimento come negli altri programmi;
- grazie all'utilizzo dei layer, è possibile mantenere la distinzione tra le varie tipologie di oggetti rappresentati;
- in precedenza erano state descritte le prerogative che un modello digitale deve possedere per un suo corretto funzionamento, ed una di queste era la facilità di trasmissione del dato a diversi utenti; dopo aver concluso il ridisegno degli oggetti sul suolo pubblico è possibile rimuovere la nuvola di punti usata come base, avendo a disposizione come risultato la carta tecnica comunale con anche gli oggetti sul suolo pubblico, in un formato dwg che il Comune di Torino e altri utenti possono facilmente aprire, a differenza del formato las o laz che il programma Trimble Realworks creerebbe (formati ad oggi ancora poco conosciuti).

Si tratta di elaborazioni manuali che ad oggi sono ancora necessarie per effettuare una classificazione precisa degli elementi oggetto d'analisi, ma in futuro sarà un'attività svolta dall'intelligenza artificiale, in grado di classificarli in maniera più precisa e rapida, a maggior ragione quando si lavora ad una scala più elevata. Come già detto in precedenza, per adesso è possibile con il programma Trimble Realwork effettuare una prima classificazione degli elementi rappresentati con la nuvola di punti, ma necessità ancora di numerose correzioni manuali.

Le ragioni per cui è stato necessario effettuare una rappresentazione degli oggetti sul suolo pubblico sono legati ai numerosi eventi che lo Stadio Olimpico Grande Torino, la discoteca White Moon e il Pala Alpitour ospitano. Si tratta di un'area che raccoglie numerosi eventi sportivi e musicali, ed è per questo che necessita di una corretta gestione dei suoi spazi, visto che tali eventi portano folle di persone e numerosi servizi annessi, come i camion alimentari ed extra alimentari, che necessitano degli spazi dedicati per la sosta, e la gestione delle aree per la sosta dei veicoli.

Le aree d'interesse sono quelle mostrate nella figura sottostante, ma dai rilievi effettuati è stato possibile effettuare un'analisi più dettagliata principalmente nelle aree fronte stadio e Pala Alpitour, vale a dire la zona a, b e c.

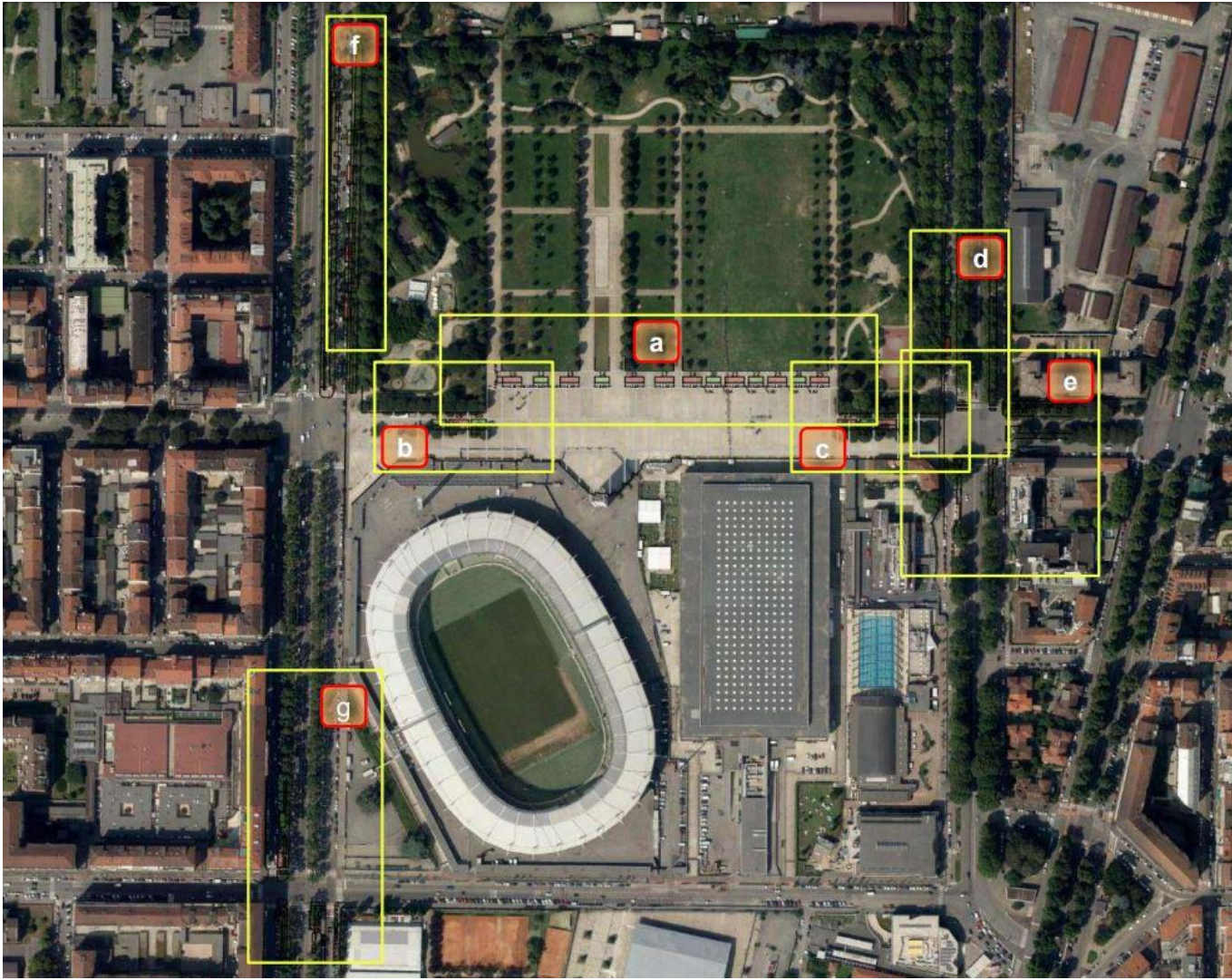


Fig. 67: Aree dedicate al posteggio dei camion Piazzale Grande Torino

Fonte: Comune di Torino, 2023

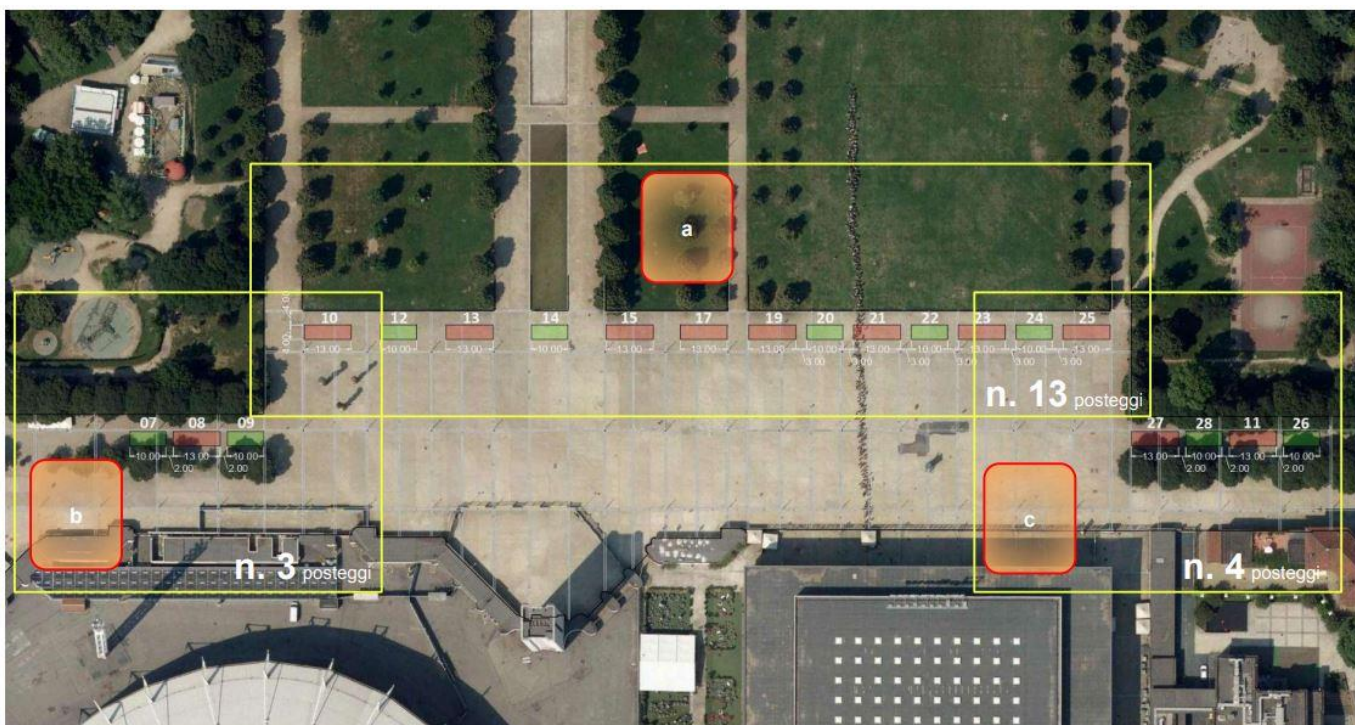


Fig. 67: Focus sulle aree a,b e c per il posteggio di 20 camion alimentari ed extra alimentari

Fonte: Comune di Torino, 2023

Attraverso i dati raccolti con il rilievo, è stato possibile fornire maggiori informazioni sugli oggetti presenti sul suolo pubblico e sulla pavimentazione del piazzale, utili per il corretto posizionamento dei posteggi dedicati ai camion, definiti da parte del Comune di Torino. La loro localizzazione non deve ovviamente intrecciarsi con quella dei lampioni, delle panchine e della vegetazione, con un rispetto anche di quello che è il disegno della pavimentazione.



Fig. 68: Distanze e misure per il posteggio dei mezzi alimentari ed extra alimentari

Fonte: Comune di Torino, 2023

Nell'immagine soprastante è visibile che i permessi di sosta, rilasciati ai proprietari dei camion alimentari ed extra alimentari, sono concessi nel rispetto di distanze ben precise, con aree di sosta 13x4 per i mezzi alimentari e 10x4 per quelli extra alimentari, facendo attenzione alla posizione dei lampioni, degli alberi e del disegno della pavimentazione (i tombini sono spesso posizionati all'interno della griglia che compone la pavimentazione del piazzale ed i camion non devono essere localizzati al di sopra di questi elementi).

Possono essere molteplici le riflessioni sul modello ottenuto dai rilievi effettuati, essendo solo uno dei tanti esempi quello appena visto per il posizionamento dei camion alimentari ed extra alimentari. Possedere un modello tridimensionale di tutta l'area ha permesso anche di realizzare una piccola parte del catasto del suolo pubblico, con tempistiche inferiori a quelle messe in pratica dal Comune di Torino fino ad oggi, oltre ad avere un grado di precisione maggiore sulla loro posizione (ad oggi fanno riferimento al numero civico più prossimo all'oggetto di riferimento).

In conclusione, i rilievi effettuati presso il Piazzale Grande Torino hanno dato la possibilità di mostrare in pratica quelle che sono le potenzialità delle nuove strumentazioni, in grado di fornire una mappatura, sia bidimensionale che tridimensionale, dell'area analizzata, realizzato un modello di base per differenti ambiti. Questo tipo di elaborazione potrebbe essere allargata ad una scala più elevata, attraverso l'utilizzo di strumentazioni aggiuntive, portando la città di Torino ad avvicinarsi sempre di più alla realizzazione di un proprio Digital Twin.

Conclusioni

Attraverso la stesura della seguente tesi, il principale obiettivo che ci si è posti è stato quello di mostrare quelle che sono le potenzialità del Digital Twin e le prerogative per la sua messa in pratica, con particolare interesse sulle strumentazioni utilizzate e sull'intelligenza artificiale. Si tratta di un modello in grado di fornire numerosi vantaggi alle città che riescono a crearselo, ma richiede procedure che intrecciano più tematiche, grande partecipazione da parte di numerosi stakeholders ed un'elevata quantità di dati per il suo funzionamento.

Attraverso il tirocinio e gli incontri svolti, si è cercato di comprendere quelli che sono i risultati raggiunti dalle città prese in analisi e le loro principali problematiche che cercano di risolvere, confrontando casi esteri con casi italiani. Infine sono stati svolti dei rilievi presso il piazzale Grande Torino per mostrare, su una porzione di città torinese, quelle che sono le procedure per la realizzazione di un modello tridimensionale che possono essere allargate a scala urbana.

Il confronto tra le città analizzate ha dimostrato che ognuna di esse ha caratteristiche uniche che le portano a perseguire obiettivi differenti, ma le tematiche trattate sono quasi sempre le stesse: resilienza, sicurezza, aggiornamento e raccolta dati, semplificazione delle procedure urbanistiche e progettuali, partecipazione, cambiamento climatico e sostenibilità ambientale. Alcune città, soprattutto all'estero, hanno approcciato queste tematiche in anni più lontani, questo le ha portate ad avere dei risultati più completi ad oggi, ma attraverso l'analisi dettagliata delle città italiane, è stato dimostrato l'interesse anche di Torino, Milano e Genova nella realizzazione di un proprio modello tridimensionale. Il focus è stato per Torino, trattandosi dell'unica città che non ha ancora effettuato i rilievi per realizzare il proprio Digital Twin, anche se si sta muovendo per realizzarlo, dimostrando comunque l'interesse per la tematica con

un'analisi dettagliata dei progetti in corso e del rilievo sul campo effettuato nel piazzale Grande Torino. Il caso pratico effettuato ha permesso di vedere le potenzialità degli strumenti utilizzati e le varie fasi di lavorazione dei dati raccolti, comprendendone la complessità di gestione e le metodologie di analisi, raggiungendo come esito un modello 3D dell'area, con indicati i vari oggetti sul suolo pubblico raccolti e il disegno della pavimentazione, risultato che può essere d'esempio su una piccola parte della città di Torino, ma che in futuro dovrà essere allargato a livello urbano.

Si tratta in ogni caso, sia per chi dispone già di un modello 3D e sia per le città più indietro, di modelli in continua evoluzione che necessitano di aggiornamenti costanti e di ulteriori sviluppi per un miglior funzionamento, non essendo stato raggiunto ancora un traguardo definitivo. Le tecnologie di rilievo sono in continua crescita, con funzionalità sempre più efficaci in grado di semplificare il lavoro di chi le usa, con una riduzione dei costi e delle tempistiche, ma ci sono pareri contrastanti su alcune delle prerogative fondamentali per il funzionamento di un Digital Twin:

- sull'intelligenza artificiale: basata su scelte prese da un sistema programmato per imparare e fornire un valido aiuto, come nei casi analizzati in cui potrebbe favorire l'individuazione degli oggetti per classificarli. Ci sono anche pareri contrari, essendoci dei rischi nell'utilizzo dell'intelligenza artificiale, che riguardano la programmazione da parte di qualcuno che potrebbe non perseguire l'interesse comune e c'è anche il rischio che le scelte prese dal sistema non siano le più giuste;
- sui sistemi di raccolta dati: i sensori o i dispositivi che raccolgono dati sono sempre più in crescita, ma essendo numerosi è difficile riuscire a controllare sempre le informazioni che vengono fornite, con il rischio di rilasciare dati private o sensibili;

La tesi realizzata ha mostrato quelle che sono le problematiche delle città, i loro obiettivi e come l'utilizzo di un Digital Twin le può aiutare, andando a descrivere nel dettaglio quelle che sono le procedure per il suo funzionamento e le prerogative alla base, poi si tratta di riflettere su quelli che sono anche gli eventuali rischi e i possibili utilizzi in maniera scorretta, ma è stato dimostrato come, se si persegue l'interesse comune e se si sfruttano le potenzialità delle nuove strumentazioni, un modello tridimensionale delle città può aiutarle a diventare Smart Cities.

Sitografia

- **3dmetrica.it**
<https://3dmetrica.it/strumenti-di-rilievo-topografico/>
(ultima consultazione 15-05-2023)
- **Afdrones.it**
<https://afdrones.it/rilievo-3d-non-fermatevi-alle-foto-nadirali/>
(ultima consultazione 16-06-2023)
- **Altair.com**
https://altair.com/one-total-twin/?utm_source=google-ads&utm_medium=cpc&utm_campaign=IMC-Digital-Twin-Brand&gclid=CjwKCAjw3POhBhBQEiwAqTCuBm-XrrZrSt7zNsqmncn1TZXmY4ljCjY6dNxDBssj6YkqwQK9345qy4BoCiAAQAvD_BwE
(ultima consultazione 13-05-2023)
- **Aws.amazon.com**
<https://aws.amazon.com/it/what-is/digital-twin/>
(ultima consultazione 20-05-2023)
- **baumeister.swiss.it**
<https://baumeister.swiss.it/costruzione-virtuale/>
(ultima consultazione 21-05-2023)
- **baumeister.swiss.it**
<https://baumeister.swiss.it/costruzione-virtuale/>
(ultima consultazione 21-05-2023)
- **bim.acca.it**
<https://bim.acca.it/rilievo-fotogrammetrico-cosa-e-come-ottenerlo/>
(ultima consultazione 13-06-2023)
- **corporate.enelx.com**
<https://corporate.enelx.com/it/question-and-answers/what-is-a-smart-city>
(ultima consultazione 14-05-2023)
- **dronetopoprogram.it**
<https://dronetopoprogram.it/cose-la-nuvola-di-punti-e-cosa-poter-fare-su-di-essa/>
(ultima consultazione 3-06-2023)

- **sec-ethz-ch.translate.goog**
https://sec-ethz-ch.translate.goog/research/digital-underground.html?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=it&_x_tr_hl=it&_x_tr_pto=wap
 (ultima consultazione 25-05-2023)
- **smart.comune.genova.it**
<https://smart.comune.genova.it/>
 (ultima consultazione 20-05-2023)
- **smartcitiesindex.org**
<https://smartcitiesindex.org/smartcitiesindexreport2022>
 (ultima consultazione 12-05-2023)
- **www.3dflow.net**
<https://www.3dflow.net/it/colorare-una-nuvola-di-punti-tramite-3df-zephyr/>
 (ultima consultazione 03-06-2023)
- **www.agenziapo.it**
<https://www.agenziapo.it/documentazione/area-laminazione-torrente-seveso>
 (ultima consultazione 21-05-2023)
- **www.beumergroup.com**
https://www.beumergroup.com/knowledge/cep/digital-twin-parcel-sortation/?utm_term=&utm_campaign=BM_search_dsa&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=9637964329&hsa_cam=14641024758&hsa_grp=131036114150&hsa_ad=545711799575&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-1957013899587&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=CjwKCAjw3POhBhBQEIwAqTCuBgehO0VJ8iibhIX-5Gjk6t5n9-hYavbU__VfgwoO2gIGO58PlrX9LRoCDiAQAvD_BwE
 (ultima consultazione 17-05-2023)
- **www.comune.milano.it**
https://www.comune.milano.it/documents/20126/454091840/PEBA+MI_SCHEDA+SINTESI+DEFINITIVA_27_03_2018.pdf/f049f11b-b48a-fdd1-144c-3c703def1b08?t=1658744642015
 (ultima consultazione 24-05-2023)
- **www.comune.milano.it**
<https://www.comune.milano.it/aree-tematiche/ambiente/aria-e-clima/piano-aria-clima>
 (ultima consultazione 24-05-2023)

- **www.comune.torino.it**
http://www.comune.torino.it/ambiente/smart_city/index.shtml
 (ultima consultazione 27-05-2023)
- **www.consulcad.it**
<https://www.consulcad.it/topografia/rilievi-lidar/>
 (ultima consultazione 05-06-2023)
- **www.corrierecomunicazioni.it**
<https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/singapore-in-3d-grazie-alla-tecnologia-dassault-systemes/>
 (ultima consultazione 14-05-2023)
- **www.digital4.biz**
<https://www.digital4.biz/executive/digital-twin-cose-e-come-funziona-il-modello-del-gemello-digitale/>
 (ultima consultazione 05-05-2023)
- **www.e-vai.com**
<https://www.e-vai.com/blog/smart-city-italia-per-una-visione-urbana-piu-europea/>
 (ultima consultazione 10-05-2023)
- **www.economyup.it**
<https://www.economyup.it/mobilita/smart-city-10-miliardi-di-euro-nel-pnrr-come-sono-distribuiti/>
 (ultima consultazione 08-05-2023)
- **www.economyup.it**
<https://www.economyup.it/mobilita/smart-city-cosa-sono-davvero-e-a-che-punto-siamo-in-italia/>
 (ultima consultazione 20-05-2023)
- **www.forumpa.it**
<https://www.forumpa.it/citta-territori/il-digital-twin-per-la-pianificazione-urbana-il-caso-di-zurigo/>
 (ultima consultazione 17-05-2023)
- **www.galileonet.it**
<https://www.galileonet.it/isola-calore-urbano-milano/>
 (ultima consultazione 03-06-2023)
- **www.genovameravigliosa.com**
<https://www.genovameravigliosa.com/it/portfolio/407>
 (ultima consultazione 28-05-2023)

- **www.geomatica.it**
<https://www.geomatica.it/a.pag/un-po-di-storia-pzk1686kzczk945.html>
 (ultima consultazione 12-06-2023)
- **www.geopop.it**
<https://www.geopop.it/cosa-sono-e-che-caratteristiche-hanno-le-smart-city-le-citta-intelligenti-del-futuro/>
 (ultima consultazione 15-05-2023)
- **www.geospatialworld.net**
<https://www.geospatialworld.net/prime/case-study/national-mapping/virtual-singapore-building-a-3d-empowered-smart-nation/>
 (ultima consultazione 28-05-2023)
- **www.gim-international.com**
<https://www.gim-international.com/content/article/singapore-s-journey-towards-a-nationwide-digital-twin>
 (ultima consultazione 28-05-2023)
- **www.gim-international.com**
https://www.gim-international.com/content/article/spatial-planning-in-the-city-of-zagreb?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=Newsletter+%7C+GIM+%7C+11-05-2023++&sid=29970
 (ultima consultazione 23-05-2023)
- **www.green.it**
<https://www.green.it/isola-di-calore/#:~:text=Il%20fenomeno%20di%20surriscaldamento%20urbano,rispetto%20alle%20aree%20rurali%20circostanti>
 (ultima consultazione 25-05-2023)
- **www.ibm.com**
<https://www.ibm.com/it-it/topics/what-is-a-digital-twin>
 (ultima consultazione 06-05-2023)
- **www.ilmugugnovenese.it**
<https://www.ilmugugnovenese.it/storia-del-ponte-sant-agata/>
 (ultima consultazione 28-05-2023)
- **www.infobuildenergia.it**
<https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/effetto-isola-di-calore-come-ridurre-il-surriscaldamento-urbano/>
 (ultima consultazione 25-05-2023)

- **www.infodata.ilsole24ore.com**
<https://www.infodata.ilsole24ore.com/2022/07/16/caldo-le-isole-calore-urbano-le-aree-verdi-rinfrescanti-milano-davvero-rare/>
 (ultima consultazione 25-05-2023)
- **www.innovationpost.it**
<https://www.innovationpost.it/tecnologie/digital-twin-che-cose-come-funziona-e-quali-sono-i-vantaggi-del-gemello-digitale/>
 (ultima consultazione 14-05-2023)
- **www.ingenio-web.it**
<https://www.ingenio-web.it/articoli/fotogrammetria-da-drone-e-terrestre-applicata-alla-meccanica-delle-rocce/>
 (ultima consultazione 15-06-2023)
- **www.lumi4innovation.it**
<https://www.lumi4innovation.it/smart-city-cose-come-funziona-caratteristiche-ed-esempi-in-italia/>
 (ultima consultazione 07-05-2023)
- **www.mase.gov.it**
<https://www.mase.gov.it/pagina/inspire>
 (ultima consultazione 15-06-2023)
- **www.mobatime.com**
<https://www.mobatime.com/it/article/difference-between-gnss-gps/>
 (ultima consultazione 09-06-2023)
- **www.novatest.it**
<https://www.novatest.it/topografia-definizione-storie-e-strumenti-topografici/>
 (ultima consultazione 11-06-2023)
- **www-nrf-gov-sg.translate.goog**
https://www-nrf-gov-sg.translate.goog/programmes/virtual-singapore?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=it&_x_tr_hl=it&_x_tr_pto=sc
 (ultima consultazione 22-05-2023)
- **www.otovo.it**
<https://www.otovo.it/blog/smart-city-citta-intelligente/>
 (ultima consultazione 16-05-2023)
- **www.overfly.me**
<https://www.overfly.me/rilievo-fotogrammetrico-cose-e-a-cosa-serve-la-nuvola-di-punti/>
 (ultima consultazione 12-06-2023)

- **www.puntomisura.it**
<https://www.puntomisura.it/it/prodotti/storia-del-rilievo-topografico>
 (ultima consultazione 11-06-2022)
- **www.quellidelmovimentoterra.it**
<https://www.quellidelmovimentoterra.it/it/9-Prodotti/158-Soluzioni-per-rilievi-e-mappature/2918-Laser-scanner-Trimble-X7.html>
 (ultima consultazione 10-06-2023)
- **www.spektra.it**
<https://www.spektra.it/sistema-laser-scanner-3d-trimble-x7/>
 (ultima consultazione 10-06-2023)
- **www.strumentitopografici.it**
<https://www.strumentitopografici.it/2019/05/16/fotogrammetria-e-laser-scanner-integrazione-e-comparazione/>
 (ultima consultazione 10-06-2023)
- **www.torinotoday.it**
<https://www.torinotoday.it/speciale/torino-smart-city.html>
 (ultima consultazione 20-05-2023)
- **www.tracciatori.com**
<https://www.tracciatori.com/it/servizi/rilievi-laser-scanner>
 (ultima consultazione 09-06-2023)
- **www.trimble-italia.com**
<https://www.trimble-italia.com/prodotti/laser-scanner/trimble-x7>
 (ultima consultazione 15-06-2023)

Bibliografia

- *Alberto De Marco e Giulio Mangano (2021) Evolutionary trends in smart city initiatives, Politecnico di Torino*
- *Archeologia e Calcolatori (2020) Il rilievo fotogrammetrico di Doclea, p. 213-230*
- *Archeologia e Calcolatori (2011) Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico, p. 169-198*
- *Camilla D'Amanzo e Stefania Cecibel Feijoo Rivas (2021) Digital Twin come strumento a supporto delle prassi di pianificazione a scala urbana per il cambiamento climatico. Analisi di cinque casi studio in ambito internazionale, Politecnico di Torino*
- *Cannarozzo, Cucchiarini e Meschieri (2012) La presa dei fotogrammi - Misure, rilievo, progetto*
- *Ciaramella A. et al. (2018) Smart furniture and smart city, Politecnico di Torino*
- *Comune di Milano (2020) Fornitura di rilievo cittadino con tecnologia multisensore terrestre ed aereo, Allegato 1 - Specifiche tecniche*
- *Comune di Milano (2020) Fornitura di rilievo cittadino con tecnologia multisensore terrestre ed aereo, Allegato 4 - Prodotti richiesti*
- *Comune di Milano (2020) Fornitura di rilievo cittadino con tecnologia multisensore terrestre ed aereo, Capitolato speciale d'appalto*
- *Comune di Torino (maggio 2023) Fascicolo nuovo layout - Stadio Olimpico*
- *Co.R.In.Te.A (2023) Portfolio Attività Soc. Coop. Corintea Area Transizione Digitale*
- *De Chiaro Micele e Garnero Gabriele (15 novembre 2019) Smart city e smart people: dalla realtà urbana alla realtà mista, Politecnico di Torino, p. 182-188*
- *DECRETO 10 novembre 2011 (2011) Regole tecniche per la definizione delle specifiche di contenuto dei database geotopografici*

- *GeoSLAM Ltd (1 agosto 2022) ZEB Horizon RT, Hardware User Guide v1.0*
- *Gerhard Schrotter e Christian Hürzeler (16 gennaio 2020) The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning*
- *Human Smart City Index (giugno 2022) Le città italiane dalla smart city ipertecnologica alla città a misura di persona, Executive Summary*
- *M. D’Orazi, Gabriele Garnero, Stefania Traverso e Emilio Vertamy (2021) Geomatics and Geospatial Technologies, The New Geodatabase of the Municipality of Genoa: Innovative Aspects and Applications, p. 216-228*
- *Piano Operativo (2023) - Living Lab Comune di Torino “ToMove” - Fondo complementare PNRR*
- *Piano Regionale Mobilità Ciclistica (2021) Proposta attributi minimi per il tracciamento GIS della rete ciclabile nella regione Piemonte*
- *Raffaella Cefalo (2022) Tecnologie Laser Scanning Teoria e Applicazioni, Università degli studi di Trieste*
- *Reviglio E. (15 settembre 2013) Smart City. Progetti di sviluppo e strumenti di finanziamento, Politecnico di Torino*
- *Tanda Adriano e De Marco Alberto (2019) Business Model Framework for Smart City Mobility Projects, Politecnico di Torino*
- *Trimble Italia (2019-2020) Trimble X7 Sistema Laser Scanner 3D, Scheda Tecnica*

Allegati

Allegato 1 - Tabella oggetti sul suolo pubblico e relativa simbologia

Allegato 2 - Cartografia Oggetti suolo pubblico - Categoria passi carrai 1:1000

Allegato 3 - Cartografia Oggetti suolo pubblico - Categoria benzinai 1:1000

Allegato 4 - Percorsi ciclabili della città di Torino 1:70000

Allegato 5 - Percorsi ciclabili della città di Torino classificati 1:70000

Allegato 6 - Tabella caratteristiche città italiane a confronto

Allegato 7 - Tabella caratteristiche città estere a confronto

Ringraziamenti

Con questo lavoro di tesi si conclude ufficialmente il nostro percorso all'interno del Politecnico di Torino durato sei anni ed è doveroso ringraziare per primo colui che ci ha seguito nel raggiungimento di quest'ultima tappa, il prof.re Garnerò Gabriele, che ha fornito estrema professionalità, disponibilità e particolare interesse per le tematiche trattate.

Un ulteriore ringraziamento anche a tutte le persone incontrate durante questo percorso, che hanno dato un grande sostegno e la loro piena partecipazione, vale a dire Paola e Antonio, membri del laboratorio cartografico LARTU, Giulio e tutti i suoi colleghi di Co.R.In.Te.A, Vertamy Emilio e Terrone Martino del Comune di Genova, Monti Bruno del Comune di Milano ed infine Michele, ricercatore all'interno del Politecnico di Torino.

Grazie al Comune di Torino ed ai suoi membri, in particolar modo al tutor aziendale Pirrello Gianfranco, per averci seguito durante il tirocinio svolto e per i materiali messi a disposizione.

Andrea e Carolina