



**Politecnico
di Torino**

Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio

Collegio di Pianificazione e Progettazione

Corso di Laurea Magistrale in Pianificazione Territoriale, Urbanistica e Paesaggistico
Ambientale - Codice Classe LM-48 (DM270) Pianificare la Città ed il Territorio

Anno Accademico 2021/2022

Tesi di Laurea Magistrale

Strumenti di Osservazione della Terra per Servizi Innovativi della Pubblica Amministrazione

Relatori:

prof. Piero Boccardo - DIST

prof. Stefano Paolo Corgnati - DENERG

Candidato:

Fabrizio Di Ruscio

Sessione di Laurea Dicembre 2022

*A mia moglie... Emma e Zoe...
e a chi mi ha sempre supportato e
sopportato nonostante tutto...*

Indice:

□ **Premessa**

□ **Introduzione**

□ **Parte Prima**

Capitolo 1 --- Gli strumenti di Osservazione della Terra

01.1 Un po' di storia

01.2 La situazione attuale

01.3 Gli strumenti di osservazione più utilizzati

01.4 Lo stato dell'arte in Italia

Capitolo 2 --- Gli usi più frequenti delle osservazioni terrestri

02.1 Quadro di riferimento

02.2 Valutazioni dallo scaricamento dei dati

02.3 Attività di adattamento e prevenzione

02.4 Scelta dei software da utilizzare

02.5 Modalità di sviluppo dei dati rilevati

Capitolo 3 --- Dataset di immagini eterogenee e dati

03.1 Modalità operative di osservazione e rilievo

03.2 Immagini aeree e acquisizioni georeferenziate

03.3 Elaborazione dei dati rilevati

03.4 Valutazioni dallo scaricamento dei dati

- 03.5** Determinazione delle risultanze d'osservazione
- 03.6** Attività di adattamento e prevenzione
- 03.7** Sviluppo di modelli 3d
- 03.8** Possibili usi delle risultanze

□ **Parte Seconda**

Capitolo 4 --- Le Metodologie di Osservazione della Terra a supporto della Pubblica Amministrazione

- 04.1** Obiettivi
- 04.2** Rilievi aerofotogrammetrici
- 04.3** Il modello Digital Twin
- 04.4** Urban Digital Twin
- 04.5** I modelli digitali di elevazione
- 04.6** La sequenza di processamento dei dati

Capitolo 5 --- Caso studio: Comune di Livorno Ferraris (Vc)

- 05.1** Workflow
- 05.2** Rilievo aereo e allineamento immagini
- 05.3** Generazione degli output
- 05.4** Acquisizione di punti con scansione laser - LiDAR
- 05.5** Costruzione del modello tridimensionale
- 05.6** Possibili applicazioni

Capitolo 6 --- Comune di Livorno Ferraris (Vc) – Urbanistica, Ambiente e Paesaggio

- 06.1** Assetto insediativo ed infrastrutturale
- 06.2** Strumenti Urbanistici generali in vigore
- 06.3** Evidenze rilevate dallo scaricamento del dataset

- 06.4** La dispersione insediativa - sprawl urbano
- 06.5** Il consumo di suolo
- 06.6** Le problematiche paesaggistico-territoriali
- 06.7** Le componenti ecologico-economiche
- 06.8** Valutazioni e dinamiche sul governo del territorio
- 06.9** Proposte di adattamento urbano
- 06.10** Piani resilienti di governo del territorio

Capitolo 7 --- La questione ambientale: resilienza ed efficientamento energetico

- 07.1** Valutazioni ambientali e contesti di interazione
- 07.2** Cambiamento climatico
- 07.3** Le scelte energetico-ambientali
- 07.4** Le risultanze dalle valutazioni dei dati rilevati
- 07.5** Le proposte di adattamento sul territorio
 - 07.7.1 Aree permeabili
 - 07.7.2 Rifiuti: aree di prima raccolta e isole ecologiche
 - 07.7.3 Verde pubblico: corona, parchi e orti urbani
 - 07.7.4 Reti stradali e piste ciclabili
 - 07.7.5 Impianti di produzione energetica
 - 07.7.6 Green e Circular Economy
 - 07.7.7 Comunità Energetiche Rinnovabili - C.E.R.
- 07.6** Adozione di politiche ed azioni sovracomunali

□ **Parte Terza**

Capitolo 8 --- Valutazione di efficientamento energetico fabbricato pubblico

- 08.1** Modalità di rilievo a scansione laser di un fabbricato

- 08.2** Creazione di un modello 3d di un fabbricato
- 08.3** Valutazioni energetiche d'efficientamento
- 08.4** Considerazioni attuative dai dati scaricati
- 08.5** Proposte di miglioramento della qualità energetica
- 08.6** Applicazione sul fabbricato rilevato ad uso pubblico

Conclusioni

Riferimenti bibliografici e sitografia

Premessa

Al fine di poter permettere alle zone urbane di adattarsi ai concetti di sviluppo di città intelligente, smart city, sempre più rapidi nella loro evoluzione, è necessario poter definire e successivamente adottare strategie e dinamiche di politiche territoriali al fine di poter garantire, nel contempo, un idoneo grado di sicurezza ed un buon livello di vita alle popolazioni che vivono la città, confort che dovrà potersi adattare e plasmare supportando un a di pianificazione dei servizi urbani e delle sue risorse.

Questo concetto è strettamente connesso a quello di Urban Digital Twin, strumento d'unione tra la rappresentazione virtuale del modello urbano e delle risorse fisiche della città stessa. Metodo da adottarsi per poter delineare la struttura dei centri urbani con un elevatissimo grado di precisione, al fine di puntualizzare quanto definito.

Questo studio ha pertanto come primo fattore rilevante, il rilievo plano-altimetrico e aerofotogrammetrico della città da analizzare, per poter, di seguito, andare a sviluppare la realizzazione e la parametrizzazione di un modello territoriale, anche tridimensionale solido ad alta risoluzione, sulla base di un Digital Twin urbano, ottenuto dall'elaborazione di un dataset eterogeneo di immagini aeree ottiche, sia oblique e che nadirali, ovvero di dati LiDAR.

Effettuate le operazioni di rilievo, la prima fase del lavoro di tesi è consistita nella generazione di un modello digitale della superficie, modello Digital Surface Model DSM, e di un ortomosaico, successivamente analizzati dal punto di vista dell'accuratezza geometrica ed altimetrica, al fine di andare ad ottenere un benchmark sugli output generati da differenti software per la modellazione 3D, quali ad esempio Agisoft-Metashape, ESRI-ArcGIS Pro, PCI Geomatics-Catalyst Professional, Pix4d-PiX4Dmapper. Definito quindi il

software più idoneo, ed a seguito dell'implementazione del modello già generato con una nuvola di punti LiDAR, si è proceduti alla generazione di un modello 3d texturizzato ad altissima risoluzione e di un modello 3d vettoriale, il tutto per poter avere una visione realistica ad alta risoluzione del centro urbano rilevato e da sottoporre ad una dettagliata analisi che può avere implicazioni sotto il punto di vista delle politiche di governo del territorio intese nella loro massima estensione del campo di applicazione e di concetto.

Proprio questo modello tridimensionale ad alta definizione così ottenuto è stato valutato come possibile strumento innovativo a supporto della pianificazione territoriale e per la valutazione energetica del patrimonio edilizio esistente, con un particolare riguardo alla tematica dell'efficientamento, relativamente, come analisi più immediata, alla stima del potenziale fotovoltaico dei tetti degli edifici, per poi passare ad una considerazione applicativa più dettagliata e afferente al tenore ed al confort quotidiano della popolazione che vive la città.

In order to allow urban areas to adapt to the concepts of development of intelligent cities, smart cities, increasingly rapid in their evolution, it is necessary to be able to define and subsequently adopt strategies and dynamics of territorial policies in order to be able to guarantee, at the same time, a suitable degree of security and a good standard of living for the populations who live in the city, a comfort that will have to be able to adapt and shape by supporting a planning of urban services and its resources.

This concept is closely connected to that of the Urban Digital Twin, a tool of union between the virtual representation of the urban model and the physical resources of the city itself.

Method to be adopted in order to delineate the structure of urban centers with a very high degree of precision, in order to point out what is defined.

This study therefore has as its first relevant factor, the plano-altimetric and aerial photogrammetric survey of the city to be analyzed, in order to be able, subsequently, to develop the realization and parameterization of a territorial model, also three-dimensional solid high resolution, on the basis of an urban Digital Twin, obtained from the processing of a heterogeneous dataset of optical aerial images, both oblique and nadiral, or of LiDAR data.

Once the survey operations have been carried out, the first phase of the thesis work consisted in the generation of a digital model of the surface, Digital Surface Model DSM model, and of an orthomosaic, subsequently analyzed from the point of view of geometric and altimetric accuracy, in order to go to obtain a benchmark on the outputs generated by different 3D modeling software, such as Agisoft-Metashape, ESRI-ArcGIS Pro, PCI Geomatics-Catalyst Professional, Pix4d-PiX4Dmapper. After defining the most suitable software, and following the implementation of the model already generated with a LiDAR point cloud, we proceeded to the generation of a very high resolution textured 3d model and a vector 3d model, all in order to have a realistic high resolution view of the detected urban center and to be subjected to a detailed analysis that may have implications from the point of view of the territorial government policies intended in their maximum extension of the field of application and concept.

Precisely this high-definition three-dimensional model obtained in this way was evaluated as a possible innovative tool to support territorial planning and for the energy assessment of the existing building heritage, with particular regard to the issue of efficiency, relatively,

as a more immediate analysis, to the estimate of the photovoltaic potential of the roofs of buildings, and then move on to a more detailed application consideration relating to the content and daily comfort of the population living in the city.

Introduzione

Le moderne comunità urbane sono quotidianamente sempre più chiamate ad affrontare una delle sfide più ardue del nuovo millennio, ovvero quella di poter realizzare habitat sostenibili e resilienti. A tale scopo hanno sviluppato competenze multidisciplinari rispondendo alla ineluttabile trasformazione digitale della società contemporanea. In questo contesto, le metodologie di rilievo del territorio e di conseguenza il Digital Twin si inseriscono come strumenti di unione tra la rappresentazione virtuale del modello urbano e la città stessa, dando vita al cosiddetto “Urban Digital Twin” che, di una città, costituisce la sua copia fedele in un mondo virtuale. Questo modello è basato sul concetto originariamente sviluppato per i sistemi industriali con applicazione al contesto urbano, grazie ai progressi ottenuti nel campo delle tecnologie geospaziali, specificatamente della modellazione digitale tridimensionale della città, partendo dai sistemi di osservazione della Terra da cui si possono appunto andare a rilevare, sviluppare ed ottenere i dati necessari a tali operazioni.

Per primo si deve assolutamente andare ad affrontare gli aspetti generali e i principi fondamentali legati alla modellizzazione 3d, nonché la contestualizzazione del cosiddetto “gemello digitale” in ambito urbano, per comprendere quelli che possono essere i risvolti applicativi di tale modello nella realtà contemporanea sempre più digitalizzata ed

interconnessa. L'analisi, che si svilupperà in questa tesi, è stata condotta sul territorio di Livorno Ferraris (Vc), cittadina del vercellese posizionata sul sistema di coordinate geografiche WGS84 UTM 32N a 428231.88m Est ed a 5014654.95m Ovest.

Per questo studio è stato utilizzato un dataset di immagini eterogeneo composto da immagini aeree nadirali e oblique ed acquisizioni georeferenziate a scansione laser, dati LiDAR per l'appunto. Per l'elaborazione di questi sono stati utilizzati software di Structure from Motion - SfM, ossia Agisoft © Metashape, ESRI™ ArcGIS Pro, PCI Geomatics® Catalyst Professional, Pix4d™ PIX4Dmapper, specifici nella gestione di dataset consistenti di immagini acquisite da volo aereo o da drone e nella realizzazione di modelli 3d ad alta risoluzione, quali modelli DSM, modelli tridimensionali texturizzati, ed infine modelli mesh.

In questa fase, lo studio si è focalizzato sulle capacità computazionali di tali programmi per la generazione di DSM ed ortomosaici, consentendo la realizzazione di un benchmark incentrato sull'accuratezza geometrica e altimetrica degli output ottenuti. Definito il software più idoneo, a seguito dell'implementazione del modello già generato con una nuvola di punti LiDAR, si è proceduti, alla generazione di un modello 3d texturizzato ad altissima risoluzione e di un modello 3d vettoriale. La peculiarità di tale studio è stata l'elaborazione di tre diverse nuvole dense di punti allo scopo di incrementare la qualità finale del modello, in particolar modo del dettaglio degli elementi architettonici e strutturali presenti sulle facciate degli edifici.

Infine, nell'ultima parte del presente lavoro di tesi viene analizzata la capacità di declinare la realizzazione di modelli digitali in termini di stima del potenziale energetico, come ad esempio quello fotovoltaico delle coperture inclinate degli edifici. Questa applicazione pratica dimostrerà come il modello 3d, opportunamente integrato ed "alimentato", può

diventare uno strumento fondamentale nella pianificazione territoriale e della sempre più complessa gestione del tessuto urbano, anche al fine di aumentare la sicurezza delle zone abitate.

Inoltre sotto il profilo urbanistico, o di governo del territorio, si possono ancor meglio andare ad evidenziare tutti quei fenomeni di alterazione del territorio, quali su tutti la dispersione insediativa, o sprawl urbano. Questa dispersione risulta essere un fenomeno che viene associato ad una crescita disordinata di edifici e infrastrutture che impoverisce la bellezza e l'autenticità del paesaggio e ne limita, nel contempo, una corretta fruizione del contesto urbano. La dispersione insediativa spesso prolifera su aree non pianificate ed è generatrice di diseconomie di diverso tipo.

Tale fenomeno può essere accompagnato da problemi paesaggistici e da aspetti negativi sotto il profilo ecologico, estetico ed anche economico. In estrema sintesi, “la dispersione è correlata alla casualità di nuove localizzazioni, alla perdita di una chiara forma urbana; un modello di urbanizzazione caratterizzato dall’assenza di strumenti di pianificazione strategica e, quindi, con debole capacità di pianificazione e gestione alla scala vasta dei processi di trasformazione insediativa”.

Tra le diseconomie sottoposte ultimamente ad attenzione della pubblica opinione c'è soprattutto il consumo di suolo, dovuto all'impermeabilizzazione ed alla cementificazione del territorio. I dati sul consumo di suolo degli ultimi anni sono rilevanti e destano preoccupazione sia in ambito nazionale che in ambito europeo.

Il sistema insediativo, lo sprawl urbano, lo studio e il monitoraggio del territorio con nuove e moderne tecnologie rappresentano una parte di quanto il Digital Twin Urban può contrastare, prettamente sotto il profilo urbanistico, testando questi nuovi metodi e

tecniche utili per la valutazione dell'espansione urbana, applicando strategie e dinamiche di governo del territorio tali da beneficiare alle popolazioni residenti.

Tutto il lavoro di tesi si è pertanto basato sull'integrazione dei rilievi effettuati determinandone in modo telematico ad alta risoluzione modelli territoriali e tridimensionali dell'area di studio, riguardante il contesto territoriale della zona urbana del concentrico del Comune di Livorno Ferraris (Vc), al fine di potersi concentrare sull'applicazioni di metodologie di valutazione ed analisi rivolte ad una migliore e sicura adozione di programmi e progetti tali da aumentare i confort della popolazione.

Parte I

Capitolo 1 --- Gli strumenti di osservazione della Terra

01.1 Un po' di storia

L'esigenza di rappresentare il territorio, di definirne contorni e caratteri in funzione di specifici bisogni e finalità, è antichissima e certamente accompagna l'evoluzione della civiltà umana fin dai suoi esordi, come attestano per esempio le incisioni rupestri giunte fino a noi, tra le quali quelle celeberrime della Valcamonica (G. Amadio 2012).



Non appare quindi azzardato definire come carte geografiche le testimonianze dei differenti modi che i più diversi popoli, fin dalla preistoria, hanno sperimentato per rispondere a questa esigenza. La molteplicità dei supporti, come ad esempio pietre, metalli, tavolette di argilla, papiri, pelli di animali e più tardi la carta, per citarne solo alcuni, la complessità e la raffinatezza delle tecniche adottate confermano l'importanza attribuita a tale attività che, pur nella varietà delle culture e delle epoche, all'inizio era tesa sostanzialmente a definire i confini del territorio di pertinenza di un determinato gruppo.

Con la nascita delle grandi civiltà fluviali della Mesopotamia e dell'Egitto, si assiste allo sviluppo dell'attività cartografica, strettamente correlato con quello della matematica, della geometria e dell'astronomia, tanto che ben presto si è in grado di misurare le terre e di censire i proprietari, ed è dunque possibile redigere una sorta di catasto, che diviene la base per il prelievo fiscale: ce ne danno testimonianza antichissime tavolette d'argilla babilonesi.

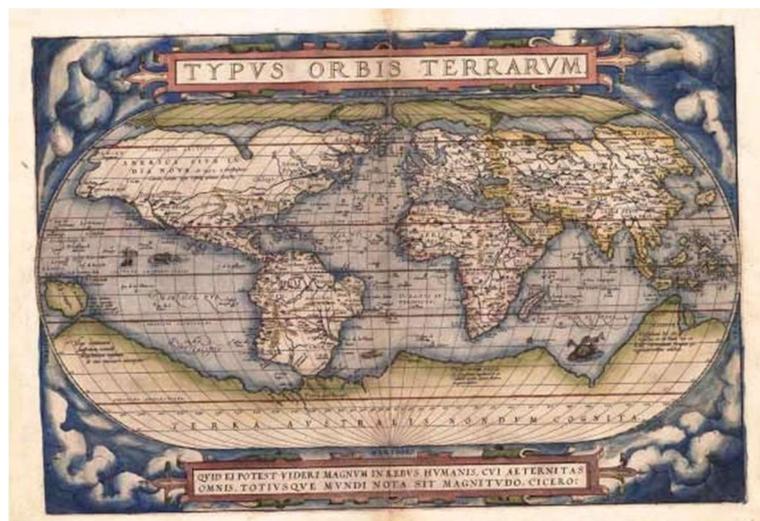
In Egitto, dove ogni piena del Nilo rendeva necessario rideterminare i confini dei campi alterati dall'inondazione, questa esigenza di misurazione a fini catastali era ancora più marcata, difatti per poter procedere alla tassazione, occorreva individuare in modo inoppugnabile i legittimi proprietari.



Si può senza dubbio sottolineare come l'evoluzione della tecnica cartografica sia strettamente legata a quella delle conoscenze matematiche ed astronomiche, sorprendentemente sviluppate presso i popoli antichi, anzi, è possibile che proprio le esigenze cartografiche abbiano costituito uno stimolo per l'evoluzione di queste scienze. Il clamoroso fenomeno di esplorazione e colonizzazione di nuove terre, a cui questi popoli diedero vita, fu stimolo allo sviluppo delle tecniche cartografiche ma anche, in qualche

modo, loro conseguenza, infatti perché la colonizzazione potesse avvenire, era indispensabile una descrizione pratica ed accurata delle terre che apparivano probabili mete per i nuovi insediamenti. Fenici e greci e, più tardi, romani ed arabi, seppero soddisfare questa esigenza, dando impulso allo sviluppo delle tecniche cartografiche per organizzare il territorio.

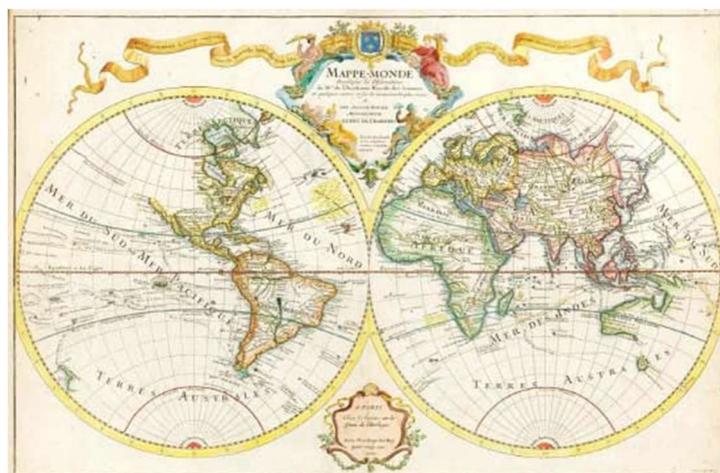
L'eredità della grande tradizione cartografica greca è raccolta dagli arabi, molto probabilmente attraverso la mediazione del mondo bizantino, della cui attività in questo ambito sappiamo peraltro poco.



L'introduzione della stampa a caratteri mobili, rendendo molto più agevole la riproduzione delle opere, ne aumenterà notevolmente la diffusione, e di nuovo gli schemi tolemaici torneranno a fornire un modello per l'attività cartografica. Da qui vengono costruiti i primi strumenti per l'osservazione celeste e terrestre, viene perfezionata la bussola, nasce la stampa, che consente una più agevole riproduzione delle copie delle carte. Parallelamente allo sviluppo dei commerci e delle marinerie degli stati dell'Europa centro-settentrionale cresce il ruolo delle scuole cartografiche che qui hanno sede.



L'eccellenza di queste opere non sta soltanto nel loro interesse documentario e scientifico ma anche nel fatto che dimostrano, con l'elegante fattezze della loro realizzazione e l'indiscusso valore artistico che assumono, come ormai il prodotto cartografico sia sempre più orientato a rispondere anche alle esigenze di natura estetica di ricchi acquirenti; quella del cartografo diventa un'attività lucrosa e nascono grandi atelier cartografici e dinastie di cartografi. Anche grazie alla ricca produzione delle repubbliche marinare, l'Italia ha da tempo assunto una posizione di leader nell'attività cartografica. La portata che l'attività cartografica viene assumendo è ormai molto vasta.



E così pian piano si arrivò all'unificazione amministrativa del nostro paese seguita alla promulgazione del Regno d'Italia, che ha imposto il controllo degli atti comunali, e pertanto anche quelli catastali, da parte del governo centrale, che declinò il tutto ad un mero supporto cartaceo sempre più elaborato e ben evidenziato a livello proprietario.

01.2 La situazione attuale

Il supporto informatizzato, basato cioè su tecnologie informatiche, ha oggi largamente sostituito carte, tabulati ed altri veicoli tradizionali delle informazioni geografiche.

Al suo interno, le informazioni sono raccolte in archivi organizzati e definiti quali detti basi di dati, i database-DB, se descrivono oggetti e fenomeni del mondo reale di cui è riportata la posizione spaziale, prendono il nome di database geografici, i Geo-DB. La sostituzione del supporto cartaceo con quello informatizzato ha portato a rivedere i criteri di raccolta, immagazzinamento, utilizzo e presentazione delle informazioni geografiche, per la cui diffusione e fruizione, che ora avviene in forma capillare, ha avuto inizio una nuova era. Nel supporto informatizzato si possono immagazzinare le informazioni con accuratezza a grande scala, il tutto consentito dalle metodologie di acquisizione e, tramite un'operazione di selezione, si possono scegliere gli oggetti da trattare. Questa operazione sostituisce quella che ha generato il concetto di scala cartografica, infatti il contenuto informativo è definito dalla possibilità di rappresentarlo sulla carta, ancor più facilitato dal fatto che la scala di rappresentazione degli oggetti, la cui posizione nei database geografici è espressa in coordinate terreno, è di uno a uno reale.

La carta continua ovviamente ad avere la sua validità, come supporto di presentazione delle informazioni di base e tematiche e dei risultati di analisi operate nel sistema informativo geografico informatizzato, andando ad esprimere una particolare visione del

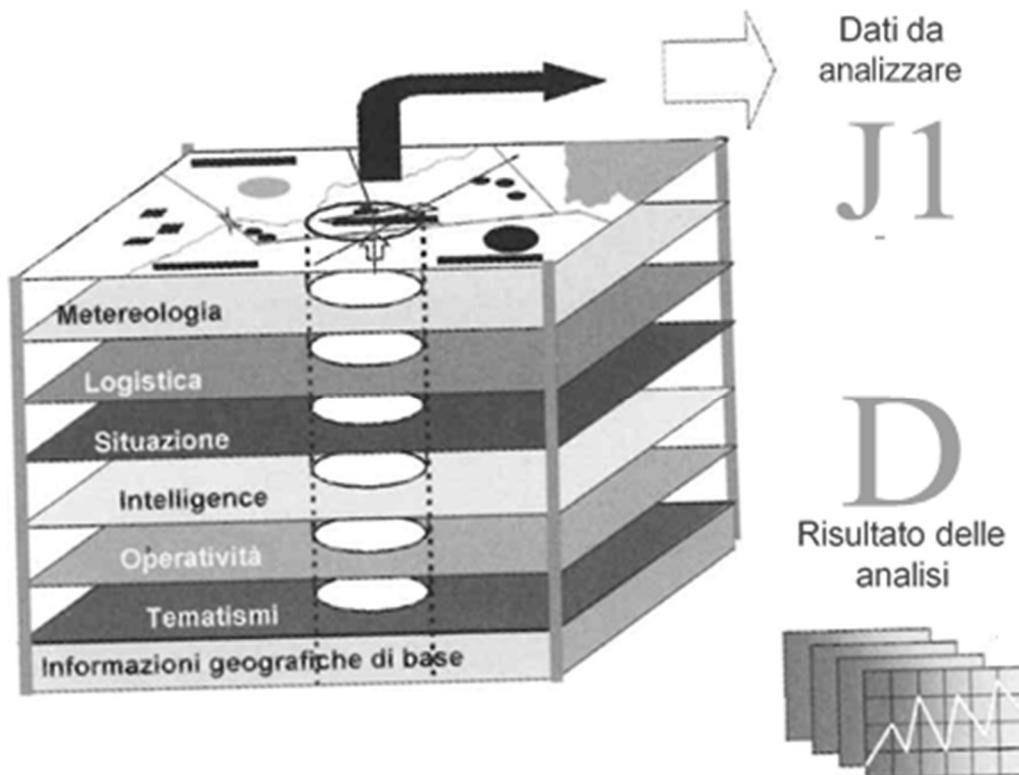
database. Sono così state inventate e sviluppate diverse applicazioni informatiche in grado di restituire graficamente tutte le informazioni geografiche, quali editor grafici e disegnatori automatici, come ad esempio i plotter, che hanno dato inizio alla cosiddetta automazione cartografica.

La rivoluzione vera e propria si è operata quando lo strumento informatico ha consentito di effettuare analisi spaziali su oggetti del mondo reale attraverso l'analisi di un suo modello informatizzato, opportunamente creato. Individuato un fenomeno del mondo reale, una entità, la sua rappresentazione avviene dunque tramite un oggetto, che ne è la trasposizione digitale nel database (G. Amadio 2012).

Il sistema popolato da questi oggetti ha preso il nome di Geographic Information System, ovvero il GIS, dove il dato geografico è costituito, oltre che dalla componente geometrica, dalla componente alfanumerica associata ed anche da una componente di relazione tra gli oggetti necessaria per l'effettuazione delle analisi spaziali. In italiano l'espressione Geographic Information System è generalmente tradotta con Sistema Informativo Territoriale, il SIT, evidenziando la presenza sia di dati prettamente fisici, quali strade, fiumi, edifici, vegetazione e via discorrendo, su cui operare analisi spaziali, sia di altri attinenti alla gestione del territorio sotto tutti gli aspetti, anche se non necessariamente georeferenziati ma correlati agli oggetti geografici, il tutto su riportato e definito a grande scala. Dal punto di vista degli specifici componenti, un GIS è un insieme di hardware, di software di base, di software applicativo, di dati geografici residenti nel Geo-DB, di risorse umane per l'acquisizione e l'aggiornamento dei dati, di risorse umane per l'impianto, lo sviluppo e la manutenzione di applicazioni, di amministrazione del sistema, della rete, del database, ed infine di utenti, applicati in sola lettura, in lettura e in scrittura-aggiornamento. Una particolare attenzione merita la componente umana, e l'ambito in cui

questa opera, in relazione alle specifiche conoscenze tecniche che gli addetti all'acquisizione, gestione, interrogazione ed aggiornamento dei dati devono possedere.

In generale, nei sistemi informativi geografici, oltre ai dati di base, intervengono altre tipologie di dati, e solo dal loro esame combinato si ha un'analisi completa. Sempre di più l'analisi territoriale deve essere svolta in una visione integrata di tutti i fattori e fenomeni che insistono sulle attività umane. Nella seguente figura si riportano come esempio le tipologie di dati necessari ad un'analisi per il controllo del territorio.



Per quanto concerne il rapporto dei SIT con il mondo su cui operano, si potrebbe individuare un ciclo iterativo, che inizia con l'osservazione e la documentazione del mondo reale, prosegue con la raccolta dei dati in forma digitale e l'immissione nel sistema,

continuando con la strutturazione e poi con l'utilizzo, attraverso l'analisi, dei dati. Questo determina decisioni che portano, nella stragrande maggioranza dei casi, a modificazioni ed interventi sul territorio.

01.3 Gli strumenti di osservazione più utilizzati

Al fine di poter andare a creare i database-DB necessari alla realizzazione dei sistemi informativi territoriali, gli strumenti più utilizzati per rilevare le aree da rappresentare virtualmente, sono essenzialmente quelli di fotogrammetria digitale, poiché dotati di efficientissimi livelli e gradi di alta definizione.

La fotogrammetria è la scienza che consente di ottenere informazioni metriche di oggetti fisici attraverso processi di registrazione, misura e interpretazione di immagini fotografiche. Risolvere un problema fotogrammetrico significa individuare le trasformazioni da applicare alle coordinate dello spazio immagine della fotografia in modo da relazionarlo con le grandezze dello spazio oggetto da rilevare (A. Marzocca di PoliBa).

La soluzione del problema fotogrammetrico può essere riassunta in tre fasi:

- presa --- dalle coordinate tridimensionali dello spazio oggetto, noti i parametri di orientamento interno di una macchina fotografica si ottengono le coordinate bidimensionali dell'immagine;
- orientamento --- una volta individuate le coordinate oggetto e immagine, vengono valutati i parametri di orientamento esterno;
- restituzione --- tramite le coordinate immagine e i parametri di orientamento vengono determinate le coordinate spaziali dell'oggetto.

La fotogrammetria digitale permette di costruire modelli tridimensionali a partire da immagini fotografiche. Gli algoritmi implementati dai vari software per la comparazione di due o più fotogrammi stereometrici, si basano sui principi teorici della fotogrammetria tradizionale, ovvero sulla collinearità, sulla intersezione di raggi proiettivi, e sulla calibrazione della fotocamera.

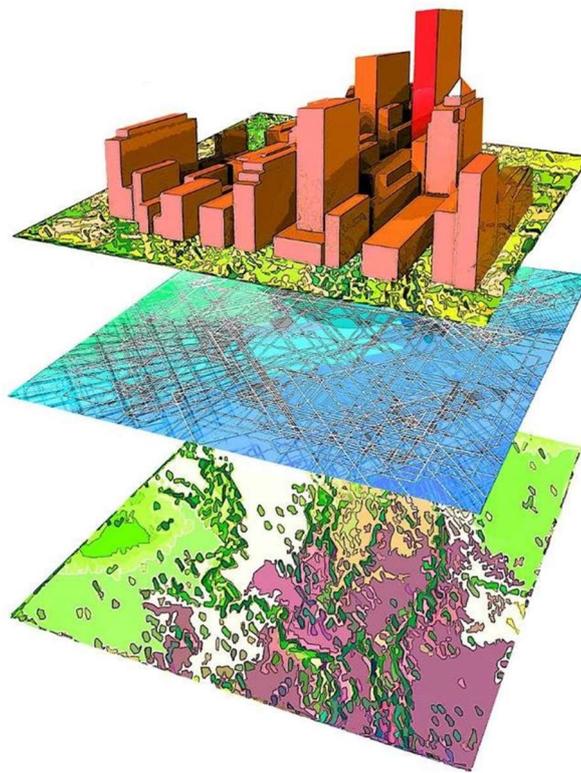
A tali principi teorici si dovranno affiancare gli algoritmi tipici della visione robotica che consentono di raggiungere un elevato grado di automazione in numerose fasi del processo fotogrammetrico. Da qui nascono gli algoritmi cosiddetti di Structure from Motion - SfM, ossia una tecnica che attraverso la collimazione automatica di punti omologhi presenti in un insieme di foto, permette la ricostruzione della forma reale di oggetti. Acquisendo immagini da diverse prospettive, è possibile ricostruire la tridimensionalità e pertanto la struttura (P. Rossi e P. Corradeghini di 3dMetrica).

01.4 Lo stato dell'arte in Italia

Oggi, l'informazione geografica deve essere sempre più disponibile in tempo utile, con l'adeguata accuratezza, della giusta struttura dati, con possibilità di coniugarla con la componente intelligence in una visione integrata del territorio, al fine di consentire una efficace pianificazione e la corretta gestione dei servizi ad esso collegati. Si è pertanto arrivati alla definizione di Infrastrutture di Dati Territoriali - IDT, o Spatial Data Infrastructure - SDI, in cui agli utenti finali viene messa a disposizione una procedura software per gestire completamente gli oggetti di proprio interesse, estendendo addirittura a non addetti ai lavori la consultazione dei dati messi a disposizione.

L'Infrastruttura di Dati Territoriali - IDT è un insieme di politiche, accordi istituzionali, tecnologie, dati e persone che rendono possibile la condivisione e l'uso efficiente

dell'informazione geo-grafico-territoriale tra tutti i livelli della Pubblica Amministrazione. Deve essere possibile, agli utenti ed alle applicazioni, l'integrazione e la condivisione tra fonti diverse delle informazioni territoriali, anche se raccolte a diversi livelli e a diverse scale. La prima fase di questo progetto consiste nel predisporre i dati geografici e un sistema informatico, definibile come infrastruttura informatica, insieme agli applicativi di gestione.



Nella Pubblica Amministrazione il SIT trova applicazione ben sviluppata per l'analisi dei dati territoriali e per la definizione delle dinamiche e delle strategie per l'adozione di azioni di governo del territorio, inteso non solo prettamente sotto il profilo urbanistico, ma come sistema di controllo unificato di tutte quelle operazioni che orbitano sulla gestione

territoriale, difatti ad ogni oggetto fisico rilevato si possono andare ad associare dati di interesse quali immagini fotografiche, la regolarità autorizzativa dell'edificio e quant'altro collegabile agli oggetti contenuti dei database.

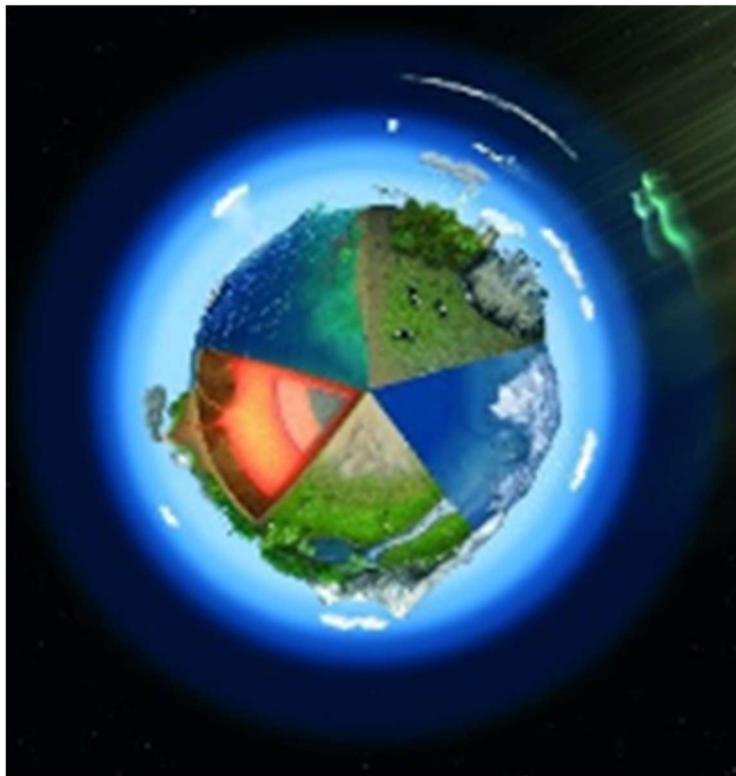
Normalmente la base di sviluppo di questi sistemi informativi è quella della cartografia catastale alla quale si vanno a sovrapporre altri layers come ad esempio lo strumento urbanistico generale comunale, le orto-fotografie promosse dalle regioni, la cartellonistica stradale orizzontale e verticale, le reti del servizio idrico integrato e via discorrendo, in base agli interessi degli operatori e degli utilizzatori del sistema in questione.

L'informatizzazione nella Pubblica Amministrazione ha sicuramente favorito il processo di creazione dei SIT, anche se anticipato dalla normativa urbanistico edilizia che ha introdotto la totale abolizione dei documenti cartacei, sia per le istanze da trasmettere che per gli atti e i provvedimenti da rilasciare.

Capitolo 2 --- Gli usi più frequenti delle osservazioni terrestri

02.1 Quadro di riferimento

Si ritiene sempre più strategico rafforzare le attività nel settore delle Osservazioni della Terra, finalizzate allo studio dei fenomeni naturali a impatto diretto anche per una migliore comprensione del clima e dei rischi naturali, e per un uso sostenibile delle risorse e dell'energia, e per la tutela e la gestione degli ecosistemi, finalità raggiungibili anche attraverso lo sviluppo di strumenti e metodi di indagine innovativi. Le attività e tecnologie di osservazione della Terra si rivelano strumento ideale per promuovere soluzioni innovative volte a rispondere ai cinque obiettivi individuati nella Strategia Europa 2020 “in materia di occupazione, innovazione, istruzione, integrazione sociale e clima/energia”.



I programmi di accesso transnazionale contribuiranno allo sviluppo di capacità attraverso la mobilità dei ricercatori, elemento portante della European Research Area. Gli obiettivi

specifici verteranno quindi sul potenziamento delle attività di ricerca rivolte all'analisi di osservazioni sistematiche per lo studio dell'atmosfera, del sistema costiero e marino profondo, della terra solida, del suolo, degli ecosistemi e delle biodiversità e di specifici hot spot climatici.

L'approccio sistemico da adottare dovrà essenzialmente poter mirare ad affrontare in modo innovativo lo studio dei fenomeni ambientali sfruttando le potenzialità offerte dall'integrazione dei sensori satellitari di nuova generazione con le altre piattaforme di osservazione aeree, terrestri, marine e di reti di sensori attualmente disponibili.

Gli obiettivi specifici verteranno quindi sul potenziamento delle attività di ricerca rivolte all'analisi di osservazioni sistematiche per lo studio dell'atmosfera, del sistema costiero e marino profondo, della terra solida, del suolo, degli ecosistemi e delle biodiversità e di specifici hot spot climatici.

Alla scala che interessa più direttamente il presente lavoro di tesi, il potenziamento dovrà essere necessariamente riferito all'analisi di osservazioni del suolo, con puntuale marcamento territoriale all'estensione comunale o d'area più vasta sovracomunale proprio per la creazione di sistemi informativi territoriali, estendendo il tutto alla possibile resilienza del cambiamento climatico, naturalmente a pari scala.

02.2 Valutazioni dallo scaricamento dei dati

Soltanto osservando il nostro Pianeta dallo spazio è possibile vedere in dettaglio l'intera sfera terrestre. Grazie ai satelliti possiamo monitorare e studiare ininterrottamente e su larga scala l'ambiente naturale e l'impatto dell'attività umana sui mari, sulle terre emerse e sull'atmosfera.

Di conseguenza, l'osservazione terrestre può fornire informazioni essenziali per prendere decisioni in materia di protezione ambientale, clima, uso del suolo, monitoraggio delle coste, gestione delle catastrofi e sviluppo sostenibile. Questa attività ha già da tempo confermato la sua rilevanza in campo sociale, economico e scientifico (Osservazione Terrestre da SEFRI-Ch).

Le metodologie strumentali di Osservazione della Terra, come sopra evidenziato, fornendo costantemente dati a supporto delle attività di monitoraggio e vigilanza, hanno una parte rilevante nella prevenzione e nella gestione in sicurezza di tutti quegli eventi che possono andare ad alzare il livello di rischio per l'incolumità di cose e persone.

Oltre alla pianificazione e al lancio di missioni scientifiche, denominate Earth Explorers, i programmi di osservazione terrestre dell'European Space Agency, ESA, includono anche la realizzazione di satelliti e strumentazione per la meteorologia operativa, in collaborazione con EUMETSAT, e per la componente spaziale del programma dell'UE Copernicus.

A specifiche parti dei programmi vengono inoltre dedicate missioni e attività particolari, che aiutano a garantire l'indipendenza dell'Europa in materia di osservazione operativa della Terra. L'Iniziativa ESA sul Cambiamento Climatico, ovvero le Climate Change Initiative - CCI, contribuisce a raggiungere gli obiettivi del Global Climate Observing System aggiungendo le sue serie temporali di dati satellitari alle informazioni sulle variabili climatiche essenziali a disposizione a livello globale. (Osservazione Terrestre da SEFRI-Ch).

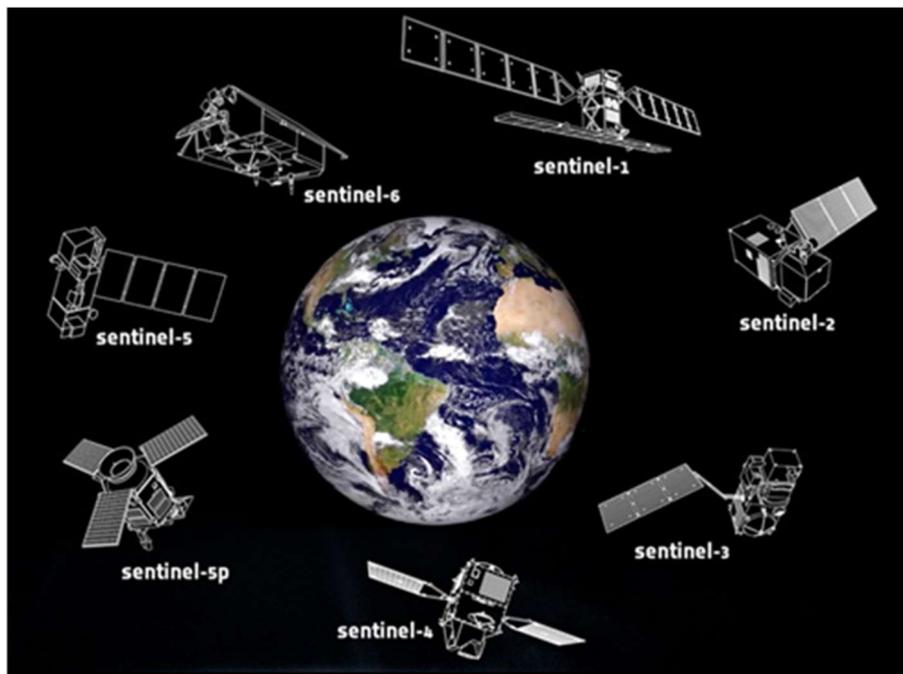
Il grado di risoluzione della strumentazione impiegata per le operazioni di Osservazione della Terra ha ormai raggiunto una risoluzione altissima, basti pensare che si possono raggiungere risoluzioni spaziali pari ad una trentina di centimetri a terra, ciò significa che

un pixel dell'immagine rilevata da un satellite in orbita è grande quanto una piastrella di un pavimento.

Un livello di dettaglio visivo così alto permette di riconoscere non solo la presenza di particolari oggetti sulla superficie terrestre, come ad esempio un edificio, ma anche qualità specifiche di questi oggetti, come per esempio le tipologie costruttive del medesimo fabbricato.

Gli utilizzi applicativi di questi dati, come si può immaginare, sono innumerevoli, dall'intelligence militare all'urbanistica, per arrivare al monitoraggio ambientale ed alla gestione delle emergenze.

Chiaramente esistono diverse modalità di rilievo satellitare, tali da garantire un'efficienza di risultato più o meno ad alta risoluzione in base all'obiettivo che si è posti. Difatti si può operare con l'utilizzo di un singolo satellite, oppure interagendo con una costellazione di satelliti in modo da ottenere più immagini da diverse angolazioni dello stesso oggetto.



Oltre all'elevata risoluzione spaziale, questi satelliti sono anche in grado di poter acquisire immagini con una sempre maggiore risoluzione spettrale, fotografando cioè la superficie terrestre in porzioni dello spettro elettromagnetico non visibili ad occhio nudo. Stiamo pertanto parlando dell'infrarosso o dell'ultravioletto.

L'analisi di immagini multispettrali con questo livello di dettaglio, che si può fare alternando la combinazione delle diverse bande con software dall'utilizzo intuitivo, come ad esempio ERDAS Image, permette di comprendere fenomeni non visibili ad occhio nudo, sia sulla superficie terrestre che nel mare (M. Zotti 2015).

Che si scelga di utilizzare un solo satellite o una costellazione di satelliti, la crescente risoluzione temporale favorisce l'utilizzo di queste risorse spaziali per attività di monitoraggio. Per risoluzione temporale si intende la capacità del satellite di effettuare acquisizioni su una stessa area, con passaggi ripetuti a distanza di poche settimane o giorni.

Le tecnologie di Osservazione della Terra, grazie ai costi contenuti delle acquisizioni satellitari, sono sempre più di frequente utilizzate per le attività di monitoraggio. Difatti si possono rivelare come soluzioni più efficienti per il controllo dell'avanzamento lavori di grandi opere o per la ricognizione di aree soggette a cambiamenti frequenti, a causa di interventi antropici o anche per fattori ambientali, in tutti i casi in cui l'area non sia abbastanza vasta da giustificare i costi connessi ad un sorvolo aereo, ma al tempo stesso sia troppo grande o non adatta per essere fotografata con un drone.



Un altro contributo di grande valore da parte dell'Osservazione della Terra tramite strumentazioni satellitari sta nel supporto che offrono in situazioni di emergenza. Essendo sempre in orbita, in caso di condizioni meteo favorevoli possono facilmente andare ad acquisire immagini su aree critiche, come ad esempio l'immagine acquisita sulla centrale nucleare di Fukushima in Giappone dopo il maremoto del 2011.



In ultimo, iniziano invece ad essere superati, ormai, gli utilizzi legati alla produzione di cartografia cosiddetta tradizionale, per i quali le foto aeree sono la soluzione migliore. A meno che uno non abbia bisogno di creare da zero cartografia accurata di qualche area inesplorata o di altri posti sperduti: in questi casi un'acquisizione stereoscopica di un dato a quaranta centimetri di risoluzione assicura una base informativa di straordinaria qualità per derivare cartografia estremamente dettagliata (M. Zotti 2015).

Alla Luce delle attuali tecniche utilizzate per l'Osservazione della Terra, quello del monitoraggio potrebbe essere il ruolo più adatto per le rilevazioni satellitari, mentre per arrivare ad una restituzione ad altissima risoluzione, come la realizzazione di cartografie, le tecniche da utilizzare ricadono sicuramente sulla fotogrammetria con volo aereo o con l'uso di droni.

02.3 Attività di adattamento e prevenzione

Secondo l'Agenzia Spaziale Canadese, la Canadian Space Agency, avere informazioni dallo spazio è l'unico modo per monitorare incendi, alluvioni e altri disastri naturali in un territorio così vasto come il Canada, ma ciò vale anche per molte altre regioni terrestri e anche per territori su scala ben più ridotta.

Sono diverse le iniziative introdotte da diversi attori, ovvero molte agenzie spaziali come quella Europa, la European Space Agency - E. S. A., rendono i dati che producono alcune costellazioni di propri satelliti completamente open source, di libero accesso e consultazione.

Stiamo assistendo inoltre a una gara tra colossi come Microsoft, Google, e Amazon.com che hanno costruito sistemi che mettono insieme dati pubblici sul clima, per la maggior parte ottenuti tramite satelliti e resi disponibili per chiunque voglia utilizzarli al fine di

Alla scala di riferimento della Pubblica Amministrazione, le attività di adattamento e prevenzione vertono essenzialmente sulla sicurezza delle persone, pertanto anche se su diversa proporzionalità territoriale, si possono e si devono adottare tecnologie informatiche in grado di gestire nel migliore dei modi possibili tutte quelle dinamiche di controllo e di governo del territorio tali da poter permettere la prevenzione di azioni che potrebbero generare rischi ed avere impatti negativi su quelle che sono le condizioni di vita delle popolazioni interessate.

Chiaramente più la scala si riduce e più dovrebbero aumentare le tecniche di controllo e di monitoraggio, ma a dettare tali gradi di perfezione e risoluzione sono sempre, purtroppo, gli aspetti economico-finanziari di investimento, che le piccole comunità non riescono e non sono in grado di gestire anche alla luce della poca lungimiranza programmatica.



02.4 Scelta dei software da utilizzare

Come già detto in precedenza, la fotogrammetria è una tecnologia che permette di elaborare un modello tridimensionale partendo da fotografie rilevate con strumentazioni ad alta risoluzione. Questa metodologia viene spesso utilizzata per la creazione di mappe topografiche, reti, punti di cloud o disegni basati sul mondo reale. Inoltre, la fotogrammetria è spesso molto più accessibile ed economica e può essere facile da usare come la fotocamera del proprio cellulare.

Alla scala d'utilizzo della Pubblica Amministrazione, sicuramente i software più idonei e funzionali risultano essere quelli con appoggio a tecnologia GIS, tali da poter restituire una struttura di dati consona alla lettura ed uso tramite un sistema informatizzato territoriale, base ormai delle attività di monitoraggio e controllo sulle politiche di governo del territorio e gestione delle procedure di edilizia sui territori comunali.

Di comune intesa con il GIS dovranno essere utilizzati software di elaborazioni immagini basati su algoritmi di Structure from Motion - SfM, in grado di processare e generare modelli 3d georeferenziati delle aeree acquisite da rilievi aerei. Tali software seguono una procedura standard che consiste nel caricamento del dataset di immagini, allineamento delle immagini, ottimizzazione delle immagini e calibrazione della fotocamera, collimazione dei punti di appoggio ed infine la creazione della nuvola densa di punti, da cui andare a generare i modelli digitali in elevazione. In questo studio verranno utilizzati quindi alcuni software di fotogrammetria digitale in grado di generare il modello 3d.

In questo studio verranno utilizzati quindi alcuni software di fotogrammetria digitale in grado di generare il modello 3d. Tale scelta è stata funzionale ad ottenere un benchmark tra i diversi applicativi per valutare la qualità degli output generati e poterne inoltre

validare il risultato ottenuto. Il tutto verrà ben approfondito e descritto nei successivi capitoli trattanti le modalità operative ed il, nostro caso studio sul Comune di Livorno Ferraris (Vc).

02.5 Modalità di sviluppo dei dati rilevati

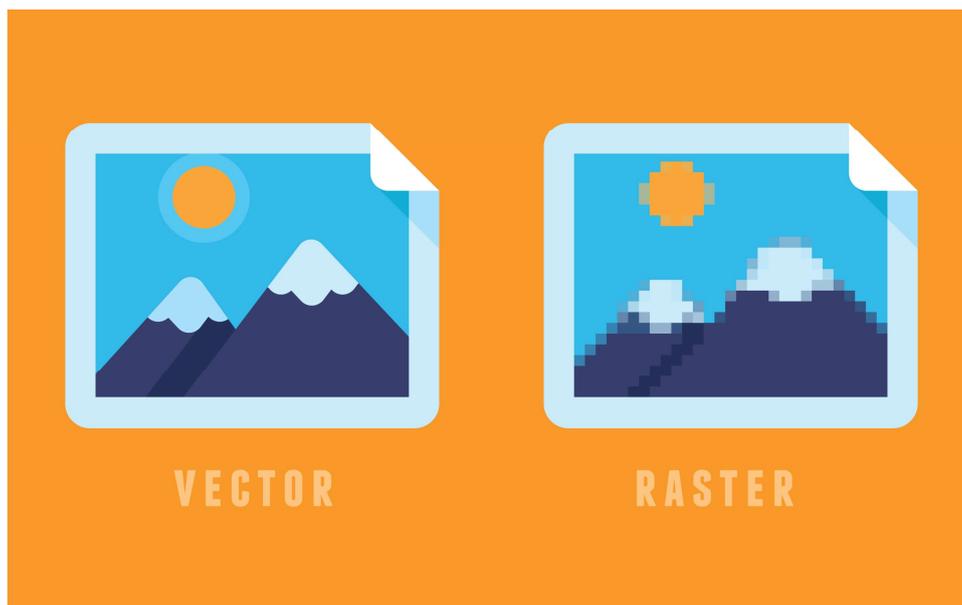
La cosiddetta fase di post-processing delle immagini rilevate, porta alla generazione di modelli digitali in elevazione i DEM, da cui si andrà a definire un Digital Surface Model, acronimato come DSM, e di seguito un orto-mosaico fotografico proprio delle immagini rilevate. L'uso che si farà di tali processamenti sarà rivolto a quanto adottabile per lo svolgimento delle attività nella Pubblica Amministrazione, con attenzione e rilevanza alle politiche di governo del territorio e di efficientamento energetico, in modo da poter permettere a tutti i cittadini di divenire utenze attive nell'uso di tali sistemi informativi, anche per proprie valutazioni preliminari prima di approfondire il discorso autorizzativo, nonché costituire parte integrante ed attiva nelle modalità di aggiornamento del sistema stesso e nelle attività di monitoraggio e partecipazione.

Lo sviluppo dei processamenti avviene tramite elaborazioni approntate all'interno di una workstation aventi configurazione hardware e software. Per le nostre analisi puntuali del caso studio, sono stati utilizzati quattro software d'elaborazione fotogrammetrica e di mappatura ed analisi che combinati tra loro andranno a sviluppare mosaici e modelli digitali in elevazione in grado di restituirci gli oggetti rilevati in una modalità virtuale modellabile. Questi software sono Metashape Metashape, ArcGIS Pro, PCI e Pix4d, di cui nei capitoli che seguiranno verranno riportate la descrizione, il workflow effettuato ed i relativi risultati ottenuti, per poi passare alla valutazione applicativa del tutto.

Capitolo 3 --- Dataset di immagini eterogenee e dati

03.1 Modalità operative di osservazione e rilievo

Abbiamo affrontato in precedenza la descrizione in sintesi di cosa è e a cosa potrebbe servire la fotogrammetria digitale. Abbiamo già detto che è definibile come la scienza che consente di ottenere informazioni metriche di oggetti fisici attraverso processi di registrazione, misura e interpretazione di immagini fotografiche. Ma come funziona nello specifico un rilievo di questo genere? Sappiamo che otteniamo immagini digitali a seguito della loro presa, del loro orientamento e della loro conclusiva restituzione. Ma come è strutturata un'immagine digitale? Si definisce come un'immagine digitale la rappresentazione numerica di un'immagine bidimensionale, la cui rappresentazione può essere di tipo vettoriale o raster, anche detta bitmap. L'immagine raster è costituita da una griglia di punti areali di dimensioni finite detti pixel. Utilizzando una rappresentazione matriciale, i pixel possono essere individuati univocamente da due numeri interi che rappresentano la posizione del pixel all'interno della matrice: l'indice di riga e di colonna (V.A. Girelli di Alma Mater Studiorum - Università di Bologna).



Quindi per poter andare a sviluppare e creare un modello tridimensionale è necessario gestire una modalità operativa essenzialmente costituita dalle seguenti fasi:

- operazioni preliminari e rilievi sul campo, che prevedono la progettazione ed esecuzione degli appoggi in campo, con la redazione e la compilazione delle schede monografiche. Acquisendo punti RTK, Real-time kinematic positioning, georeferenziati tramite rete Sistema Satellitare di Navigazione Globale, sarà possibile in un secondo momento validare il dataset di immagini aeree.
- processing delle immagini tramite software basati su algoritmi di Structure from Motion - SFM con l'ausilio dei dati GPS acquisiti nello step precedente;
- post-processing con la creazione degli output specifici;
- benchmarking dei software utilizzati.

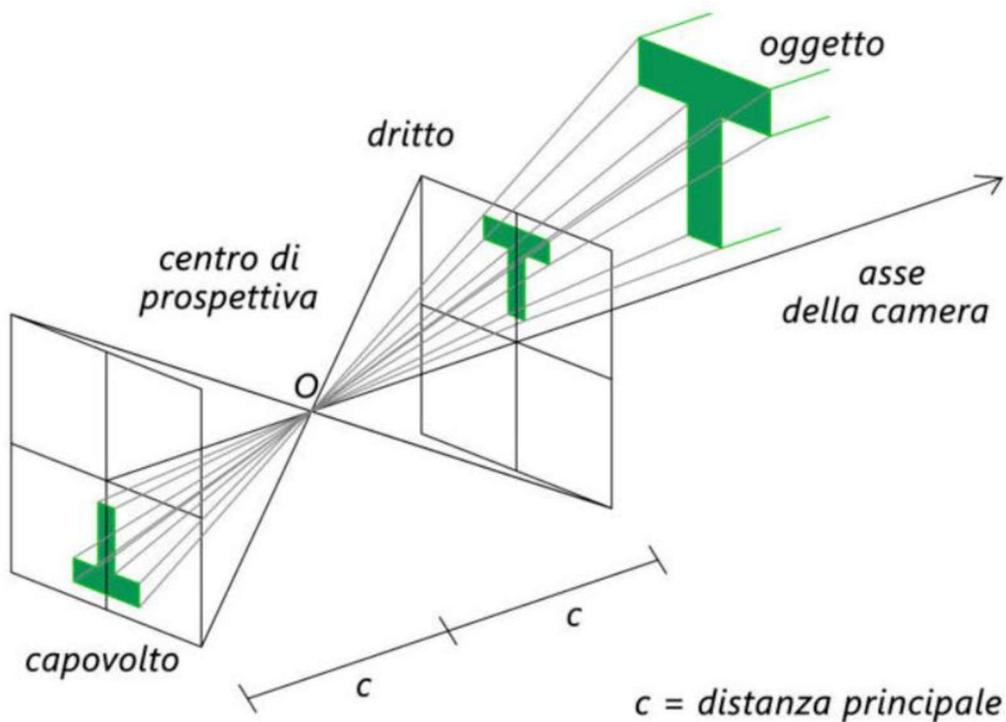
Nei successivi paragrafi andremo a descrivere brevemente le operazioni e i processamenti delle immagini rilevate al fine di poter ottenere una restituzione ad alta definizione in grado di poter creare un modello digitale tridimensionale di un oggetto.

03.2 Immagini aeree e acquisizioni georeferenziate

Il rilievo aereo è il metodo con cui vengono acquisiti dati metrici per mezzo di sistemi aeromobili che tipicamente sono costituiti da: aeroplani, elicotteri, droni, palloni aerostatici, e via dicendo. Con aerofotogrammetria, si intende quella specifica tecnica di acquisizione aerea in cui la fotocamera è posizionata in aria. I sistemi di rilevamento aereo sono generalmente composti da un software di navigazione di volo, che consente al pilota di seguire la rotta di volo stabilita per il rilevamento; da un sistema GNSS, dotato di combinazione di GPS e unità di misura inerziale necessarie a fornire informazioni di

posizione e orientamento dei dati acquisiti; da un supporto girostabilizzato per contrastare gli effetti di rollio, beccheggio e imbardata dell'aereo; da una unità di archiviazione dati per il salvataggio dei dati registrati.

L'orientamento interno dei fotogrammi consente di individuare la posizione del centro di prospettiva della camera ed il piano in cui si forma l'immagine, eliminando gli effetti delle distorsioni causate dall'obiettivo utilizzato per la presa. Per fare ciò è necessario ricordare che, in fotogrammetria, la relazione tra lo spazio oggetto, tridimensionale, e lo spazio immagine, bidimensionale, viene rappresentata mediante una prospettiva centrale, ossia ogni punto dello spazio oggetto è collegato ad un corrispondente punto dello spazio immagine da una retta, detta retta proiettiva (E. Barone, agosto 2019).



Nello schema appena rappresentato, ogni punto dell'oggetto è collegato al suo punto equivalente nello spazio immagine, ovvero il fotogramma, attraverso una retta, detta raggio proiettivo. L'insieme di rette che collegano i due spazi, detto fascio proiettivo, si intersecano in un punto, chiamato centro di prospettiva (G. Fangi, anno 1997).

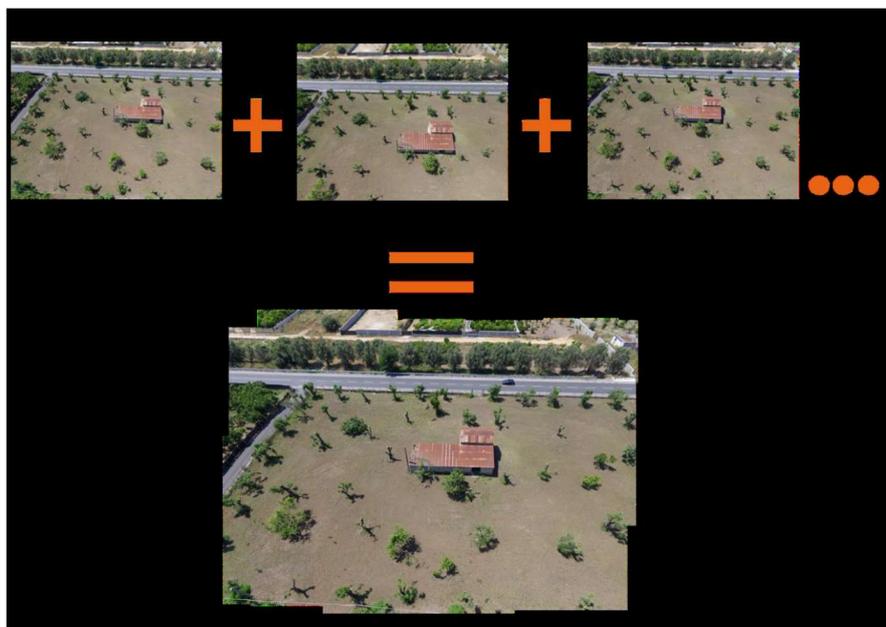
In questo modello teorico, il centro di prospettiva dista di una quantità "c" dal punto principale del fotogramma. Questi due parametri, distanza principale "c" e le coordinate sul piano immagine del punto principale, sono detti parametri di orientamento interno e definiscono la posizione del centro di proiezione rispetto al piano dell'immagine. Essi sono identici per tutti i fotogrammi del rilievo, in quanto dipendono dalla camera utilizzata nella presa, e vengono forniti dal costruttore della camera in appositi documenti chiamati certificati di calibrazione. Grazie alla continua evoluzione dei software sulla restituzione fotogrammetrica è possibile ottenere un ottimo orientamento interno anche in assenza dei certificati di calibrazione delle camere poiché, i parametri vengono determinati dagli stessi software analizzando le immagini scattate. L'orientamento interno dei fotogrammi permette di ricostruire il fascio dei raggi proiettanti di ciascun fotogramma nello spazio e quindi di individuare la posizione reciproca del centro di prospettiva ed il piano in cui si forma l'immagine. Questa operazione è indispensabile per le fasi successive in modo da ottenere misure topograficamente affidabili. Il fotogramma è una prospettiva centrale rigorosa in cui il centro di proiezione si trova ad una distanza c dal punto principale (E. Barone, agosto 2019).

Una volta eseguita la fase di orientamento interno si procede con l'orientamento esterno dei fotogrammi, il quale si articola in orientamento relativo ed in orientamento assoluto. Queste due operazioni ci consentono di passare dalle coordinate del sistema immagine alle coordinate del sistema reale (E. Barone, agosto 2019).

Con orientamento esterno si va ad indicare la posizione spaziale della fotocamera nell'istante in cui viene acquisita l'immagine, ovvero si rappresenta una trasformazione dal sistema di coordinate del suolo al sistema di coordinate dell'immagine. Quando la fotocamera fotogrammetrica è dotata del sistema di posizionamento globale, il GPS, a bordo del velivolo e del sistema di navigazione inerziale o unità di misura inerziale, la registrazione dell'orientamento esterno avviene direttamente sull'aereo.

Per effettuare l'orientamento è necessario determinare, per ciascun fotogramma, tanti parametri incogniti quanti sono i movimenti che definiscono la posizione di un corpo rigido nello spazio, cioè sei, tre traslazioni e tre rotazioni di assetto della camera.

Le operazioni di orientamento esterno, come sopra citato, sono due, l'orientamento relativo e l'orientamento assoluto. Con l'orientamento relativo, tutti i fotogrammi acquisiti durante le operazioni di rilievo vengono sovrapposti in corrispondenza dei punti omologhi, ossia quelli precedentemente individuati, creando così un blocco fotogrammetrico (E. Barone, marzo 2020).



Il blocco fotogrammetrico creato è orientato in un sistema di riferimento fittizio. È necessario passare in seguito dal sistema di riferimento fittizio al sistema di riferimento reale. Questa operazione avviene con l'orientamento assoluto che consente di orientare il blocco fotogrammetrico nello spazio per mezzo di punti noti di riferimento (E. Barone, marzo 2020).

Questi punti, chiamati “punti di appoggio” Ground Control Point, devono avere le seguenti caratteristiche: devono essere misurati in loco con specifici strumenti topografici, vale a dire GPS o stazioni totali; devono misurare esattamente le coordinate nel sistema di riferimento desiderato; devono essere ben visibili in più fotogrammi.

Maggiore è il numero dei punti di appoggio acquisiti, maggiore sarà la precisione del modello finale (E. Barone, marzo 2020).

03.3 Elaborazione dei dati rilevati

Dopo aver trattato tecnicamente e processato i dati rilevati, l'elaborazione delle stesse immagini ci permette di iniziare a vedere gli oggetti in questione nella realtà virtuale così ottenuta. Non siamo ancora in un modello tridimensionale, che dovrà appoggiarsi proprio ai Ground Control Point proprio per determinarne la terza dimensione.

Quello che concerne lo sviluppo del vero e proprio modello 3d verrà affrontato più avanti, in un proprio paragrafo dedicato dove si cercherà in sintesi di elevare il grado di risoluzione e determinarne i vari livelli.

L'elaborazione di un'immagine sta nel migliorarla con operazioni che possano portare tale rilievo ad un altissimo livello di risoluzione, trattando i bianchi ed i neri nonché eliminando parti di foschia e chiarendo tutto quando possa rendere il più nitido possibile il rilievo dell'oggetto mirato.



Come accennato, le novità più importanti della fotogrammetria digitale sono avvenute dal punto di vista dell'automazione dei processi fotogrammetrici tramite l'utilizzo di software in grado di generare nuvole di punti da quelli che sono i concetti di base della fotogrammetria stessa. La tecnica structure from motion - SfM, come accennato in precedenza, consente appunto la sequenza, motion, e il modello geometrico della scena identifica automaticamente dei punti caratteristici in ciascuna immagine, punti riconoscibili dal software; i punti con i descrittori più simili vengono riconosciuti dal programma come omologhi. Di seguito i punti così riconosciuti verranno utilizzati per poter andare a determinare gli orientamenti interni ed esterni del modello 3d.

La fotogrammetria digitale con i sistemi SfM ha rivoluzionato il campo della fotogrammetria rendendo obsolete le strumentazioni che venivano usate per i rilievi, sia in acquisizione che in restituzione dei dati, con gli attuali sviluppi in campo informatico, pertanto il processo può tranquillamente essere eseguito e sviluppato partendo da immagini catturate con gli strumenti più vari, riducendone notevolmente i costi e nel contempo ottenendo ottimi risultati.



Nel nostro caso studio, i rilievi sono stati effettuati, come già accennato e come di seguito tratteremo nel dettaglio, tramite volo aereo, pertanto trattasi di aerofotogrammetria, concetto che trovò le sue prime applicazioni durante la Prima Guerra Mondiale con lo scopo di poter andare a ottenere informazioni di obiettivi militari sensibili e aggiornare la cartografia usata.

A seguire la fotogrammetria divenne la sola tecnica utilizzata per produrre rilievi del territorio e debita cartografia, soprattutto in relazione ai tempi contenuti che garantisce questa tecnica ottenibile e alla quantità di informazioni ricavabili, essendo punto di svolta nell'approccio a queste discipline. Infatti con l'avvento della fotografia digitale si abbandonarono le vecchie metodologie, ormai ritenute superate, anche grazie al processamento e all'autocalibrazione computerizzata dei dati in un'unica fase per la produzione della cartografia.

Proprio di seguito la fotogrammetria aerea ha assunto un ruolo primario nella realizzazione di modelli tridimensionali di porzioni di territorio così rilevate, che hanno dato il via a sue innumerevoli applicazioni in svariati campi, consentendo di sviluppare inoltre elaborati grafici di nuova generazione come ad esempio ortofoto e modelli di superficie, implementandone le caratteristiche pure di valutazioni di pianificazione territoriale e processi progettuali territoriali di importanza strategica.

Con lo sviluppo di modelli tridimensionali di intere aree urbane, si possono evidenziare tutti quei particolari presenti e a servizio della comunità, anche al fine di poterne migliorare le fruizioni e gli utilizzi localizzandone posizione ed ingombri con risoluzioni praticamente reali. Tali riproduzioni assumono importanza nei contesti delle valutazioni di insieme di determinate situazioni, come ad esempio centri storici o aree di particolare importanza architettonica, al fine di poterne ridisegnare la configurazione urbana sulla misura calzante alle opportunità di sviluppo di quanto poter implementare per migliorarne la fruizione, non solo sotto il profilo prettamente urbanistico, ma estendendo la propria dimensione anche a caratteri socio-economici andando a perfezionare o evidenziare punti di aggregazione o nuovi insediamenti commerciali a servizio dei cittadini direttamente interessati.

03.4 Valutazioni dallo scaricamento dei dati

Proprio le ultime righe del precedente paragrafo hanno ben rilevato quello che un rilievo fotogrammetrico aereo e il suo successivo processamento sono in grado di poter sviluppare tramite i cosiddetti modelli urbani.

Le valutazioni adottabili su un modello di un'area urbana possono avere diversi utilizzi, dall'ordine pubblico alla sicurezza nonché al censimento di architetture di rilievo o di punti di notevole interesse socio culturale e via discorrendo.

Alla scala d'utilizzo della Pubblica Amministrazione, questi modelli trovano maggior impiego e sfogo nella determinazione di politiche e dinamiche di governo al territorio al fine di poter andare ad attivare le azioni più consone allo sviluppo di quelle che sono gli obiettivi imposti dagli indirizzi amministrativi degli organi di governance.

Il Comune di Livorno Ferraris è dotato di un proprio sistema informativo territoriale sviluppato su base delle proprie planimetrie catastali, Nuovo Catasto Terreni, che su più livelli vanno a sovrapporre quelle che sono le tracce grafiche degli strumenti generali utilizzati dai vari servizi e uffici per le proprie competenze operative e di gestione del territorio.

Gli attori principali e maggiori utilizzatori di questo sistema informativo sono, naturalmente, i servizi tecnici con i quali vanno a gestire gli strumenti urbanistici in vigore e quelle che possono essere le principali attività che si svolgono nel quotidiano, come ad esempio la gestione dello sportello unico per l'edilizia privata e l'attività tecnico manutentiva di centri urbani.

Sul SIT del nostro caso studio, sono evidenziati una serie di oggetti che determinano le gestioni ordinarie e quelle straordinarie degli interventi sul territorio. Ad esempio sono

evidenziati e ben posizionati tutti i corpi luce che costituiscono nel loro insieme l'impianto di illuminazione pubblica con evidenza del singolo numero e pertanto con la possibilità di andare ad individuare con esattezza la mancata funzionalità dello stesso corpo illuminante. Altro dato banale ma essenziale per la gestione di un'area urbana è l'evidenza della corretta mappatura e conseguente nomenclatura della viabilità urbana con precisa indicazione della numerazione civica dei fabbricati e degli accessi sia pedonali che carrai.

Questa descrizione sintetica e generale della valutazione dei dati rilevati soprattutto in una zona urbana ed abitata, è di massima importanza proprio per migliorare la gestione burocratica della macchina amministrativa pubblica e nel contempo può ben aiutare quelle che sono le politiche di gestione territoriale, andando ad individuare punti di forza e criticità di quelle che sono le attuali capacità di una città.

Altra questione, afferente alla sicurezza urbana, è quella relativa alla Protezione Civile ed alla gestione del proprio piano territoriale che in certe realtà è in grado di prevenire situazioni di estremo pericolo per persone e cose.

Anche se il territorio del Comune di Livorno Ferraris non ha criticità geomorfologiche rilevanti né tantomeno rischi derivanti da possibili eventi alluvionali, assume un ruolo estremamente importante ai fini della gestione di eventuali eventi calamitosi naturali sui territori attigui. Difatti sul proprio territorio è presente un distaccamento del Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco che ne impone tale importanza strategica nell'intera zona del vercellese occidentale, proprio ai confini con le limitrofe provincie di Torino ed Alessandria, nonché in vicinanza a siti con potenzialità di rischio di incidente estremamente rilevante, quali quelli della Sogim di Saluggia e della centrale nucleare Enrico Fermi di Trino Vercellese.

03.5 Determinazione delle risultanze d'osservazione

Il maggior utilizzo delle risultanze del processo di osservazione, sono direttamente rivolte al miglioramento della condizione dei servizi che la popolazione fruisce sia a livello locale che a livello prettamente burocratico-amministrativo, consentendone un uso ed una gestione più casalinga ed in proprio di quanto può offrire il Comune. Il cosiddetto concetto di smart city può effettivamente trovare fonte di alimentazione e di fruizione tramite i SIT, a qualunque livello geografico gestito, sia la grande città che la media od il piccolo paese, in quanto unico ostacolo è e sarà la telematizzazione delle utenze, sia a livello di qualità di quanto offerto, anche alla luce delle coperture dei sistemi di ricezione, nonché della qualità delle persone, disposte all'uso di apparecchi informatici più o meno complessi, ovvero essenzialmente pc, smartphone e tablet.

Proprio per migliorare tale sistema informatico ed informativo, sicuramente la possibilità di rendere più partecipe a certi progetti l'intera popolazione e informare la medesima di quanto si sta facendo e di quanto si è già fatto in merito, è senza dubbio determinante al fine di aumentare le utenze in grado di fruire di certi servizi.

A scala urbana quindi le metodologie di osservazione della Terra non devono essere solamente interpretate ed utilizzate a scopi di territorio o area estremamente di grandi dimensioni, e soprattutto non devono essere solamente riconducibili a strumentazioni satellitari, infatti il loro campo di utilizzo e di interpretazione dei dati rilevati può essere ben usato per la gestione di comunità con le dimensioni territoriali e di popolazione proprio come quella del Comune di Livorno Ferraris.

Si parla e abbiamo particolarmente affrontato le tematiche di governo e di gestione di un territorio, ma anche il cambiamento climatico, sempre alla nostra scala di utilizzo, può, se

tenuto sotto controllo con campagne di monitoraggio e di censimento di quanto rilevato, andare a migliorare lo stato di vita e di sicurezza dei diretti interessati.

Proprio i cambiamenti climatici hanno un notevole impatto sullo stato dei suoli, e nel contempo tali variazioni nell'uso del territorio e del suolo possono accelerare oppure rallentare i cambiamenti del clima. Il primo evidente segno di quanto appena citato, è senza ombra di dubbio quella dell'evidente riduzione nel suolo del livello medio di umidità, dovuto in modo principale all'aumento repentino delle temperature del nostro pianeta. Questa situazione ha generato condizioni di mutamento importanti non solo del suolo ma anche del suo utilizzo, creando nuove zone desertiche, anche in aree dove tale condizione geografica non era presente, e impoverendo di riflesso le attività colturali con diretta conseguenza la mancata produzione di materia prime alimentari e la scarsa presenza d'acqua in certe aree.



La criticità è decisamente importante, situazione che stiamo vivendo anche noi in prima persona data la situazione delle precipitazioni nelle nostre zone ormai deficitarie e molto preoccupante dal punto di vista della presenza e delle ricariche delle falde acquifere.

Proprio le modalità di osservazione della Terra possono tenere sotto controllo tali situazioni monitorando e mettendo a confronto lo sviluppo temporale di queste, facendo in modo di poter attivare le più idonee misure di contrasto e di salvaguardia per tutelare il buon utilizzo delle risorse.

Anche sotto il profilo di gestione delle aree boscate può, in concomitanza con quelle dei bacini idrici, l'osservazione della Terra migliorare con il rilievo ed il monitoraggio vegetativo le condizioni di vita in determinate zone.

A scala urbana, visto che tali rilievi possono essere anche effettuati con strumentazioni con caratteristiche termodinamiche, possono evidenziare quelle che sono le zone di cappa di calore, andando a prevedere le più idonee contromisure, anche valutandone la piantumazione di essenze arbustacee, se possibile, in grado di favorire la traspirazione di tale concentrazione a favore di un'aria più pulita e respirabile, creando quindi e di riflesso zone d'ombra che potrebbero diminuire la percezione delle temperature stesse.

03.6 Attività di adattamento e prevenzione

I benefici che potrebbero derivare da azioni di adattamento e prevenzione di quanto determinato da tutte questo concatenarsi di operazioni e di attività, sono senza dubbio molteplici. Ad esempio, le aree prossime ai fiumi, le cosiddette zone riparie, e gli spazi verdi delle città possono costituire una protezione da alluvioni e da ondate di calore, il tutto efficiente anche in termini di costi. Terreni e suoli sani potrebbero andare ad assorbire e stoccare le acque in eccesso, mitigando in tal modo gli effetti delle alluvioni o, nel caso

studio, delle bombe d'acqua, eventi atmosferici importanti con precipitazioni le cui prime acque sono in grado di creare rischi a livello di fenomeni esondati anche senza la presenza di corsi d'acqua superficiali.

Anche gli stessi parchi, le aree a verde, attrezzate e non, e le altre aree naturali presenti nelle città possono contribuire in tal senso abbassando le temperature durante le ondate di calore, anche grazie alla presenza d'acqua contenuta nel suolo, anche se questa situazione ultimamente tende a non essere più dotata, vista la scarsità e la crisi d'acqua sui nostri territori.

Nelle stagioni secche gli ecosistemi sani possono rilasciare gradualmente l'acqua che hanno stoccato nel sottosuolo, attenuando così gli effetti peggiori nei periodi di siccità e di scarsità delle precipitazioni meteoriche.

Sono vigenti alcune direttive che hanno al loro interno determinate strategie tematiche che le nazioni membri dell'Unione Europea devono adottare per la protezione del suolo e la relativa relazione di attuazione va a sottolineare quanto sia importante avere suoli sani sia per la mitigazione dei cambiamenti climatici sia per l'adattamento agli stessi.

L'accordo di Parigi evidenzia il ruolo essenziale del settore relativo all'uso del territorio ai fini dell'azione per il clima, prevedendo l'obiettivo di andare a limitare ben al di sotto dei 2 gradi Celsius il riscaldamento medio globale rispetto al periodo preindustriale, puntando a un aumento massimo della temperatura pari a 1,5 gradi Celsius.

A tale risultato dobbiamo nel nostro piccolo tutti fare qualcosa per poco o tanto che sia, quindi anche realtà limitate a piccole scale urbane, devono assolutamente prevedere accorgimenti normativi in grado di favorire l'ottenimento di questi obiettivi.

Proprio l'applicazione normativa di queste nuove indicazioni richiede un'attività di segnalazione e monitoraggio, che proprio con l'utilizzazione di queste metodologie di osservazione della Terra potrà aggiornare e tenere sotto costante controllo tali fenomeni implementando le conoscenze sulle questioni ambientali correlate all'uso del territorio e sulle relative pratiche di gestione del territorio. Pertanto una sempre più maggiore comprensione delle dinamiche che intercorrono tra suolo, territorio e clima ci consentirà di migliorare la pianificazione e l'attuazione di soluzioni sostenibili.

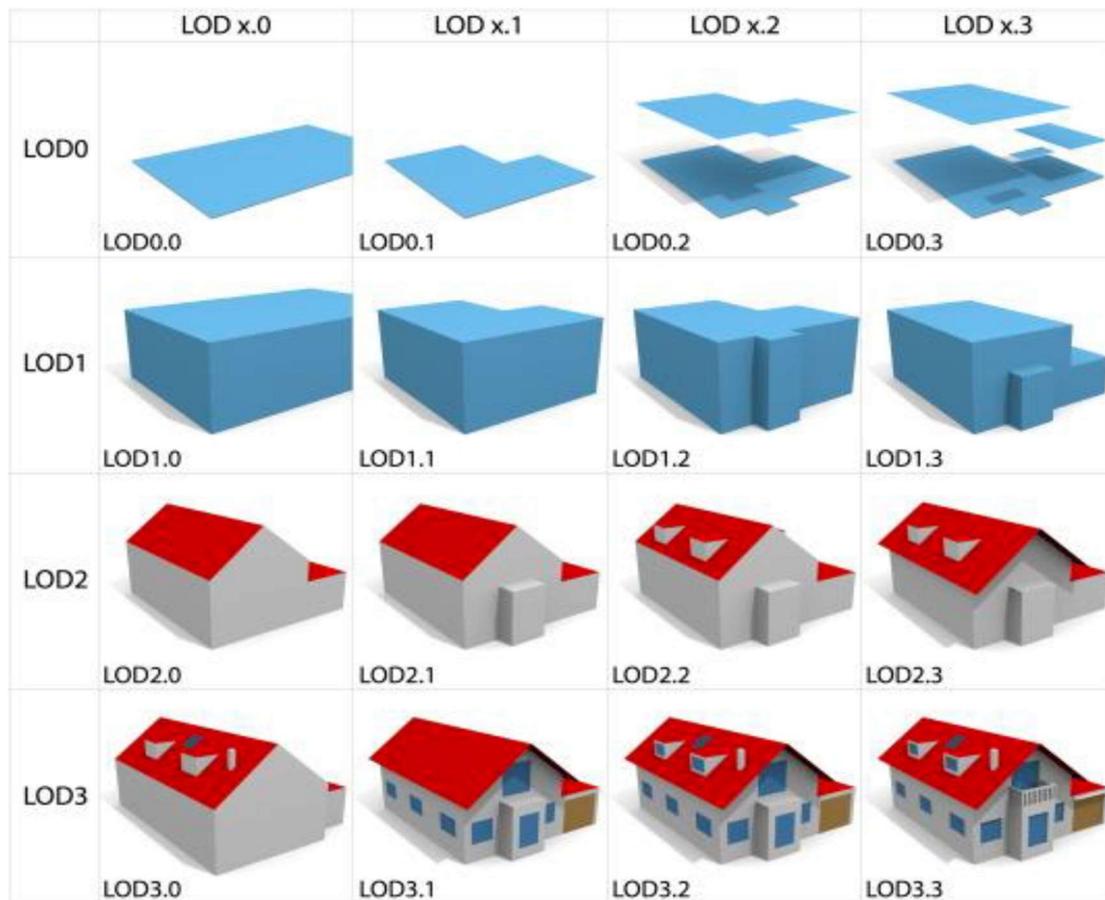
03.7 Sviluppo di modelli 3d

Con modello 3d o tridimensionale si definisce la rappresentazione matematica di una qualsiasi superficie o oggetto reale in uno spazio virtuale, per mezzo del processo di modellazione tridimensionale (definizione da Wikipedia, novembre 2022).

Si tratta di un modello informativo comune per la rappresentazione di oggetti urbani 3d, di cui ne definisce le classi e le relazioni per gli oggetti topografici più rilevanti nelle città e nei modelli regionali rispetto alle loro proprietà geometriche, topologiche, semantiche e di aspetto. A differenza di altri formati vettoriali tridimensionali, CityGML si basa su un ricco database di informazioni ad uso generale, oltre alla geometria e al contenuto grafico, che consente di utilizzare modelli di città 3d virtuali per attività di analisi sofisticate in diversi domini applicativi come simulazioni, data mining urbano, strutture gestione e indagini tematiche 3d (F. Monteforte - PoliTo, anno 2021).

Le aree di applicazione mirate includono esplicitamente la pianificazione urbana e quella paesaggistica, la progettazione architettonica, le attività turistiche e quelle ricreative, i Catasti 3d, le simulazioni ambientali, le telecomunicazioni mobili, la gestione delle

catastrofi, la sicurezza territoriale e la sicurezza nazionale, la navigazione veicolare e pedonale, i simulatori di addestramento, e la robotica mobile (R. Carlucci, ottobre 2021).



03.8 Possibili usi delle risultanze

Siamo sicuramente tutti d'accordo che un supporto informatizzato di questo genere ad una elevatissima scala di risoluzione grafica sulle tre dimensioni può decisamente dare un aiuto a tutte le azioni di gestione e prevenzione sul territorio.

Se l'aerofotogrammetria può essere definita come un'attività, nonché una tecnica, che serve per rilevare le caratteristiche del terreno non facilmente percepibili al livello del suolo, attraverso fotogrammi scattati a distanza (definizione da Wikipedia, novembre 2022), al nostro livello di scala è, senza dubbio, la metodologia di rilievo che meglio si adatta per

quanto ci si deve attendere nel processamento e nella restituzione dei modelli digitali da successivamente dover analizzare, proprio per l'elevatissima risoluzione.

Come già sinteticamente affrontato, le risultanze dei rilievi possono essere utilizzate per svariati scopi, spaziando dalle valutazioni ai monitoraggi urbanistici ed ambientali, studi e progettazioni a qualsiasi livello, ordine pubblico e sicurezza, nonché meri scopi statistici.

Le applicazioni sono veramente innumerevoli come del resto i campi d'azione. A scala della Pubblica Amministrazione, è doveroso rilevare che i sistemi informativi sono ormai divenuti strumenti di utilizzo quotidiano in molti servizi diretti al cittadino. Ogni SIT ha un back office di utilizzo del personale pubblico, e un front office dedicato al cittadino ed alle utenze. Basti pensare agli sportelli unici dell'edilizia o delle attività produttive che hanno come base di consultazione, proprio le informazioni del territorio, una volta riservate ai soli professionisti addetti ai lavori ed oggi servizi ben estesi anche direttamente al cittadino, che può consultare la mappa catastale dei terreni di propria proprietà o vedere la dislocazione della numerazione civica nella via di residenza.

Parte II

Capitolo 4 --- Le metodologie di osservazione della Terra a supporto della Pubblica Amministrazione

04.1 Obiettivi

Gli obiettivi che una Pubblica Amministrazione si può porre utilizzando le metodologie di osservazione della Terra, sono rivolti al controllo ed alla gestione del proprio territorio, quindi essenzialmente a scopi urbanistici e di protezione civile.

Come già evidenziato in precedenza, in Italia i modelli più utilizzati dalla Pubblica Amministrazione per tali gestioni territoriali, sono i sistemi informativi, oggi a accessibili assolutamente in modalità free.

Una delle opportunità che dovranno comunque essere ben sviluppate, sono rivolte alla partecipazione di tutte quelle attività, che si possono andare ad avviare e proporre, a tutti gli interessati, ovvero tutti i cittadini e quegli stakeholders che possono avere non solo un interesse economico finanziario ma anche sociale.

I dati che si possono ottenere hanno devono avere versatilità assolutamente dinamica, ovvero devono potersi aggiornare temporalmente in modo da essere sempre realistici e il più possibile veritieri al momento del proprio utilizzo. Non possiamo pensare a sistemi informatici statici e quindi fermi ad un determinato periodo, poiché proprio il confrontarsi dell'evolversi o meno di determinate situazioni, rendono più efficaci le possibilità di valutazione sul da farsi sempre con l'intento di poter andare a migliorare le condizioni territoriali di fruizione da parte dell'uomo.

Quindi si possono dettare le caratteristiche che devono avere questi sistemi e modelli: assolutamente ad alta risoluzione, accesso e consultazione di facile apprendimento,

costantemente aggiornati ed aggiornabili, ad una scala di interesse collettivo tale da essere usata per diverse finalità direttamente collegate tra di loro e naturalmente di interesse pubblico.

04.2 Rilievi aerofotogrammetrici

Il rilievo aereo è il metodo con cui vengono acquisiti dati metrici per mezzo di sistemi aeromobili che tipicamente sono costituiti da aeroplani, elicotteri, droni, palloni aerostatici e via discorrendo.

Con aerofotogrammetria si intende quella specifica tecnica di acquisizione aerea in cui la fotocamera è posizionata in aria. Le misurazioni sulle immagini aeree sono fornite da tecnologie e metodi fotogrammetrici. Per eseguire un rilievo, è necessario fissare un sensore all'interno o all'esterno della piattaforma aerea, ossia per i velivoli con equipaggio, ciò si ottiene attraverso un'apertura nella carlinga dell'aeromobile oppure tra fissaggio esterno su un puntone alare.

I sistemi di rilevamento aereo sono generalmente composti da un software di navigazione di volo, che consente al pilota di seguire la rotta di volo stabilita per il rilevamento, da un sistema GNSS, ovvero una combinazione di GPS e unità di misura inerziale, cosiddetto IMU, necessarie a fornire informazioni di posizione e orientamento dei dati acquisiti, da un supporto girostabilizzato per contrastare gli effetti di rollio, beccheggio e imbardata dell'aereo, ed infine da un'unità di archiviazione dati per il salvataggio dei dati registrati.

Il dataset acquisito necessita successivamente di una fase di pre-processing, necessaria a definire la correlazione reciproca tra i diversi fotogrammi, ossia di definizione dell'orientamento interno dei fotogrammi, e di definizione dell'orientamento esterno dei fotogrammi (F. Monteforte - PoliTo, anno 2021).

04.3 Il modello Digital Twin

Il concetto di Digital Twin fu usato per la prima volta nel 2001 da Michael Grieves, oggi Chief Scientist for Advanced Manufacturing presso il Florida Institute of Technology, che durante un corso di Product Lifecycle Management - PLM, presso l'Università del Michigan descriveva il gemello digitale come l'equivalente virtuale e digitale di un prodotto fisico.

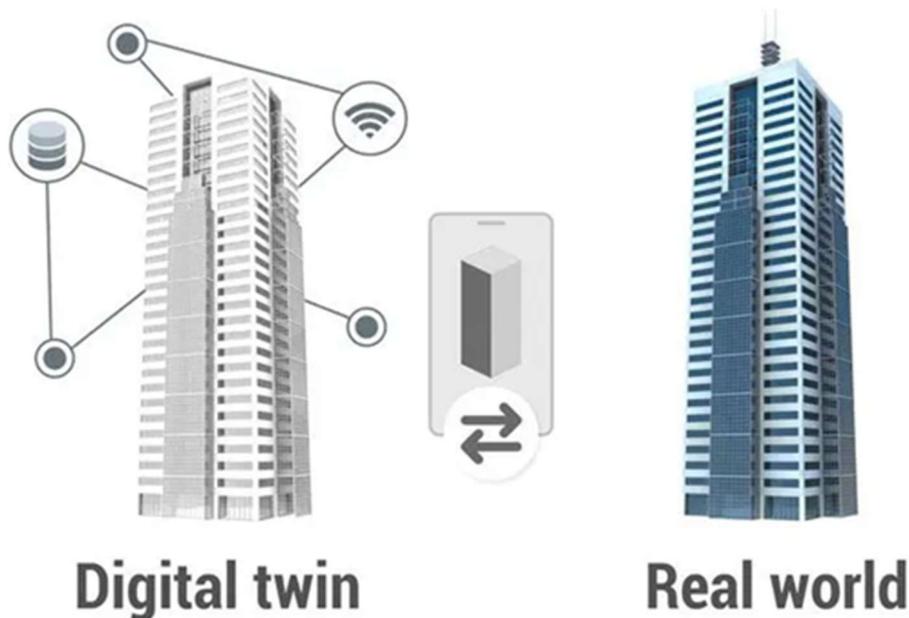
Il tutto combinando diverse tecnologie afferenti a un unico database che conterrà tutti i dati di progettazione dell'impianto o del prodotto, software di simulazione, dati in tempo reale dall'ambiente di produzione e molto altro. Le tecnologie digitali e le loro applicazioni sono pertanto di grande importanza per i processi che collegano la conoscenza formale e razionale per una governance più intelligente e sostenibile delle città che coinvolge direttamente i cittadini, supportando un processo di pianificazione urbana intelligente e democratica (F. Monteforte - PoliTo, anno 2021).

Nella pianificazione urbana, c'è bisogno di approcci che siano in grado di far fronte non solo alla complessità urbana, ma che consentano anche processi partecipativi e collaborativi per responsabilizzare i cittadini, tra questi troviamo gli Urban Digital Twins, che hanno la capacità di affrontare sfide complesse per le città. Il Digital Twin esiste da decenni, soprattutto nel campo dell'ingegneria dei processi industriali, come già citato in precedenza, e la loro implementazione per le città è stata discussa solo di recente con l'avvento delle tecnologie digitali.

Naturalmente questo vale anche per il settore scientifico, e in particolare per quelle discipline che sono impegnate nella comprensione e nell'affrontare gli effetti del cambiamento globale. Il Digital Twin è una rappresentazione digitale di oggetti materiali o immateriali dal mondo reale, consente uno scambio di dati completo e può contenere

modelli, simulazioni e algoritmi che descrivono la loro controparte fisica e le sue caratteristiche e comportamenti nel mondo reale.

La filosofia dei Digital twin consiste nel disaccoppiare un sistema digitale dalla sua entità fisica, rendendo più facile cambiarne una senza cambiare l'altra.



Le connessioni tra le due entità sono rappresentate dai dati che fluiscono dalla rappresentazione fisica alla rappresentazione digitale e dall'informazione che viene generata da questa rappresentazione all'ambiente fisico. L'utilizzo di un gemello digitale in VR non è solo un modo nuovo per i processi di pianificazione collaborativa, ma consente anche ai partecipanti con background diversi di raggiungere un accordo.

04.4 Urban Digital Twin

Alcuni potrebbero considerare un gemello digitale descrivendo solo la realtà, e la sua storia, mentre sono le applicazioni aggiuntive che portano la vera intelligenza e aiutano a

creare l'immagine comune della realtà che è il valore aggiunto di un gemello digitale urbano. Secondo quanto riporta la piattaforma web dell'Unione Europea dedicata alle smart city - eu-smartcities.eu/:

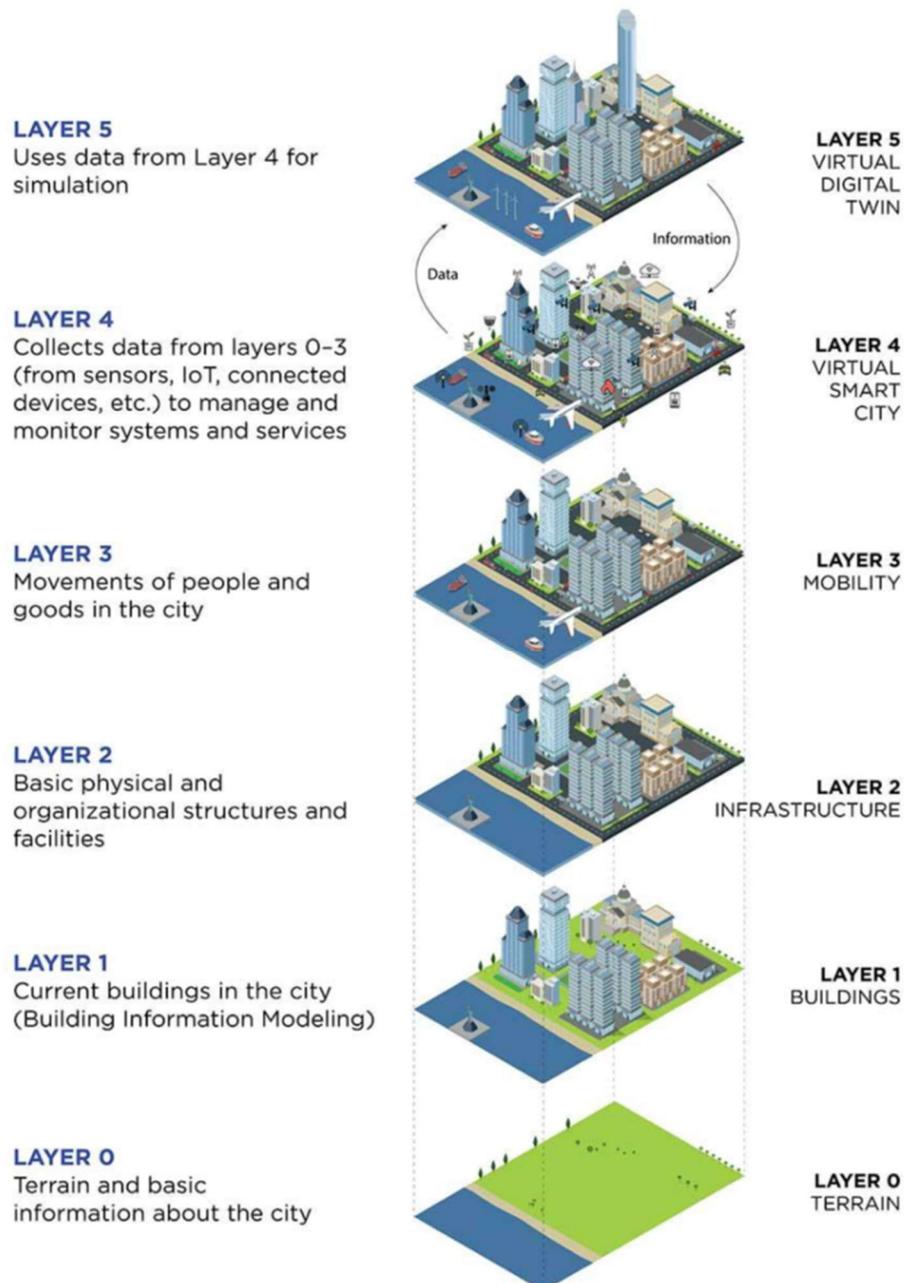
“Quando si combina il gemello digitale con la potenza predittiva dell'analisi dei big data e dell'intelligenza artificiale, le città sono essenzialmente in grado di avanzare rapidamente nel tempo per migliorare la pianificazione urbana per tutti i tipi di eventi, dagli investimenti infrastrutturali a lungo raggio, alle operazioni di servizio in tempo quasi reale.

L'intelligenza scaturita dal gemello digitale permette alle città di migliorare il loro ambiente urbano fisico e sociale”.



Un gemello digitale della città intelligente si basa su una serie di stratificazioni che sovrappongono: informazioni sul terreno, gli edifici, le infrastrutture, la mobilità e dispositivi IoT, ovvero di intelligenza artificiale. Il Digital twin utilizza i dati generati nel

livello della città intelligente virtuale per eseguire ulteriori simulazioni (C. D'Amanzo e S. C. Feijoo Rivas - PoliTo, anno 2021).



Tale modello viene applicato al contesto urbano, grazie ai progressi ottenuti nel campo delle tecnologie geo-spaziali, specificatamente della modellazione digitale tridimensionale della città. Una volta realizzato il modello digitale della città, il cosiddetto City Model, ad esso sono aggregati i Digital Twin dei sistemi destinati alla gestione della smart city, quali quelli riguardanti gli edifici intelligenti, le infrastrutture dedicate alla mobilità di persone e beni, ed infine le reti energetiche, di TLC e di distribuzione delle risorse idriche (C. D'Amanzo e S. C. Feijoo Rivas - PoliTo, anno 2021).

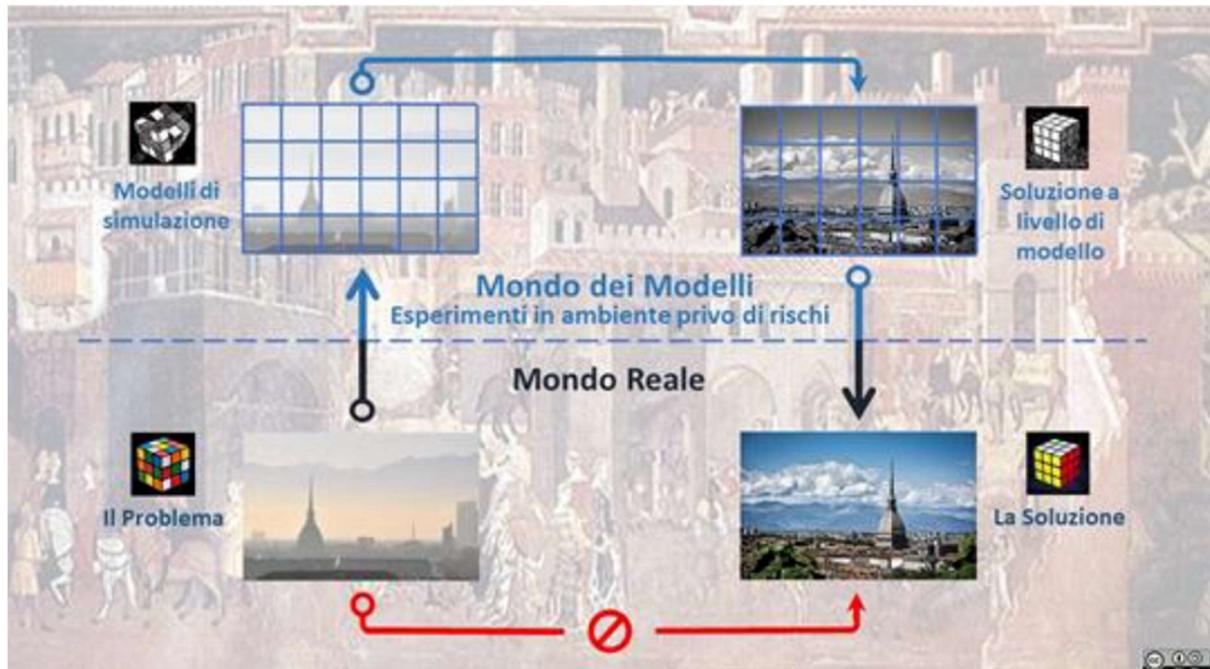
Il gemello digitale urbano, Urban Digital Twin, ha permesso di ottenere una migliore comprensione delle potenziali soluzioni per le sfide urbane che coinvolgono il processo decisionale pubblico. Queste informazioni ci consentono di adattare il gemello digitale urbano alle esigenze dei cittadini al fine di fornire un modello di facile comprensione per la crescente complessità di città e paesi. Incorporando l'Urban Digital Twin nel dibattito sulla trasformazione della città intelligente, non sorprende che solo pochi abbiano avuto un successo singolare.

I progetti di città intelligenti richiedono due competenze cruciali, ovvero la comprensione dell'impatto dell'implementazione delle tecnologie digitali nel contesto dei sistemi urbani, e l'integrazione di soluzioni.

I gemelli digitali urbani ci consentono di aprire la strada allo sviluppo urbano sostenibile a tutte le scale, tuttavia, per sua natura di modello, il gemello digitale urbano non include tutte le informazioni dal mondo fisico e dalla vita reale (C. D'Amanzo e S. C. Feijoo Rivas - PoliTo, anno 2021).

Gli Urban Digital Twin sono particolarmente importanti per contribuire alla strategia del Green Deal europeo, dove gli obiettivi chiave sono, ad esempio, l'efficienza energetica

dell'ambiente costruito, ovvero la più importante strategia di decarbonizzazione, e l'adattamento della nostra società ed economia al cambiamento climatico, come la resilienza dei centri urbani, l'adattamento della produzione agricola e la riduzione del rischio ai pericoli naturali.



Oggi, la tecnologia Digital Twin è comunemente utilizzata come strumento chiave per l'implementazione del concetto Digital Earth, ovvero una rappresentazione virtuale completa del pianeta (ISDE, 2020). L'utilizzo di un Digital Twin urbano nella realtà virtuale non è solo un nuovo modo di utilizzare le tecnologie intelligenti per i processi di pianificazione collaborativa, ma facilita anche la comprensione tra i soggetti.

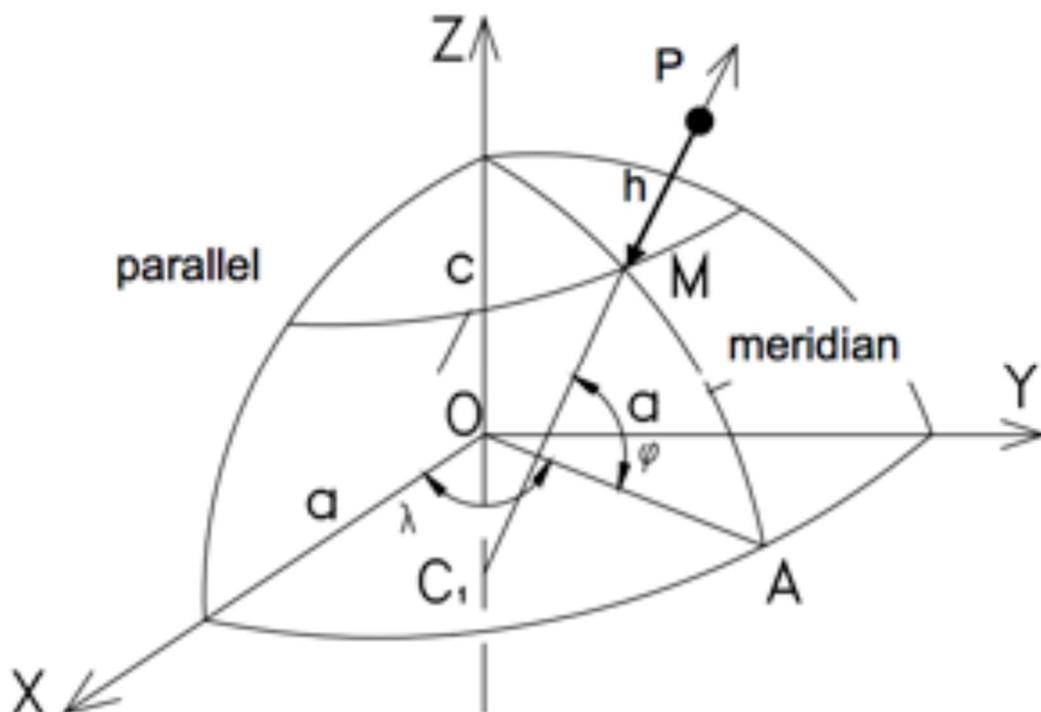
04.5 I modelli digitali di elevazione

Un modello digitale di elevazione, anche noto come DEM dall'inglese Digital Elevation Model, è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio, o di un'altra superficie, in formato digitale. Quindi il Digital Elevation Model si definisce come la

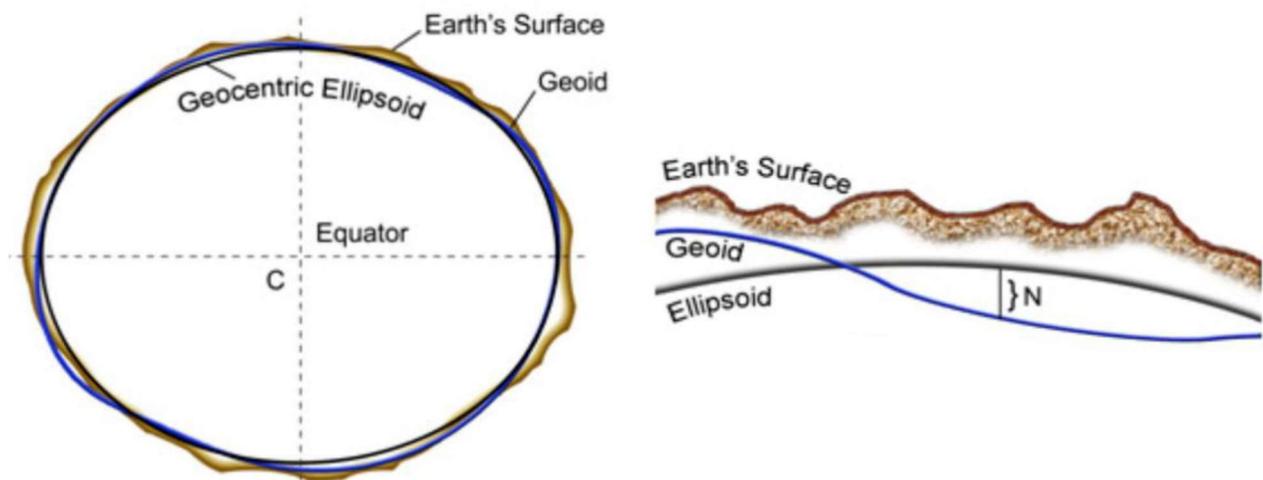
"rappresentazione cartografica digitale dell'elevazione del terreno a intervalli regolarmente distanziati in direzioni x e y , usando valori z a cui si fa riferimento a un dato verticale comune".

Il Digital Surface Model, noto come DSM, è una rappresentazione della superficie terrestre che comprende tutti gli oggetti, sia naturali che antropogenici, quali edifici, alberi, linee elettriche e via discorrendo, più adatto per la modellazione tridimensionale, la gestione delle telecomunicazioni o la gestione forestale (F. Monteforte - PoliTo, anno 2021).

Questi modelli di elevazione tridimensionale possono essere riferiti o alla superficie ellissoidale matematica, riportando le altezze ellissoidi, o alla superficie geoidica, mostrando le elevazioni di ogni punto.



L'ellissoide di riferimento usato nella cartografia è una superficie liscia e matematica, mentre le altezze, invece, sono riferite alle rilevazioni GPS, che normalmente adottano come ellissoide di riferimento il Sistema Geodetico Mondiale del 1984, il WGS 84. Il geoide è definito come la superficie media dell'oceano, superficie piana irregolare su cui il potenziale gravitazionale è costante.



La differenza di altitudine “N” tra il geoide e l'ellissoide viene definito come ondulazione del geoide, normalmente con variazioni locali nell'intervallo di -106 m e +85 m. Questo è espresso matematicamente come:

$$N = h - H$$

dove:

1. “**H**”, l'elevazione, chiamata anche altezza ortometrica, è definita come la distanza dal geoide misurata su una linea a piombo;
2. “**h**”, altezza ellissoide, definita come distanza tra un punto sulla superficie cardiaca e la superficie ellissoide, misurata dal GPS sul perpendicolare all'ellissoide matematico;

3. “**N**”, altezza geoidale, ovvero l’ondulazione del geoide, differenza tra h e H .

(Rappresentazione della formula - F. Monteforte - PoliTo, anno 2021).

04.6 La sequenza di processamento dei dati

Rilievo aerofotogrammetrico, processamento e sviluppo informatico dei dati e delle immagini rilevate, modellazione dell’area in oggetto e risultanza con modelli digitali d’elevazione alla scala urbana ad alta risoluzione, rappresentano in sintesi razionale quella che è la sequenza dell’intero processo di estrazione di un Urban Digital Twin.

Con questo modello, che pochi SIT dispongono fermandosi allo sviluppo planimetrico del proprio territorio, si possono andare a creare nuovi servizi pubblici a disposizione non solo di professionisti e addetti ai lavori, quali imprese e operatori economici dei diversi settori produttivi, ma anche al servizio diretto dei cittadini privati, anche per sola consultazione di quelli che possono essere gli interessamenti diretti per le conduzioni delle proprie abitazioni ed immobili siti sul territorio.

I dati che possono essere messi a disposizione, ad implementazione di quelli già disponibili come ad esempio quelli relativi alle competenze dello Sportello Unico dell’Edilizia - SUE, posso avere ed assumere caratteri ed interessi sul piano energetico di efficientamento degli edifici, tema assolutamente di dominio pubblico in questo particolare periodo storico, nonché di sicurezza ed ordine pubblico, oppure semplicemente di collegamento a quello che potrebbe essere un vero e proprio archivio di procedimenti relativi ad ogni singolo immobile mappato e consultabile dalle planimetrie del territorio apribili direttamente dal sistema informativo presente sul sito internet istituzionale del Comune di Livorno Ferraris.

Capitolo 5 --- Caso studio: Comune di Livorno Ferraris (Vc)

05.1 Workflow

In questo capitolo viene descritta la procedura adottata in questo studio per la creazione di un modello 3d della città di Livorno Ferraris (Vc). Nella prima parte del lavoro, il processamento delle immagini è stato replicato su diversi software allo scopo di poter ottenere una comparazione analitica, ovvero il benchmark, per la generazione di output specifici, ovvero:

- un modello digitale della superficie il cosiddetto DSM;
- un orto-mosaico delle immagini ottiche nadirali.

Il confronto è stato considerato non solo in termini di prestazioni dei software stessi, ma anche in virtù della qualità dei prodotti finali.

Nell'ambito di questo studio, è stato utilizzato un dataset di immagini acquisite il 17 marzo 2021 tramite volo aereo effettuato dalla ditta DigiSky sul territorio della cittadina di Livorno Ferraris, società certificata che svolge attività di mappatura aerea in modo da eseguire direttamente servizi di fotogrammetria aerea con una propria flotta di aeromobili di base sull'aeroporto di Torino-Aeritalia (Digisky - About us, anno 2021).

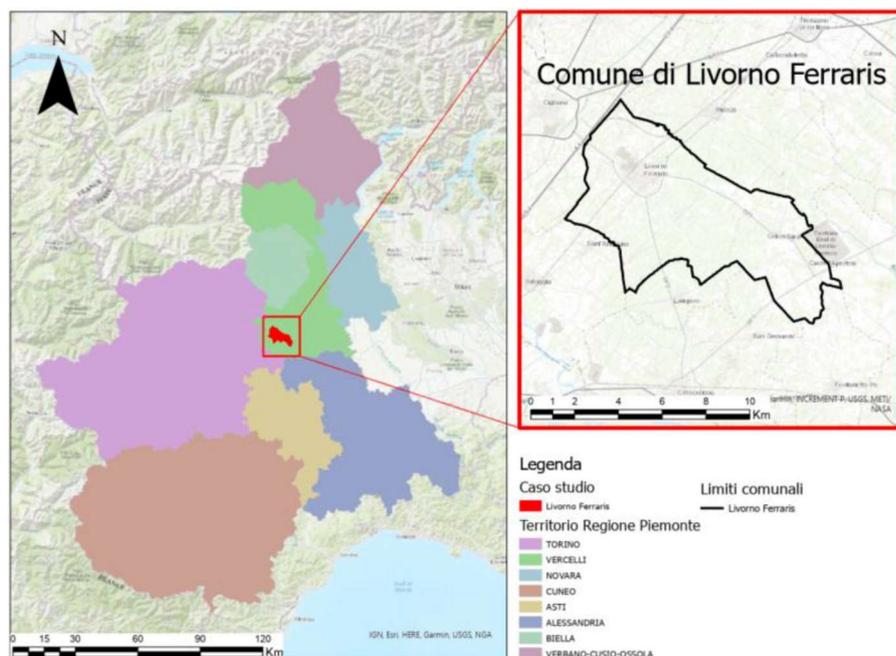
Per la generazione del modello 3d di Livorno Ferraris, proprio a seguito del rilievo e del relativo dataset, è stato necessario eseguire alcuni passaggi fondamentali che sono riconducibili alle seguenti fasi che costituiscono la reale modalità operativa di quanto effettuato, come già detto in precedenza:

- operazioni preliminari e rilievi sul campo, che prevedono la progettazione ed esecuzione degli appoggi in campo, con la redazione e la compilazione delle schede

monografiche. Acquisendo punti RTK, Real-time kinematic positioning, georeferenziati tramite rete Sistema Satellitare di Navigazione Globale, sarà possibile in un secondo momento validare il dataset di immagini aeree.

- processing delle immagini tramite software basati su algoritmi di structure from motion - SfM con l'ausilio dei dati GPS acquisiti nello step precedente;
- post-processing con la creazione degli output specifici;
- benchmarking dei software utilizzati.

Il Comune di Livorno Ferraris è un comune italiano di circa 4200 abitanti della Provincia di Vercelli in Piemonte. Sorge nelle campagne vercellesi e si sviluppa su una vasta area che lo rende uno dei paesi con il territorio più vasto della sua zona con una superficie di circa 58,00 km² e una densità di circa 72,00 abitanti/km². A livello di collocamento geografico, il Comune è posizionato a 428231.88 Est 5014654.95 Nord, Zona 32N in base al sistema di riferimento UTM - WGS84.



05.2 Rilievo aereo e allineamento immagini

Come sopra riportato, il rilievo fotogrammetrico sul Comune di Livorno Ferraris è stato effettuato a marzo 2021 con sorvolo aereo dell'abitato del centro urbano del capoluogo, tramite un sistema aereo integrato composto da una fotocamera equipaggiata con una lente da 50 mm, il tutto modello PhaseOne e Rodenstock. I dati tecnici della campagna di acquisizione aerea volo sono riportati qui di seguito:

Numero di immagini:	563
Ricoprimento longitudinale	>90%
Altitudine di volo:	598 m
Risoluzione al suolo:	4.04 cm/pix
Area di copertura:	9.66 km ²
Stazioni di ripresa:	563

Le circa 560 immagini catturate sono state confezionate ed organizzate, in forma relazionale tra di loro, in un dataset. Tale dataset è composto da una serie di figure aeree ottiche, sia nadirali e che oblique, proprio per meglio andare a rappresentare gli oggetti così catturati, e da successivo telerilevamento laser scanning da terra per l'acquisizione di una nuvola punti LiDAR e nel contempo poter allineare e ben identificare sempre a terra quanto ripreso dall'alto.

Durante la fase di processamento delle immagini non è stato possibile effettuare l'orientamento delle stesse. Si è ovviato a tale problema grazie all'allineamento delle immagini nadirali ed alla collimazione dei punti di controllo a terra, quelli per l'appunto di seguito telerilevati. Mentre per quanto concerne l'orientamento esterno, sono stati utilizzati i dati di riferimento del sistema GPS montato sul velivolo che ha effettuato il rilievo aereo, forniti direttamente dalla società insieme al dataset in coordinate geografiche WGS84.

Per poter successivamente poter generare gli output, devo essere sistematicamente processate le immagini iniziando l'elaborazione del tutto con la calibrazione della fotocamera. Tale processo telematico viene effettuata mediante l'utilizzo di software di fotogrammetria in grado si determinare i parametri di calibrazione generandone un modello le cui dimensioni sono dettate non solo dalle caratteristiche tecniche della fotocamera usata ma anche dalle dimensioni del sensore e dalla lunghezza focale, entrambe espresse in millimetri.

Inoltre il tutto così elaborato deve di seguito essere collimato a terra per poter determinare e definire le schede monografiche per ogni punto d'appoggio, operazione necessaria per consentire l'individuazione dei punti stessi in modo univoco.

Località: Livorno Ferraris		Data: 29/04/2021 fotografici
Nome:	Numero: 007	Foto particolare: 
Descrizione: Tombino		
Ubicazione: Inizio area pedonale / ciclabile Piazza Galileo Ferraris		
Coordinate WGS 84/UTM 32N [m]		
Est:	H ellissoidica:	Foto generale: 
Nord:	h ellissoidica(corretta):	
Coordinate WGS 84/UTM 32N [m]		
Est:	H ellissoidica:	
Nord:	h ellissoidica(corretta):	
Inquadramento generale: 		

Tali schede saranno di utilizzo indispensabile per poter andare in futuro a poter correlare ulteriori rilievi, ad esempio d'aggiornamento cartografico, avendo una restituzione con riferimento unici e a pari condizioni di risoluzione, senza dover ricalibrare gli eventuali errori di rilievo.

05.3 Generazione degli output

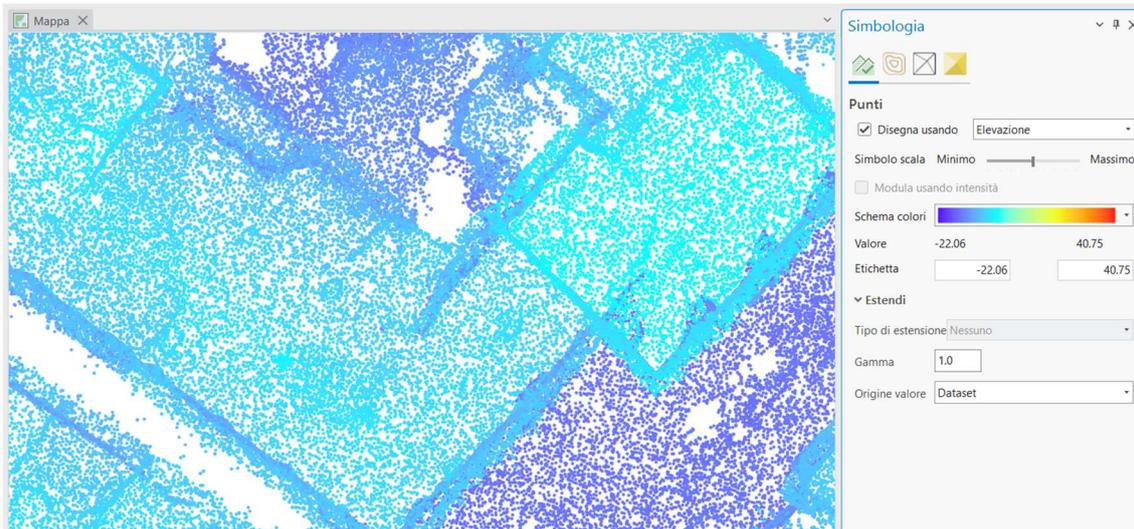
Nel linguaggio scientifico e tecnico il processo che va a determinare il risultato o l'elemento finale di un procedimento viene definito proprio come output.

Pertanto i dati rilevati mediante un rilievo fotogrammetrico, come nel nostro caso studio con sorvolo aereo, permettono di poter andare ad ottenere i seguenti output, ovvero una cosiddetta nuvola di punti, o point cloud, che va a costituire un insieme di punti identificati attraverso la propria posizione su un sistema di coordinate a tre dimensioni x-y-z; carte topografiche ossia una rappresentazione di un territorio estremamente dettagliata; fotografie elaborate come le immagini raddrizzate o gli ortofotopiani (News dal Mondo BIM - sito di ACCA, novembre 2021).

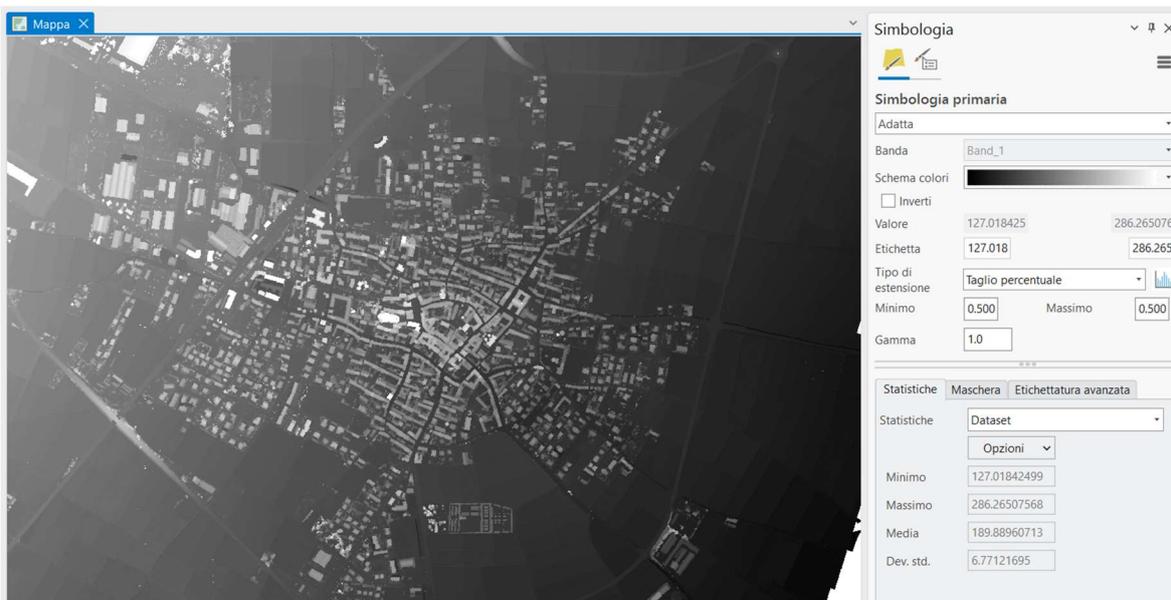
Quindi, continuando con la nostra analisi del caso studio sul Comune di Livorno Ferraris, il modello di calibrazione, ottenuto con il processamento dei dati di cui al precedente paragrafo, è stato implementato dal software utilizzato e risulta essere di tipo parametrico a proiezione centrale e distorsioni non lineari. Tra gli output di conseguenza generati dalla calibrazione, si possono ottenere ed esportare i residui dell'immagine, rappresentati da vettori che costituiscono gli errori di riproiezione, e i coefficienti di calibrazione e matrice di correlazione tra i parametri.

Importante ricordare che essendo dati contenuti in un dataset di immagini, sono direttamente relazionati tra di loro con applicazione dei vari coefficienti geografici di

riferimento e di correzione degli errori di rilievo, proprio per la loro restituzione con grado di definizione in alta risoluzione, ben rilevabile graficamente con la nuvola di punti.



Con la definizione delle nuvole di punti, sempre con l'ausilio di software di elaborazione fotogrammetrica, si possono andare a creare i modelli digitali di elevazione, Digital Elevation Model - DEM, quali il DSM e il DTM, riferiti alla superficie ed al terreno della zona rilevata, e di seguito oppure in contemporanea le ortofoto di quanto catturato.



Come si può notare dall'immagine di cui sopra, si è generato un modello digitale di superficie in elevazione, il DSM, nel quale anche negli oggetti rilevati di piccole dimensioni si può avere una concentrazione di punti dovuta al loro posizionamento geografico; nella restituzione possiamo notare come le aree libere da costruzioni siano più "scure" di quelle occupate.

Altro modello digitabile ottenibile elaborando i dati rilevati e assemblati in nuvola di punti, è quello del terreno definito appunto come DTM.



Questo è un passaggio importante per la definizione del modello tridimensionale che vogliamo andare ad ottenere.

Come detto in precedenza, con le nuvole di punti si possono processare ed ottenere anche restituzioni ortofotometriche dell'area rilevata, ad alta definizione di risoluzione.



Al fine di poter meglio definire il nostro modello digitale in 3d del centro abitato del capoluogo del Comune di Livorno Ferraris, l'approfondimento verrà anche integrato con il contestuale rilievo a terra di dati in modalità laser scanning, sempre con il fine di elevare quanto più possibile il grado di risoluzione degli elementi terminali.

05.4 Acquisizione di punti con scansione laser - LiDAR

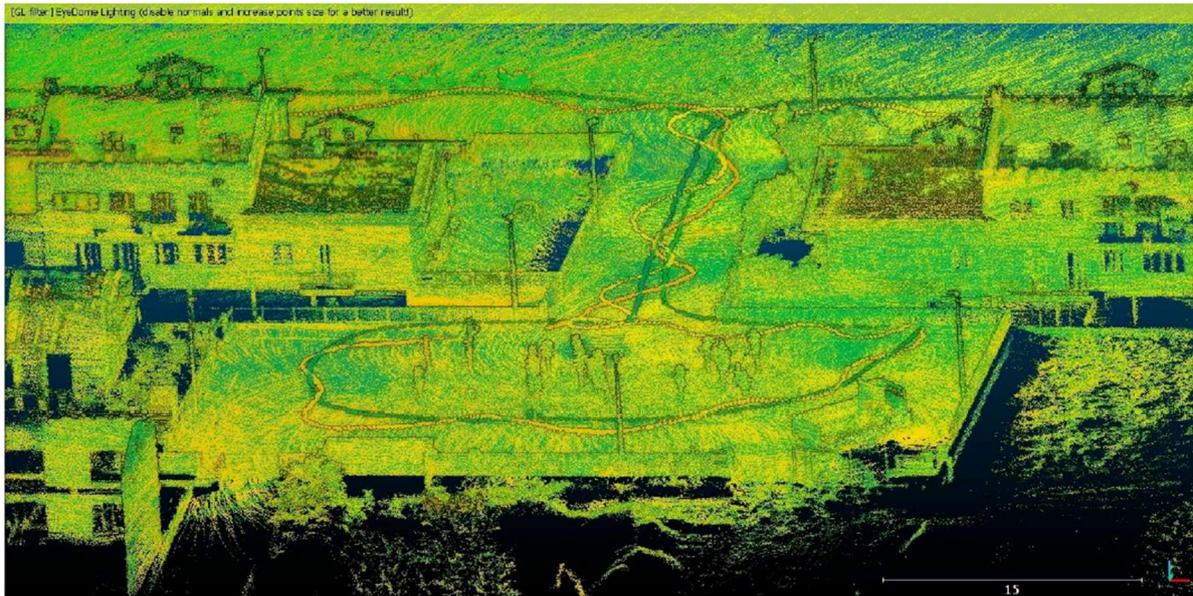
Il dataset di riferimento è stato integrato con un'ulteriore acquisizione da terra con tecnologia laser scanning. Quella del Laser Imaging Detection and Ranging - LiDAR, è una tecnica di telerilevamento che permette di determinare la distanza di un oggetto o superficie utilizzando un impulso laser (definizione da Wikipedia, novembre 2022).

La strumentazione laser scanning utilizzata, dotata di tecnologia LiDAR Velodyne Puck, ha la caratteristica di possedere un raggio di ricoprimento fino a cento metri. La peculiarità di questo dispositivo è quella di consentire una stima in tempo reale della nuvola di punti, direttamente abbinata per l'appunto ad una mappatura 3d integrata.

Per le operazioni di rilievo e collimazione dati a terra, effettuate in data 08 ottobre 2021, al dispositivo laser scanning è stato abbinato un ricevitore multibanda con precisione centimetrica, per migliorarne l'accuratezza spaziale del dato acquisito. Entrambi i dispositivi sono stati fissati ad un supporto mobile, trasportabile a spalle.



Ultimati i rilievi integrati a terra, è stata elaborata direttamente la nuvola di punti LIDAR, basata sulla tecnica definita “scan-to-point” di corrispondenza del medesimo insieme. Tutti i nuovi fotogrammi dei dati di scansione laser sono abbinati alla nuvola di punti in tempo reale durante il flusso dei dati.



La tecnologia LiDAR rappresenta allo stato dell'arte, la tecnica di telerilevamento tridimensionale più accurata in termini di quantità e qualità del dato ottenuto a parità di area di acquisizione (F. Monteforte - PoliTo, anno 2021).

05.5 Costruzione del modello tridimensionale

Effettuate tutte queste fasi, ed ottenuto le restituzioni grafiche trattate nei paragrafi precedenti, possiamo a questo punto iniziare la creazione dell'immagine in ortomosaico determinante per il primo approccio all'immagine in 3d, ovvero del modello texturizzato che evidenzia la profondità della cartografia così rilevata.

In questo contesto, il modello tridimensionale texturizzato rappresenta l'involucro ad altissima definizione del Digital Twin vero e proprio, in grado di caratterizzare geometricamente e graficamente la morfologia del tessuto urbano oggetto del nostro caso studio. Per poter procedere ad un uso proprio del modello, il medesimo dovrà essere dotato e collimato a informazioni geo-spaziali caratteristiche di ogni elemento presente nel contesto urbano, quindi compreso nel rilievo. Per tale motivo, come già trattato in

precedenza, il passaggio successivo consisterà nella generazione di un modello 3D vettoriale, ad alta risoluzione, con complesse elaborazioni algoritmiche tramite l'utilizzo di più software di elevazione grafico-digitale.



05.6 Possibili applicazioni

Alla scala di analisi del nostro caso studio, ovvero Il Comune di Livorno Ferraris, il modello tridimensionale così ottenuto, un vero e proprio Urban Digital Twin, può essere direttamente impiegato per l'implementazione e l'aggiornamento del Sistema Informativo Territoriale in dotazione dei servizi municipali, quali su tutti quello tecnico e la polizia municipale, nonché ai fini di protezione civile e monitoraggio.

Il Sistema informativo Territoriale è uno strumento molto importante per il Governo, in grado di prendere in analisi diversi dati importanti e suddivisi per ambiente. Ma vedremo di seguito per quali altri scopi potrebbe essere utilizzato (definizione da ReteCamere.it, novembre 2022).

Come già detto nel primo capitolo, in Italia il GIS, che è in sintesi un sistema informativo geografico, viene letto e inteso come SIT, la cui inclinazione e peculiarità si sviluppa su di un territorio ben definito. Pertanto il GIS è il software informatico di coordinate georeferenziate sul quale viene sviluppato il sistema informativo territoriale. Esiste quindi una forte correlazione tra i due, ma il SIT è processo di una piccola potenzialità del GIS anche se la loro coabitazione è indispensabile.

Il SIT è un vero e proprio strumento dinamico e di comunicazione, utilizzato dalla Pubblica Amministrazione per poter andare ad estrapolare i dati più importanti di un determinato territorio, attraverso il processamento algoritmico di immagini satellitari, cartografie, ortofoto aeree e via discorrendo, il tutto come in sintesi trattato nei precedenti paragrafi.

Oltre ai dati prettamente di natura urbanistica, catastale e infrastrutturale, si possono raccogliere ed andare ad elaborare sul SIT, dati di matrice sociale, economico-finanziaria, statistici, ambientali, storico-paesaggistici e commerciali.

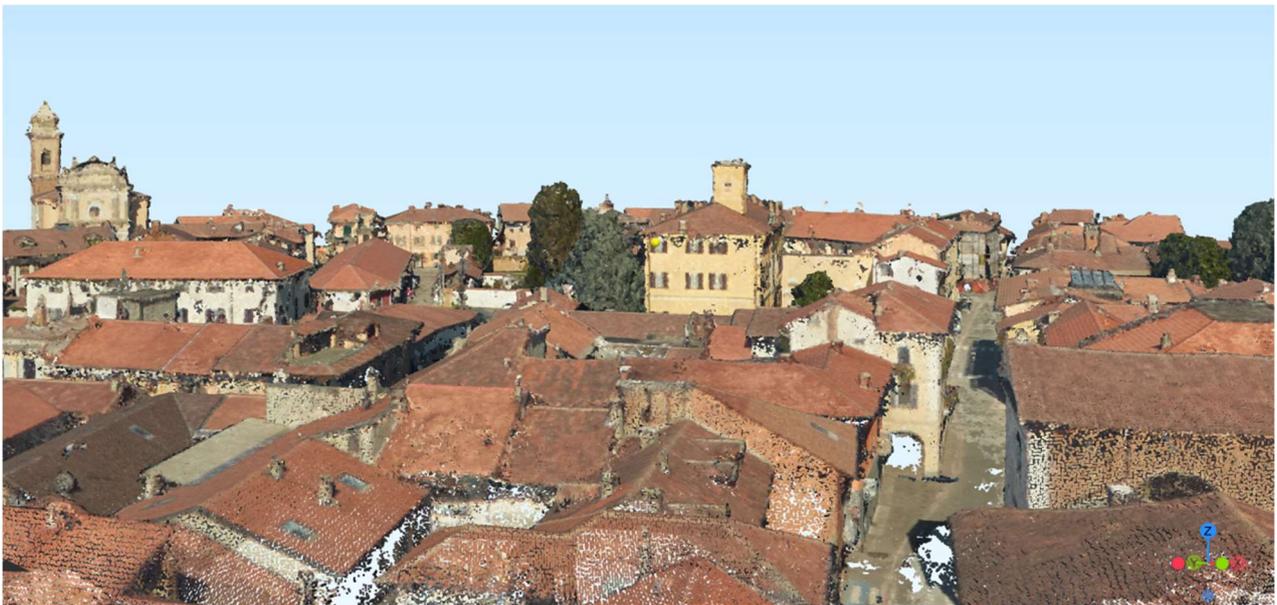
La raccolta di tutti questi dati può essere debitamente utilizzata per pianificare dinamiche, strategie, politiche ed azioni per poter andare a gestire e governare al meglio un territorio ben definito, sia su scala ridotta che in scala più vasta, il tutto con l'intento e l'obiettivo primario di poter garantire un luogo con condizioni di vita migliori e di lungo termine.

Oggi come oggi, un utilizzo dei GIS è quello di redazione degli strumenti urbanistici generali comunali, proprio con lo scopo di poterli gestire e renderli consultabili on-line, tramite sportelli telematici comunali, quali per esempio lo Sportello Unico dell'Edilizia - SUE. Il SUE è nella stragrande maggioranza dei casi, impostato e sviluppato su un GIS, che attribuisce alla Pubblica Amministrazione la figura di gestore del sistema, mentre gli stakeholders, oltre ai liberi professionisti, sono i cittadini che possono consultare da casa e reperire informazioni senza presentarsi fisicamente presso gli uffici comunali, il tutto con un semplice accredito telematico sul sito istituzionale del comune.

Livorno Ferraris è dotato di un proprio Sistema Informativo Territoriale, utilizzato principalmente dal Servizio Tecnico, sul quale sono direttamente inserite tutte le principali reti infrastrutturali di interesse pubblico, la base catastale afferente ai terreni ed immobili, tutta la cartografia allegata al vigente Piano Regolatore Generale Comunale, nonché la gestione informatica di tutti i procedimenti edilizi, che vengono trasmessi telematicamente, secondo le prescrizioni normative vigenti, sia dai tecnici che dai cittadini intesi come figure sia private che giuridiche, quali le attività produttive.

Il comune fa uso di un software ArcGis che gira su di un sistema informatico denominato GisMaster, costituito da un insieme di moduli software completamente integrati fra loro. È compatibile pertanto con le tecnologie ESRI, permettendo il continuo e periodico aggiornamento dello stesso, in modo perfettamente scalabile ed adattabile alle esigenze

dell'amministrazione. Il software GisMaster permette infatti di importare e consultare ortofoto ad alta risoluzione, anche quelle processate e realizzate sulla base del rilievo effettuato sul territorio nel 2021, il tutto sviluppando e trattando qualsiasi shapefile prodotto su GIS. Inoltre, la presenza di un modello tridimensionale può essere di supporto allo stesso SIT, consentendo l'associazione delle quote agli elementi del territorio, ad esempio attraverso un join di unione tra le quote e gli edifici.



Essendo il SIT lo strumento di partecipazione e di consultazione dell'Urban Digital Model, il raggio d'azione di questo modello telematico e virtuale, sempre alla nostra scala di utilizzo della Pubblica Amministrazione, è decisamente vasto con rilevanze importanti proprio sotto il punto di vista di governo del territorio.

In sintesi possiamo andare elencare i principali campi di applicazione che una municipalità potrebbe andare a sviluppare con l'utilizzo di un proprio sistema informativo territoriale:

- pianificazione urbanistica integrata, intesa come la visualizzazione, la possibilità di consultazione, il costante aggiornamento con notifica temporale e puntuale delle

variazioni sui dati, di quelli che sono gli sviluppi e le adozioni sul territorio degli strumenti generali, quindi di diretta correlazione con la progettazione edilizia ed urbana;

- gestione ed implementazione delle infrastrutture di interesse collettivo e di gestione comunale, come la segnaletica stradale orizzontale e verticale, le reti di illuminazione pubblica, le aree verdi adibite a parco o quelle attrezzate per i giochi e lo svago, i punti di interesse anche di rilevanza turistica;
- contesto energetico, ovvero l'efficientamento del patrimonio immobiliare, la classificazione del territorio al fine di poter andare a prevedere e sviluppare aree di interesse e di insediamento di attività del settore, identificazione degli impianti di produzione energetica da fonti rinnovabili quali quelle fotovoltaiche, nonché l'individuazione di zone del territorio urbano in grado di poter costituire comunità energetica rinnovabile al fine di migliorare la qualità del tenore di vita della popolazione anche con programmi di gestione delle stesse;
- sicurezza e ordine pubblico a favore dei cittadini, sviluppando politiche e azioni di protezione civile anche in appoggio e sostegno ai limitrofi comuni in caso di emergenza collettiva, redigendo analisi del grado di rischio ambientale con relative attività di monitoraggio e prevenzione, identificando e classificando le criticità riscontrate sul territorio;
- campo produttivo tecnologico, sviluppando sistemi di raccolta dati ed informazioni da rendere consultabili a misura della cittadinanza, elaborando i principi messi in atto delle città intelligenti, tipo smart city.

Quanto appena elencato rappresenta una parte delle applicazioni e dei campi che possono essere rappresentati e gestiti da un sistema di urban digital twin dalla Pubblica Amministrazione.

Merita un sintetico approccio la questione relativa ai temi della Protezione Civile, questioni che ormai sono diventate di pubblico dominio a seguito dei repentini cambiamenti climatici in atto, ben riscontrabili nella nostra Regione.



- ✓  aree attese
- ✓  aree ammassamento
- ✓  centri di assistenza
- ✓  area raccolta bestiame
- ✓  COC

Quello che si è potuto ben constatare con lo sviluppo del rilievo fotogrammetrico aereo dell'abitato principale del territorio di Livorno Ferraris, è senza dubbio quello indicato nella vigente direttiva di protezione civile del 2021, che va a richiedere nei propri contenuti, la definizione di aree di emergenza e di centri di assistenza come elementi strategici fondamentali per le attività di soccorso, logistiche e di assistenza alla popolazione.



Ai fini delle tematiche relative alla Protezione Civile, i risultati ottenuti dal rilievo in loco, consentono di delineare in modo chiaro le aree di emergenza, che a sua volta si dividono in aree di attesa, aree di assistenza e aree di ammassamento soccorritori e risorse, e le strutture di emergenza. Nello specifico è possibile, con l'ausilio dell'ortofoto ottenuta dal medesimo rilievo del 2021, analizzare il territorio per poter operare delle scelte più accurate, sulla base di un prodotto recente e avente una risoluzione ben maggiore rispetto a quella degli altri prodotti disponibili. La presenza di un modello tridimensionale, inoltre,

potrebbe permettere di avere più parametri su cui calibrare la scelta delle aree di emergenza. Ad esempio, nel decidere se una piazza possa essere adibita ad area di attesa, proprio dal modello 3d è possibile individuare la presenza di barriere architettoniche per le persone con limitata capacità motoria, piuttosto che effettuare misure degli elementi costruttivi direttamente con l'utilizzo del GIS, aspetti che non sono riscontrabili da un modello bidimensionale del territorio. In aggiunta, questa restituzione tridimensionale va a coprire anche zone non aggiornate su Google Earth, su cui sono disponibili immagini satellitari un po' datate. Questo aspetto evidenzia la continua necessità di dover aggiornare questi sistemi poiché sono attualmente in grado di poter prevenire e diminuire il grado di rischio e quindi aumentare la sicurezza della cittadinanza.



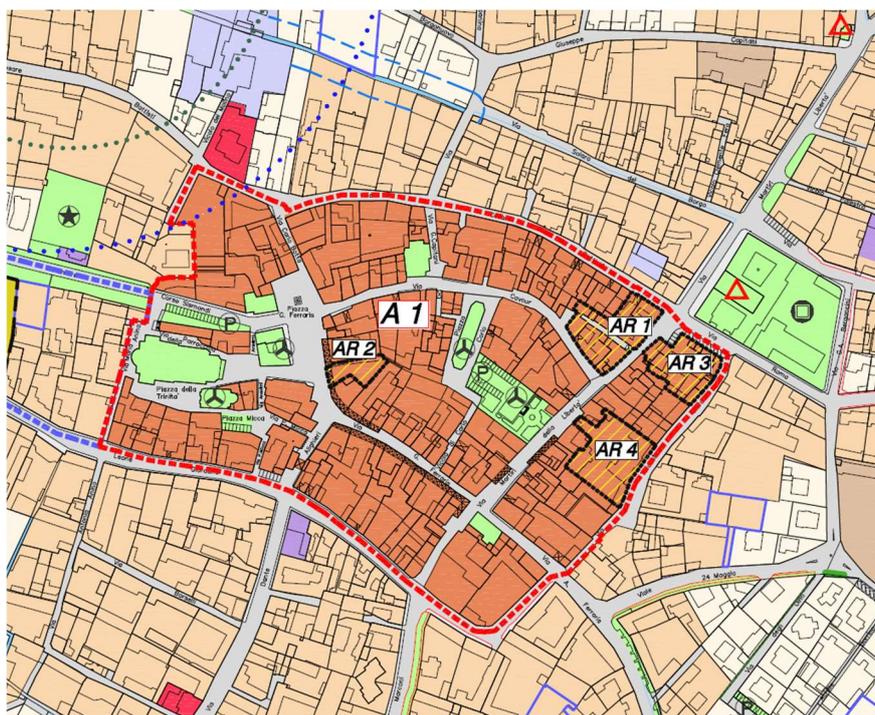
Per andare dare ulteriore senso agli utilizzi delle tecnologie di osservazione della Terra, il nostro lavoro di analisi va ad approfondire quello che effettivamente possono essere gli aspetti più interessanti delle politiche di governo del territorio. Si è pertanto deciso di trattare quelle che possono essere le dinamiche più marcate nelle matrici urbanistiche e di efficientamento energetico degli edifici, sviluppando una proiezione di miglioramento delle condizioni urbane del contesto abitato del capoluogo del Comune di Livorno Ferraris, al fine di poter immaginare di innovare i servizi in capo alla Pubblica Amministrazione.



Capitolo 6 --- Comune di Livorno Ferraris (Vc) - Urbanistica, Ambiente e Paesaggio

06.1 Assetto insediativo ed infrastrutturale

Il territorio del Comune di Livorno Ferraris viene analizzato e pianificato dal vigente Piano Regolatore Generale Comunale - P.R.G.C. con riferimento ed inquadramento urbanistico su scala essenziale di due tipologie di territori, ossia quello dell'area urbana e quello dell'area agricola. Questa classificazione trova ulteriore articolazione sulla base delle componenti appartenenti ai sistemi presenti sul territorio del comune di studio, ovvero il sistema degli insediamenti consolidati, il sistema dei luoghi e dei territori di trasformazione, il sistema delle aree di interesse pubblico o generale ed infine il sistema ambientale e agricolo.



Alla luce delle dinamiche di trattazione e di composizione del vigente strumento urbanistico generale comunale, l'assetto insediativo è, di definizione, composto da tutte le costruzioni

e le edificazioni presenti sull'intero territorio. Tale assetto può essere suddiviso ulteriormente in due componenti che vanno a rappresentare essenzialmente il sistema insediativo consolidato, ovvero il nucleo di antica formazione, cui il capoluogo oggetto del nostro caso studio costituisce parte essenziale, e gli insediamenti esterni.

Le infrastrutture vengono invece trattate dal P.R.G.C., come il sistema dei servizi, delle infrastrutture e degli impianti, articolando il tutto nelle componenti dei servizi pubblici o di uso pubblico, dei servizi privati di uso pubblico, delle infrastrutture per la mobilità, e delle aree ed impianti tecnologici a rete.

Le strategie di governo del territorio hanno come principale obiettivo del vigente Piano Regolatore Generale Comunale lo sviluppo sostenibile del territorio da realizzarsi attraverso il dialogo permanente con le organizzazioni sociali ed imprenditoriali e con la pianificazione sovracomunale ed in modo coordinato con i comuni confinanti.

Tale politica di gestione potrebbe essere ben integrata con l'implementazione del Sistema Informativo Territoriale esistente, tracciando per dare un indirizzo, modalità e temporalità di aggiornamento sempre più con termini puntuali e mirati, proprio per mantenere lo strumento estremamente aggiornato ed attuale.

06.2 Strumenti Urbanistici generali in vigore

I principali strumenti urbanistici generali in vigore su tutto il territorio di Livorno Ferraris sono: il Piano Regolatore Generale Comunale - P.R.G.C. ed il Regolamento Edilizio Comunale - R.E.C..

Quindi il Comune è dotato di un proprio P.R.G.C., con allegate relative Norme Tecniche di Attuazione, approvato in via definitiva dalla Regione Piemonte con D.G.R. n. 96-31590 del 26 gennaio 1984. Di seguito sono state apportate sei varianti parziali al proprio P.R.G.C.

ai sensi dell'ex settimo comma dell'articolo 17 della Legge Regionale n. 56/1977 e s.m.i.. Inoltre, è stata apportata allo strumento generale una variante strutturale che è stata definitivamente approvata con D.G.R. n. 39-4960 del 02.05.2017, che costituisce a tutti gli effetti l'ossatura portante di questo strumento.

Il Comune di Livorno Ferraris è dotato anche di un proprio Regolamento Edilizio, che è stato approvato con deliberazione di Consiglio Comunale n. 25 del 28 settembre 2006, divenuta esecutiva in data 19 ottobre 2006, pubblicata per estratto sul Bollettino Ufficiale della Regione Piemonte n. 46/2006 in data 16 novembre 2006. Successivamente, secondo le vigenti normative, è stata apportata la prima modifica generale approvata con deliberazione di Consiglio Comunale n. 35 del 26 novembre 2018, divenuta esecutiva in data 10 dicembre 2018, e pubblicata per estratto sul Bollettino Ufficiale della Regione Piemonte n. 03/2019 in data 17 gennaio 2019. Questa prima modifica generale è stata gestita e redatta in prima persona dal sottoscritto Fabrizio Di Ruscio, che nel contempo rettificava anche lo strumento vigente nel Comune di Crescentino (Vc).

06.3 Evidenze rilevate dallo scaricamento del dataset

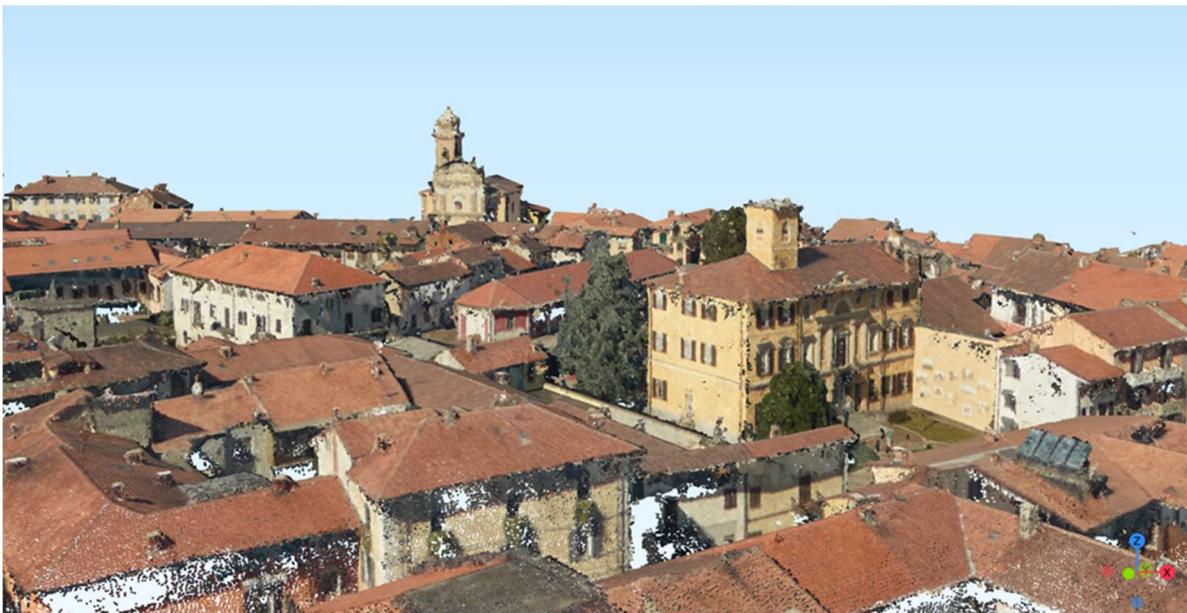
Sotto il profilo prettamente urbanistico, lo scaricamento ed il relativo, processamento dei dati e delle immagini rilevate, ha evidenziato la presenza sul territorio comunale di alcune criticità presenti in gran parte dei comuni piemontesi, aspetti dovuti alle continue mutazioni delle abitudini costruttive dettandone inoltre segni di inquadramento temporale.

I principali riscontri di queste anomalie urbanistiche dei tessuti urbani livornesi sono definiti da una dispersione insediativa caratteristica dei sistemi pianificatori ereditati dagli anni settanta e ottanta del secolo scorso, con definizione di landmark indelebili e di un certo impatto anche visivo poco delicato.

Altra evidenza e comunque conseguenza della dispersione insediativa urbana è rappresentata dal consumo di suolo per edificazione, che fa risaltare oggi quelli che sono gli edifici non più abitati, fabbricati ubicati essenzialmente nei tessuti storici ed in quelli frazionali, strutture in stato di abbandono e ormai in degrado.

Sicuramente il disegno di una città deve essere debitamente studiato tenendo conto delle esigenze e dei servizi da dover necessariamente mettere a disposizione della popolazione, non solo quella residente ma anche i cosiddetti addetti, che ne possono comunque usufruire. Una città ben pianificata, con una buona distribuzione dei servizi sul proprio territorio, aumenta in positivo il tenore di vita dei propri abitanti.

Sotto il profilo paesaggistico si possono notare le distribuzioni sul territorio delle aree verdi e delle zone boscate. Tale notazione è indispensabile al fine di poter migliorare il rapporto tra l'antropizzato e la natura, facendo convivere in armonia le zone urbane da quelle rurali, migliorandone le conduzioni ed ottimizzando i collegamenti tra le stesse.



Importante è comunque tenere in monitoraggio le zone a verde, tutelandole nel contempo in quanto veri e propri polmoni per la pulizia dell'aria che respiriamo ogni giorno. Non devono essere consumate a favore di nuove edificazioni, proprio alla luce dei concetti e degli obiettivi da raggiungere per il miglioramento sostenibile della qualità della vita sul nostro pianeta.

Con lo scaricamento ed il processamento dei dataset fotogrammetrici del capoluogo del Comune di Livorno Ferraris, si possono andare a rilevare e mettere in evidenza le attività economiche presenti sul territorio nonché i punti di aggregazione, il tutto in considerazione di un rapporto socio-economico e di un possibile miglioramento delle modalità di accesso e di raggiungimento delle medesime location.

Tutto questo concentrato di dati e notizie è in grado di poter permettere la focalizzazione di nuove strategie di politiche di governo del territorio, agendo sulle criticità che sono state evidenziate mettendo in atto azioni che possano anche nel medio termine apportare nuove proposte pianificatorie che congiuntamente, e sui vari livelli, possono modificare e andare a sistemare quelle lacune dei servizi carenti.

Un esempio di azioni di governo del territorio su più livelli, che messo in pratica può ottenere ottimi risultati, è sicuramente la rigenerazione urbana, che oltre a definire nuovi interventi urbanistici edilizi ne promuove contestualmente la funzione, le modalità di accesso, la fruizione e tutto quant'altro indispensabile, creando quindi una rete che consente la gestione anche a vasta scala, ovvero su territori non limitati ad un singolo comune, ma ad un ambito territoriale ben identificato.

06.4 La dispersione insediativa - sprawl urbano

La città diffusa, dispersione urbana o invasione urbana, in inglese urban sprawl, è un fenomeno urbanistico che indica l'espansione rapida e disordinata di una città, senza dunque una pianificazione urbanistica adeguata e sostenibile. Questo fenomeno si manifesta nelle zone periferiche, data la connotazione di aree di recente espansione e sottoposte a continui mutamenti, per cui dunque si forma una polarizzazione tra il centro e la periferia urbana (definizione da Wikipedia, novembre 2022).

La dispersione urbana è caratterizzata da un elevato consumo di suolo. Le aree commerciali, residenziali e industriali sono separate l'una dall'altra da strade e spazi verdi agricoli, con conseguenza che i confini tra città e paesi si stanno sfumando. L'urban sprawl è il fenomeno che più caratterizza oggi il territorio.



Possiamo in sintesi andare a definire la dispersione insediativa come la crescita disordinata e senza pianificazione di un'area urbana che sia di grandi o ridotte dimensioni.

Un sistema informativo territoriale è senza ombra di dubbio in grado di tenere sotto controllo e ricucire tutte quelle sfrangiature urbane che rappresentano gli effetti dello sprawl. Azioni di pianificazione urbana mediante l'implementazione di strumenti urbanistici, non solo generali ma anche attuativi, è sicuramente il giusto antidoto per andare a sistemare queste anomalie.



Si possono anche andare a prevedere e sviluppare, e qui il modello tridimensionale di una zona urbana potrebbe essere di molto aiuto, aree verdi e attrezzate con scopi molteplici: ricucitori e nuovi punti di aggregazione, quindi non solo aspetti prettamente di ricostruzione di una città ma anche di tipo sociale, magari considerando puntualmente

quali potrebbero essere le carenze di quella determinata comunità nonché le richieste che la popolazione avanza, come ad esempio un nuovo parco giochi, una pista ciclabile e via discorrendo.

La dispersione insediativa sicuramente non ha grandi effetti positivi sull'ambiente, infatti oltre a consumare suolo non aiuta nel contenimento energetico.

Nell'immediato possiamo solo pensare di poter mitigare gli effetti della dispersione insediativa, cercando di migliorare i servizi all'interno dei centri urbani rendendoli il più possibile fruibili ed accessibili. Nelle grandi città gli effetti nell'immediato si possono avere migliorando la mobilità pubblica facendo in modo che la popolazione limiti allo stretto necessario l'utilizzo dei propri mezzi di trasporto, che significa meno inquinamento e più possibilità di muoversi in zone "pulite".



06.5 Il consumo di suolo

Il consumo di suolo è monitorato dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente che ogni anno realizza il Rapporto nazionale "Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi eco-sistemici". È un fenomeno associato alla perdita di una risorsa ambientale fondamentale, dovuta all'occupazione di superficie originariamente agricola, naturale o semi-naturale. Il fenomeno si riferisce, quindi, a un incremento della copertura artificiale di terreno, legato alle dinamiche insediative. Un processo prevalentemente dovuto alla costruzione di nuovi edifici e infrastrutture, all'espansione delle città, alla densificazione o alla conversione di terreno entro un'area urbana, all'infrastrutturazione del territorio. In estrema sintesi, possiamo dire che il concetto di consumo di suolo è, quindi, definito come una variazione da una copertura non artificiale, suolo non consumato, a una copertura artificiale del suolo, suolo consumato (on-line da <https://www.isprambiente.gov.it>).



Avere la possibilità di poter effettuare anche queste operazioni di monitoraggio a scala decisamente più ridotta, ovvero quella riferita ad un territorio comunale, potrebbe

veramente essere una possibilità in più di poter eliminare il fenomeno di consumo del territorio, migliorando nel contempo anche le norme attuative degli strumenti urbanistici generali, limitando gli interventi di nuova edificazione, a favore della riqualificazione dei fabbricati in disuso, migliorando anche la situazione di decoro urbano che soprattutto nei centri storici dei nostri comuni, come ad esempio proprio quello del nostro caso studio, sono ormai in via di abbandono non solo delle residenze ma anche le attività commerciali si stanno allontanando, proprio per lo stato di conservazione in cui versano queste zone.

Attraverso un corretto monitoraggio e un costante aggiornamento di questi sistemi informativi territoriali, si possono dunque apportare le giuste indicazioni per la predisposizione di piani di governo del territorio e di pianificazione urbanistica, in grado di favorire azioni di recupero e di rigenerazione delle zone più bisognose. Le chiavi di lettura e di attuazione di queste azioni rigenerative possono essere i piani di incentivazione e le modalità più semplificate con procedure snelle per l'ottenimento dei necessari titoli abilitativi.

È evidente che il singolo Comune non ha questo potere, non disponendo della possibilità di promulgare norme di dettaglio, ma può sviluppare e programmare strumenti in grado di perfezionare queste lacune urbane favorendo la ristrutturazione di edifici esistenti al posto di rendere possibili nuove edificazioni e ulteriore consumo di suolo. Il tutto potrebbe inoltre andare a favorire la sostenibilità ambientale e l'efficientamento energetico degli interventi edilizi, favorendo tali proposte progettuali e mettendo a disposizione delle ditte proponenti anche modalità incentivanti non solo economiche ma con premialità come ad esempio ampliamenti volumetrici in deroga al P.R.G.C..

Il vigente P.R.G.C. di Livorno Ferraris ha un articolo nelle proprie Norme Tecniche di Attuazione che va a promuovere incentivi proprio per la riqualificazione urbana, proponendo percentuali di aumento della superficie utile lorda dei fabbricati oggetto di rilascio del titolo autorizzativo, il tutto attuando programmi integrati di sviluppo urbano.

06.6 Le problematiche paesaggistico-territoriali

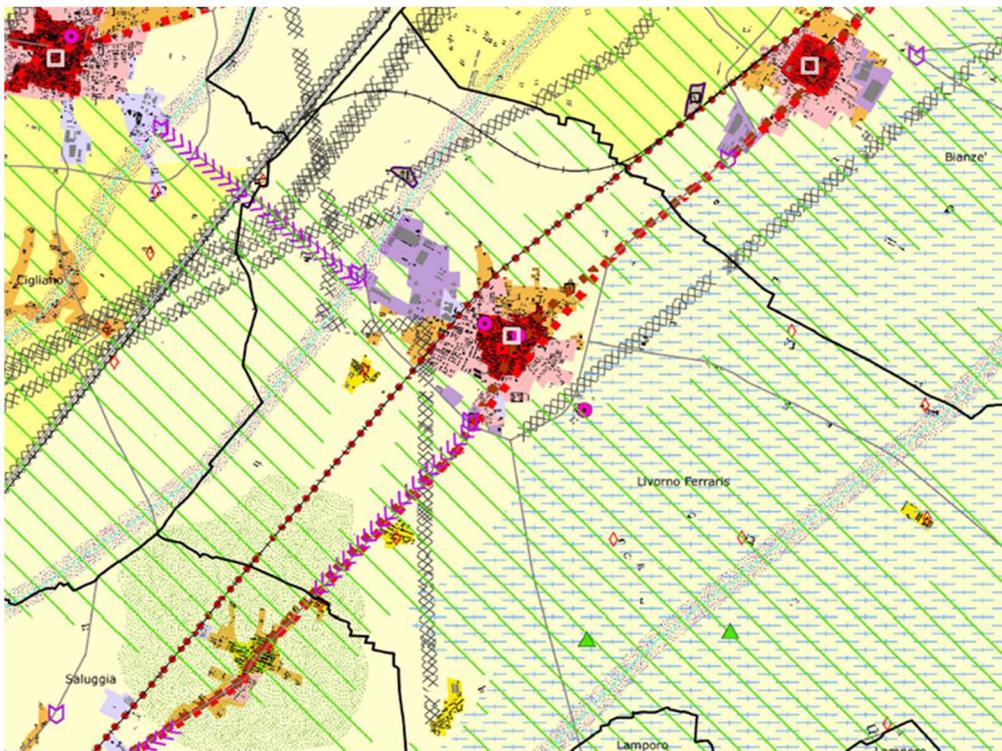
Come azione di riscontro delle problematiche paesaggistico-territoriali, l'utilizzo di un sistema informativo territoriale - SIT, può essere di sicuro aiuto andando a evidenziare su di un layer dedicato tutte quelle che sono le zone con tale rilevanza insistenti sul territorio comunale. Il SIT del Comune di Livorno Ferraris già ha livelli dedicati al PTR ed al PPR, debitamente consultabili, nonché l'evidenza dei fabbricati a rilevanza storico architettonica. Il tutto su base catastale che viene aggiornata a cadenza semestrale.

Le strategie che tali piani regionali vanno ad adottare sono rivolte alla riqualificazione territoriale, tutela e valorizzazione del paesaggio, alla sostenibilità ambientale ed efficienza energetica, all'integrazione territoriale delle infrastrutture di mobilità, di comunicazione, e di logistica, alla ricerca, innovazione e transizione economico-produttiva, alla valorizzazione delle risorse umane, delle capacità istituzionali e delle politiche sociali.

Gli strumenti urbanistici generali del Comune di Livorno Ferraris hanno adottato tutte le prescrizioni contenute nel Piano Territoriale Regionale, invece per quanto concerne il Piano Paesaggistico Regionale, dovranno essere adottate con l'approvazione di una variante generale al P.R.G.C., anche se tali prescrizioni non vanno ad incidere pesantemente sul capoluogo preso come nostro caso studio.

Chiaramente la possibilità di poter gestire anche a scadenza temporale aggiornamenti dei rilievi fotogrammetrici da poter processare e trasformare in urban digital twin,

apporterebbe un grado elevatissimo di sviluppo di piani urbani di tutela di quelle zone, tipo i centri storici, che necessitano di grande attenzione della salvaguardia del proprio patrimonio architettonico che conservano. Un esempio nel nostro caso studio potrebbe essere la conservazione e la tutela di Palazzo Ferraris, ubicato nel centro del capoluogo, edificio che ha dato i natali a Galileo Ferraris, di cui oggi è sede del museo a lui dedicato, della biblioteca civica e della sala del consiglio comunale.



Dalla figura appena inserita si può notare come viene suddiviso l'intero territorio comunale, del nostro caso studio, con evidenza delle componenti morfologico insediative e di quelle che sono le rilevanze paesaggistiche insistenti. L'uso di un modello tridimensionale di un centro abitato può andare ad evidenziare e sviluppare quelle che potrebbero essere le azioni di mitigazione tra una zona insediativa ed un'altra al fine di farle coesistere senza criticità e rendere il più piacevole possibile lo scenario urbano in cui

si trovano. Di riflesso si potrebbe anche andare a vincolare la tipologia costruttiva mediante l'utilizzo di materiali sostenibili e l'adozione di tecnologie efficienti sotto il profilo energetico al fine di limitare il consumo e le emissioni in atmosfera migliorandone la qualità dell'aria.

06.7 Le componenti ecologico-economiche

Sotto il punto di vista economico, stiamo vivendo un particolare periodo storico in cui si devono assolutamente trovare nuove soluzioni produttive per poter andare a creare economie sempre più locali, a scale ridotte di territorio, in modo tale da poter rivalutare le risorse e i beni che si trovano in queste zone.

L'economia circolare è e può essere gestita anche tramite l'impiego di strumentazioni di osservazione della Terra, poiché in grado di poter mettere a nudo e carpire i punti di forza territoriali. Ad esempio un sistema informativo territoriale può andare ad individuare le zone più conformi all'insediamento di determinate attività che possono sfruttare le risorse presenti sullo stesso territorio magari proprio nelle vicinanze dei siti scelti. Il trasporto di questi prodotti sarebbe così gestito in modo ottimale limitando le eventuali forme di inquinamento che potrebbero essere generate dai mezzi utilizzati.

Tali proposte potrebbero essere addirittura studiate secondo la qualità dei prodotti presenti sui territori o addirittura dei rifiuti generati. Esempio derivante dal ciclo di raccolta differenziata dei rifiuti urbani potrebbe essere quello della raccolta degli sfalci verdi che come ben sappiamo possono essere utilizzati come biomasse e generare energia sia elettrica che termica, ed essere fonti di produzione sostenibile mediante un programma in cui lo sfalcio assumerebbe addirittura un valore economico e non essere il suo smaltimento una voce di spesa del bilancio nella Pubblica Amministrazione.



Anche questa opportunità è sicuramente un obiettivo che ci si potrebbe imporre a livello locale al fine di andare a migliorare la qualità della vita delle popolazioni andando inoltre anche a fornire possibilità di risparmio delle casse sia pubbliche che dei privati cittadini.

Anche la possibilità di formare comunità energetiche rinnovabili può essere aiutata e migliorata proprio dai sistemi SIT, in quanto con le loro caratteristiche informatiche possono raccogliere dati relativi alle fonti ed agli impianti esistenti sul territorio di produzione da fonti alternative e rinnovabili di energia elettrica. Tale dato può essere circostanziato con la presenza di cabine di distribuzione dell'energia elettrica e tali impianti di produzione, individuando così zone sulle quali poter andare a verificare l'interesse dei privati a far parte di una di queste comunità energetiche cui proprio la Pubblica Amministrazione potrebbe gestire direttamente con le dovute professionalità.

06.8 Valutazioni e dinamiche sul governo del territorio

Tutto quanto sopra citato deve essere messo in atto tramite politiche di governo del territorio che devono comunque nascere da strategie ben individuate anche alla luce di

valutazioni puntuali e mirate, utilizzando rilievi da metodologie di osservazione della terra ad alta risoluzione.

La possibilità di individuare azioni mirate ad un miglioramento della qualità di vita della propria popolazione, sono senz'altro obiettivi di una Pubblica Amministrazione, soprattutto in questo momento storico in cui la sostenibilità di queste azioni non è più solamente un fattore economico-finanziario ma ha assunto connotati di risparmio e di riqualificazione ambientale ed energetica.

Si richiedono SIT debitamente realizzati e periodicamente aggiornati puntualmente, non solo scaricando le nuove planimetrie catastali, ma andando ad effettuare rilievi sempre più realistici in modo tale da aver anche dei modelli digitali da poter consultare e utilizzare come strumenti di pianificazione e di sviluppo delle azioni progettuali così individuate e nel contempo monitorarne l'avanzamento con l'evidenza dei risultati ottenuti. Con questo metodo si potrebbe addirittura essere in grado di poter modificare in itinere tali azioni verificandone dal vivo e in tempi rapidissimi quando si sta producendo sul territorio.



Sono tematiche attualissime di cui si sta discutendo a livello globale e da cui si stanno cercando azioni da attuare in contemporanea al fine di poter veramente realizzare gli obiettivi imposti. In un mondo ideale sarebbe tutto di facile adozione, ma nella nostra situazione, anche a scale ridotte e ben localizzate, non si hanno riscontri tangibili nel breve periodo. Tali azioni da attivare, oltre che essere sostenibili ambientalmente ed energeticamente, devono avere la componente di copertura economica finanziabile al fine di poter far partire la proposta progettuale. Chiudere il cerchio in queste situazioni si sta verificando come azione ardua che non dà l'avvio delle procedure per attivare queste dinamiche.

Unica soluzione è poter avere riferimenti attuativi di facile comprensione e consultazione con debite valutazioni a monte in grado di andare a valorizzare le risorse presenti sul territorio e fare in modo che possano essere debitamente utilizzate per tali fini, anche se il tutto andrebbe a generare un profitto economico a chi ha effettuato l'operazione.

06.9 Proposte di adattamento urbano

Gli strumenti di osservazione della Terra sono di diretto utilizzo dei servizi di tipo territoriale presenti nella Pubblica Amministrazione. Quindi gli uffici che maggiormente utilizzano tali strumenti sono essenzialmente i servizi tecnici dei comuni, delle città metropolitane, delle provincie e delle regioni.

I piani regolatori sono sicuramente tra gli strumenti a base cartografica più utilizzati e gestiti con SIT. Infatti quasi tutti questi strumenti vengono redatti con l'ausilio di supporti informatici georeferenziati e di dati a base geografica come possono essere i GIS.

Quindi l'adattamento urbano derivante da valutazioni fatte con l'uso di sistemi informativi territoriali è ormai di ordinaria amministrazione nei servizi tecnici delle P.A..

Sulla nostra scala del caso studio, da quanto emerso dal processamento dei dati rilevati e usando il modello tridimensionale generato, le proposte di adattamento urbano sul Comune di Livorno Ferraris, potrebbero riferirsi non solo a nuove soluzioni urbanistiche ma anche a nuove dinamiche di sicurezza pubblica in materia di protezione civile, come affrontato in precedenza.

L'importanza che assume questa tipologia di rilevamento terrestre ha risvolti sulla sicurezza e sull'ordine pubblico, migliorando le politiche di governo del territorio e di gestione e prevenzione di eventi calamitosi. Il tutto deve comunque andare a svilupparsi in modo costante e prolungato nel tempo al fine di rendere questi strumenti così generati molto dinamici e soprattutto di facile lettura e gestione, visto che devono essere assolutamente alla portata di tutti e consultabili da tutti. Proprio la partecipazione, non solo degli addetti ai lavori e dei professionisti, ma anche di tutta la popolazione deve essere ben pubblicizzata e favorita al fine di rendere questi strumenti il più possibile di pubblico utilizzo e conoscenza.

L'informazione sull'esistenza di un piano di protezione civile a livello comunale deve essere la normalità, e soprattutto sapere quali sono le tematiche principali contenute e da attivare da parte di tutti in caso di emergenza al fine di poter ridurre i rischi che accadano eventi pochi piacevoli.

Il Piano Regolatore Generale Comunale è ormai da anni che viene sviluppato e gestito con sistemi informativi geografici e territoriali, e di conseguenza è ormai da anni che il cittadino può consultarlo on-line sia dal relativo portale dedicato che dal sito istituzionale di Livorno Ferraris. È un servizio che, se ben pubblicizzato e partecipato, può andare a limitare quello che era un tempo l'attività di sportello dei funzionari comunali, infatti senza nessun login

chiunque può accedere dal proprio pc, dal proprio smartphone o dal proprio tablet allo sportello unico per l'edilizia e consultare ad esempio le planimetrie catastali oppure vedere lo stato delle proprie richieste trasmesse all'ufficio tecnico per il rilascio di un provvedimento autorizzativo o quant'altro si possa andare a richiedere, come certificati urbanistici o di idoneità alloggiativa.

C'è ancora molta strada da fare, ma sono opportunità che la Pubblica Amministrazione deve assolutamente andare a valorizzare e rendere come obiettivi primari ai propri servizi al fine di migliorare i rapporti coi propri cittadini e coi propri utenti.

06.10 Piani resilienti di governo del territorio

Tutte le politiche di governo del territorio devono avere piani e programmi in grado di adattarsi a quelle che sono le dinamiche di cambiamento delle condizioni di partenza presenti sul territorio interessato. Quindi i monitoraggi degli sviluppi e dei risultati che tali piani stanno ottenendo devono essere di immediato percepimento e all'istante riproposti sui sistemi informativi territoriali in uso. Tali riscontri nel breve periodo sono importantissimi proprio per una corretta evoluzione di quanto messo in atto e di quanto ci si sia proposto come obiettivo da raggiungere.



Attualmente gran parte dei nostri territori sono soggetti ad importanti e massicce dinamiche di cambiamento e mutazione dei luoghi che stanno compromettendo non solo gli assetti consolidati delle zone urbanizzate, ma anche il punto di vista sociale e politico delle popolazioni interessate.

Problematiche socio-economiche, la presenza di diverse etnie nelle nostre comunità, l'età media della popolazione soprattutto nei piccoli centri urbani, la dispersione urbana, i cambiamenti degli equilibri ambientali ed ecologici pongono sempre più le politiche di governo del territorio davanti alla necessaria valutazione di urgenti nuove norme attuative per poter attivare nuove azioni valorizzative della stessa disciplina urbanistico-ambientale. In questo momento di notevole cambiamento e di rilevante incertezza attuativa, la definizione di adattamento e di resilienza è nel bel mezzo di una serie di tematiche su cui si sta discutendo a livello globale in modo da poter arrivare ad una conclusione comune per poter gestire strategie e adottare azioni tali da garantire efficaci risultati sulla gestione attiva di emergenze ambientali, di dissesti sociali e di criticità economico-finanziarie.



Quindi siamo nel bel mezzo di una sfida per poter migliorare quelle attività con struttura territoriale che subiscono costantemente quelle che sono le mutazioni ed i cambiamenti del territorio e del paesaggio, aprendo così alla valutazione di nuovi criteri di adattamento e di resilienza da andare ad applicare nelle politiche di governo e di progetto della città e del territorio.

Siamo alle soglie di una nuova generazione di piani e programmi in grado di potersi adattare a quanto accade durante il proprio sviluppo, senza doversi limitare o ripartire ma avere caratteristiche tali da potersi definire resilienti, sia sotto il profilo prettamente urbano che sotto gli aspetti più a carattere sociale e con risvolti economici.

Capitolo 7 --- La questione ambientale: resilienza ed efficientamento energetico

07.1 Valutazioni ambientali e contesti di interazione

Tutti i piani e i progetti che vengono sviluppati e di seguito proposti per la loro attuazione, devono essere assoggettati a valutazioni di carattere ambientale di tipo strategico o di impatto. Anche a questo livello diventa estremamente determinante la scelta degli strumenti informatici ed informativi da utilizzare, soprattutto in considerazione delle prescrizioni normative in vigore.



Gli effetti sulle componenti ambientali e paesaggistiche di queste dinamiche attuative possono avere riscontri determinanti, sia positivamente che negativamente, proprio in merito ed in considerazione di quanto preliminarmente affrontato sotto il punto di vista valutativo della proposta progettuale avanzata.

La fase di valutazione ambientale con procedure di VAS, valutazione ambientale strategica, o di VIA, valutazione di impatto ambientale, deve essere assolutamente ad un grado di sviluppo e di approfondimento tale da poter evidenziare in ogni suo carattere, i prodotti che si intendono ottenere e gli obiettivi che si prefiggono di raggiungere senza andare a determinare criticità rilevanti all'ambiente interessato da tale piano o progetto e soprattutto cogliere puntualmente quelli che potrebbero essere i connotati migliorativi delle condizioni di vita delle persone esposte.

Tutt'oggi tale procedura viene assoggettata ad una prima verifica preliminare dal cui esito dipenderà il successivo sviluppo della valutazione o addirittura l'esclusione dalla medesima. Con questa modalità attuativa, gran parte delle proposte vanno ad esclusione della procedura di valutazione ambientale poiché il grado di approfondimento è a carattere decisamente troppo sintetico in questa fase.

Ogni proposta dovrebbe essere sviluppata come se dovesse essere assoggettata alla procedura di valutazione, in modo tale da evidenziare completamente quelli che potrebbero essere effettivamente gli impatti sull'ambiente di quanto proposto.

L'interazione valutativa dovrebbe in ogni caso tener conto di tutti gli stakeholders, senza dimenticarsi del privato cittadino che inconsapevolmente potrebbe subire gli effetti di tali proposte. Quindi la partecipazione estesa a tutti dovrebbe essere pubblicizzata e gestita in maniera tale che ogni singola persona, ditta o attività possa essere partecipe ed informata dei cambiamenti che potrebbero attivarsi nel contesto urbano in cui vive o opera.

La scala in cui agiamo deve essere limitata a quelli che sono i reali bersagli interessati, quindi una scala di medie dimensioni sovracomunale è senza altro in grado di poter dare

riscontri attendibili su questo tipo di procedure, coinvolgendo naturalmente quelli che sono gli enti e le autorità competenti nelle materie interessate.

Pure in queste situazioni lo sviluppo di un Urban Digital Twin potrebbe sicuramente dare un grosso aiuto alle valutazioni ancor più se tali proposte progettuali sono all'interno di un centro abitato, non solo per gli inserimenti architettonici nei vari contesti edificati, ma anche per valutazioni sulla mobilità, sull'accessibilità e su tutte quelle tematiche che potrebbero essere coinvolte dagli effetti di tali proposte progettuali.

Un'incidenza rilevante, come già detto in precedenza, è senza ombra di dubbio dettata dal sempre più repentino cambiamento climatico, situazione che sta interessando e coinvolgendo tutto il nostro pianeta.

07.2 Cambiamento climatico

L'evolversi del cambiamento climatico nel nostro paese, viene tenuto rigidamente sotto controllo da una serie di indicatori di impatto, ovvero strumenti di osservazione e comprensione di fenomeni ambientali sviluppati nel medio termine, contenuti all'interno di un sistema interattivo costituito da una serie di informazioni aggiornate costantemente, da cui annualmente il Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale - SNPA redige un rapporto sull'ambiente urbano di valutazione integrata della qualità delle zone urbanizzate definite in transizione. In questo rapporto, le tematiche collegate alla sostenibilità delle azioni di governo del territorio, hanno sostanzialmente tre chiavi di lettura, ovvero la vivibilità, intesa sui caratteri che determinano la qualità della vita, la circolarità intesa proprio sotto l'aspetto economico quindi nel riuso e recupero delle risorse, ed in ultimo la resilienza ai cambiamenti climatici, che analizza le scelte prese dalla Pubblica

Amministrazione per ridurre i rischi e prevenire le criticità dovute al clima (R. Gallia, marzo 2022).

Una grossa considerazione da fare è direttamente collegata agli effetti che il cambiamento climatico apporta sostanzialmente alle condizioni del terreno e non il caso opposto. Proprio partendo da questa considerazione, si possono evidenziare come certi aspetti territoriali di prevenzione degli effetti negativi dei fenomeni legati al cambiamento climatico repentino, possono essere ottenuti attraverso iniziative di mitigazione, come ad esempio una ben gestita progettazione degli spazi urbani aperti ed attrezzati, nonché degli edifici stessi, può limitare un eccessivo surriscaldamento di certe aree andando a ridurre quello che in gergo si definisce isola di calore.



È notevole il proliferare di questo fenomeno all'interno delle città, effetto devastante anche sotto il profilo della qualità della vita, infatti la percezione del caldo in queste situazioni diventa per le persone insostenibile, causando anche malesseri e complicanze sulla salute.

Come già detto in precedenza un costante impiego degli strumenti di osservazione della Terra potrebbe andare ad individuare queste zone più soggette al verificarsi di tali fenomeni di contenimento eccessivo del calore, ponendo così all'attenzione della Pubblica Amministrazione la necessità di intervenire nel breve periodo per attenuare gli effetti, e per definire strategie di governo del territorio che possano prevenire e risolvere, urbanisticamente prima e sotto il profilo edilizio immediatamente dopo, lo svilupparsi e l'intensificarsi delle isole di calore.

Regolamenti redatti in modo puntuale al fine di poter definire interventi sugli spazi aperti urbani tali da favorire l'assorbimento e la riduzione di calore e della formazione di umidità, renderebbero le aree più sensibili resilienti a tale concentrazione. Aree verdi studiate con le giuste piantumazioni di essenze in grado di creare il giusto equilibrio tra gli spazi antropizzati, edificati, e gli spazi a verde, a servizio della qualità dell'aria, nonché prescrizioni negli strumenti urbanistici generali ed esecutivi sull'utilizzo di determinati materiali sostenibili per la realizzazione o la rifunzionalizzazione di fabbricati e il contestuale efficientamento energetico dei medesimi. Indubbiamente sono norme e regole che possono effettivamente andare ad aumentare i costi e gli impegni finanziari di recupero di queste zone, ma non dobbiamo fermarci qua, infatti tali soluzioni costruttive danno un forte impatto di risparmio energetico ed economico in fase di conduzione e gestione delle zone così recuperate e realizzate.

Anche in questo caso il monitoraggio dei risultati raggiunti deve essere mantenuto non solo durante lo sviluppo della proposta progettuale, ma anche e soprattutto nella fase post intervento, al fine di evidenziare ed eventualmente rettificare quegli effetti che possono diventare meno efficienti nel corso della vita.

07.3 Le scelte energetico-ambientali

Proprio in questo periodo sono tematiche importantissime quelle legate alle politiche energetico ambientali, per raggiungere gli obiettivi di miglioramento delle condizioni climatiche mondiali che globalmente ci siamo prefissati, ancor più necessarie dalle problematiche dei risultati non del tutto soddisfacenti raggiunti sino ad oggi, il tutto portato all'exasperazione dallo scoppio del conflitto russo-ucraino.

Il concetto della produzione energetica da fonti rinnovabili è sicuramente il tema più dibattuto e analizzato negli ultimi anni. Incentivi e varie forme di finanziamento hanno sicuramente stimolato questo tipo di mercato, facendo progettare diversi impianti dedicati e sfruttanti le risorse più presenti nelle località oggetto della realizzazione vera e propria. Pertanto si stanno sfruttando le risorse dell'irraggiamento solare mediante tecnologie fotovoltaiche, la forza dei venti tramite pale ed impianti eolici, e le biomasse di natura agricola tramite impianti di combustione e di gassificazione.

Non siamo ancora in grado in Italia di poterci ritenere soddisfatti di quanto in essere, anche se si è raggiunta la quota di un terzo di produzione da fonti rinnovabili del fabbisogno energetico nazionale, poiché gli impianti in funzione non vanno a soddisfare grosse percentuali della richiesta energetica dei territori in cui sono ubicati, ma si limitano a piccole aree e a scopi prettamente di lucro.

Non si è in grado, o abbastanza lungimiranti, per poter definire tale impegno sostenibile a livello economico poiché non si valuta purtroppo l'effettivo potenziale di tale innovamento. Tutti ci limitiamo a considerare la produzione di energia elettrica sul consumo ordinario delle nostre case, senza poter immaginare di rendere full-eletric le nostre abitazioni alimentando anche i nostri sistemi di riscaldamento con l'energia elettrica.

Chiaramente le pompe di calore e gli impianti collegati di produzione di acqua calda necessitano di volumi tecnici più o meno di grandi dimensioni in base alle utenze da dover andare a soddisfare, situazione questa che diventa di difficile superamento e risoluzione quando si vanno a ristrutturare o a riqualificare fabbricati già esistenti, fattore proprio dovuto all'età della stessa costruzione e delle distribuzioni dei locali presenti.



La Pubblica Amministrazione è in grado di poter gestire queste opportunità mediante il proprio piano regolatore o piano di governo del territorio che dir si voglia, non solo con l'adozione di prescrizioni normative ben individuate, ma anche tramite regolamenti puntuali sull'uso ed utilizzo di queste tecnologie di efficientamento energetico, stimolando il cittadino, come già indicato dal PRGC di Livorno Ferraris, con modalità premianti se raggiunti determinati obiettivi, premialità non solo di carattere pecuniario, quali formule agevolanti relativamente alla determinazione dei contributi di costruzione dovuti, ma anche premialità volumetriche in deroga agli indici previsti, con concessioni una tantum per la realizzazione di qualche metro cubo in più.

Un regolamento mirato e studiato per tali scopi è sicuramente quello dell'Allegato Energetico al Regolamento Edilizio Comunale, che va ad indicare le modalità costruttive da dover adottare ed ottemperare per il raggiungimento di classi energetiche più performanti di quanto le normative nazionali e regionali già prevedono. Tale risultato viene premiato con la possibilità di agevolazioni economiche o volumetriche a seconda delle volontà e delle situazioni che ogni territorio vive e necessita per il miglioramento della qualità della vita dei propri cittadini.



07.4 Le risultanze dalle valutazioni dei dati rilevati

Dalle risultanze dei dati rilevati e processati, si possono più o meno evidenziare quelle che sono le casistiche in cui una Pubblica Amministrazione può andare a valutare se intervenire o meno per la loro risoluzione o attenuazione degli effetti riscontrati.

Come più volte ricordato, questi software di gestione delle informazioni geografiche e territoriali possono, se ben e costantemente aggiornati, gestire sistemi informativi ad alta risoluzione ed efficienza, in grado di poter monitorare gli sviluppi e i regressi che certe azioni definite ed avviate stanno generando sul territorio. Sono ormai strumenti di cui un

comune non può e non deve fare a meno, qualunque sia la sua estensione, qualunque sia il suo numero di abitanti e qualunque sia il suo bilancio.

Tali modalità tecnologiche sono la base per poter andare a migliorare il nostro tenore di vita e la qualità dell'aria che respiriamo, sia dal punto di vista di pianificazione, che di gestione vera e propria del territorio.



Quindi nuove realtà di città smart con riduzioni importanti delle emissioni in atmosfera, sono decisamente il futuro che dobbiamo immaginarci nel periodo più breve possibile, ovvero avere città definibili come climate-neutral. Tale obiettivo rientra tra quelli previsti dalle missioni dell'Unione Europea relative al programma di ricerca e innovazione denominato Orizzonte Europa per gli anni 2021-2027.

Le città svolgono da sempre un ruolo principale nell'attivazione di politiche e strategie per l'ottenimento della cosiddetta neutralità climatica entro l'anno 2050, obiettivo del Green

Deal europeo. Da dati statistici, nell'Unione Europea, le concentrazioni urbane vanno a coprire una piccola percentuale della sua superficie, ma ospitano più dei tre quarti dell'intera popolazione dell'unione stessa. Inoltre, le città consumano oltre il 65 % dell'energia mondiale e rappresentano oltre il 70% delle emissioni globali di CO₂.

Poiché la mitigazione del clima è fortemente dipendente dall'azione urbana, dobbiamo sostenere le città nell'accelerare la loro trasformazione verde e digitale. In particolare, le città europee possono contribuire in modo sostanziale all'obiettivo del Green Deal di ridurre le emissioni del 55 % entro il 2030 e, in termini più pratici, di offrire aria più pulita, trasporti più sicuri e minore congestione e rumore ai loro cittadini (da <https://research-and-innovation.ec.europa.eu>, novembre 2022).

Obiettivo di questa missione sarà quello di individuare e di realizzare ben cento città intelligenti e climaticamente neutre entro il 2030 nell'Unione Europea. In Italia le città scelte sono nove, tra cui spicca Torino. Le azioni e le iniziative che dovranno essere adottate andranno a coinvolgere non solo le autorità locali ma tutti i cittadini, le imprese, gli investitori e le autorità regionali e nazionali.

Si dovrà nel contempo poter garantire che queste città fungano da poli di sperimentazione e innovazione per consentire a tutte le altre città europee di seguire l'esempio entro il 2050. Come previsto nel suo piano di attuazione, la missione Città adotta un approccio intersettoriale e orientato alla domanda, creando sinergie tra le iniziative esistenti e basando le sue attività sulle reali esigenze delle medesime. Chiaramente tra le azioni da definire c'è quella di diminuzione delle emissioni entro il 2030.

Proprio per il raggiungimento di questi obiettivi, si rende assolutamente necessaria la possibilità di andare ad utilizzare le migliori tecnologie di osservazione della Terra al fine

di poter gestire tali goals e monitorare lo sviluppo delle reazioni generate dalle azioni intraprese. Il tutto su scala metropolitana di Torino, ma meglio se eventualmente ridotta alle varie circoscrizioni e municipalità che la compongono, al fine di ridurre l'unità di controllo e monitoraggio evidenziandone gli alti gradi di risoluzione.



Tema fondamentale è pertanto quello della decarbonizzazione dei centri abitati. In questi ultimi giorni, proprio in riferimento a questa tematica, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha pubblicato un rapporto sul quale il ministro Giovannini si è così espresso:

“Le città hanno un ruolo cruciale nel processo di decarbonizzazione e questo Rapporto rappresenta un contributo importante per le amministrazioni chiamate a definire politiche e soluzioni concrete a livello urbano. Le nove città italiane selezionate dalla Commissione europea per essere decarbonizzate al 2030 rappresentano dei veri e propri laboratori per individuare soluzioni innovative. Per questo, il Ministero sostiene il loro sforzo e il Rapporto “Le città a impatto climatico zero: strategie e politiche” pubblicato oggi costituisce un importante contributo per politiche di mobilità sostenibile e rigenerazione urbana, in linea con il principio di tutela dell’ambiente, inserito quest’anno nella nostra Costituzione”.

A partire da un’analisi della situazione attuale, il Rapporto fornisce alle amministrazioni locali un quadro delle scelte di policy finalizzate alla decarbonizzazione, individuando i settori su cui intervenire per raggiungere gli obiettivi climatici europei di riduzione al 2030 del 55% delle emissioni e di azzeramento delle stesse nel 2050 (2030 per le nove città selezionate), rendendo al contempo le città più resilienti ai cambiamenti climatici. In particolare, il Rapporto illustra le possibilità tecnologiche e le migliori pratiche internazionali per rendere sostenibili la mobilità urbana e gli edifici (inclusa la produzione di energia rinnovabile nelle città), puntando sulle infrastrutture verdi e le acque urbane, dato il ruolo che rivestono per la mitigazione, l’adattamento e la prevenzione dei rischi, la salute e il benessere dei cittadini. Inoltre, vengono valutate le strategie orientate a generare un cambiamento nelle scelte di famiglie e operatori economici, e le tecnologie digitali da mettere al servizio della decarbonizzazione e dell’adattamento al cambiamento climatico. Infine, il Rapporto analizza gli strumenti finanziari per supportare gli investimenti proposti

e le modalità di misurazione e monitoraggio dell'applicazione e dei risultati delle scelte politiche, in modo da garantire efficacia e trasparenza delle decisioni prese (da www.mit.gov.it/comunicazione/news/rapporto-stemi-presentato-ministro-giovannini-decarbonizzazione-trasporti/, ottobre 2022).

07.5 Le proposte di adattamento sul territorio

Cosa emergerebbe quindi da tutte queste politiche e da tutti questi indirizzi di decarbonizzazione delle città?

Il recente Rapporto relativo ai temi di cui al precedente paragrafo, ovvero “Le città a impatto climatico zero: strategie e politiche” (pubblicato e consultabile sul sito del MIT, ottobre 2022), elaborato dal gruppo di esperti del Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili nell'ambito della Struttura per la transizione ecologica della mobilità e delle infrastrutture, la STEMI, affronta al capitolo terzo il tema dell'efficientamento energetico degli edifici finalizzato alla decarbonizzazione del settore edilizio, responsabile di oltre il 40% del consumo di energia in Europa, nonché di oltre il 35% delle emissioni di gas serra.

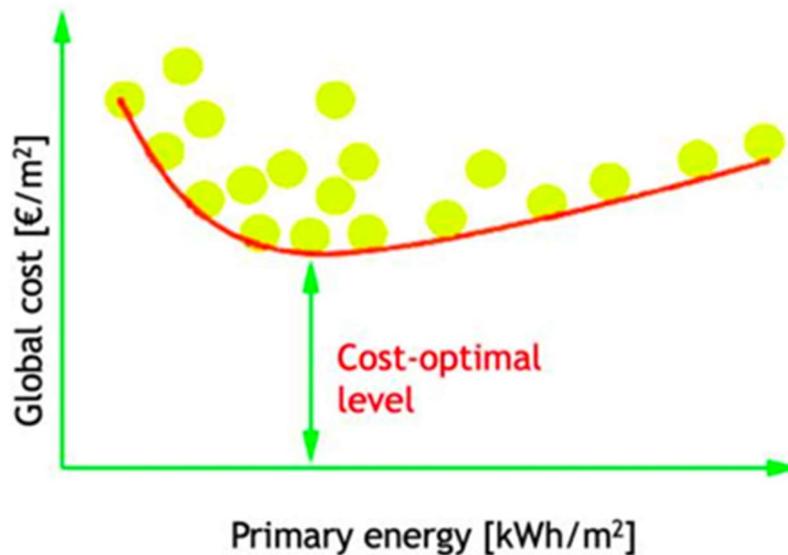
Ribadendo quanto indicato nelle diverse Direttive Europee sull'efficientamento energetico degli edifici, il Rapporto evidenzia come le azioni da attuare siano sequenzialmente quelle relative alla riduzione della domanda di energia termica e frigorifera attraverso corrette soluzioni d'involucro e di ventilazione degli ambienti, quelle atte ad orientare all'incremento dell'efficienza dei sistemi impiantistico-energetici a servizio dell'edificio, ed in ultimo quelle per coprire, per intero o in larga parte, la rimanente richiesta di energia attraverso l'uso di fonti energetiche rinnovabili.

Questa sequenza trova una sua piena coerenza con il flusso di calcolo a base normativa, utilizzato in primis dai progettisti, relativo alla valutazione della prestazione energetica di

un edificio. Proprio come ben illustrato nel Rapporto, esso parte dalla determinazione del fabbisogno ambientale di energia per riscaldamento e raffrescamento, passa attraverso le efficienze impiantistiche, alla valutazione del consumo energetico dei combustibili e degli altri vettori energetici, per poi determinare la quota di energia coperta da fonti energetiche rinnovabili (capitolo terzo Efficientamento energetico degli edifici e soluzioni innovative di decarbonizzazione - Rapporto STEMI, ottobre 2022).

Il Rapporto ribadisce pertanto come il concetto di edificio ad alta prestazione energetica, fino ad arrivare a quello di nearly zero energy building - NZEB, e zero energy o oggi emission building, si basi su un processo progettuale finalizzato all'ottimizzazione, dove la scelta tra le diverse possibili soluzioni tecnologiche deve essere sostenuta da ragioni di sostenibilità non solo energetico-ambientali ma anche di natura economico-finanziarie (capitolo terzo Efficientamento energetico degli edifici e soluzioni innovative di decarbonizzazione - Rapporto STEMI, ottobre 2022).

La soluzione di efficientamento ottimale per l'investitore corrisponde, quindi, al punto più in basso della curva cost-optimal e rappresenta una combinazione di tecnologie di involucro, impianti e fonti rinnovabili che lavorino sinergicamente per migliorare la prestazione dell'edificio sia in termini tecnici che di sostenibilità economica, fissando il quasi - nearly della definizione di NZEB, al livello di prestazione energetica che è ottimale dal punto di vista dei costi. Si richiama così la necessità del giusto equilibrio tra livello di prestazione energetica dell'edificio e il livello ottimale di costo, spingendo ad un utilizzo sempre più diffuso della metodologia di valutazione cost-optimal nelle valutazioni tecnico-economiche a partire fin dalle fasi di concept progettuale. La rappresentazione grafica di questa espressione è ben schematizzata nella figura sottostante.



Il concetto di ottimalità di costo è proprio definito come il livello di prestazione energetica che porta al costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato, è quindi un criterio chiave nell'individuazione del pacchetto di interventi di efficientamento da mettere in atto.

Il Rapporto chiude ricordando che l'innovazione richiesta sarà principalmente da indirizzare verso un adattamento ed evoluzione delle condizioni al contorno, quali l'aggiornamento delle conoscenze e competenze dei professionisti, l'adeguamento degli strumenti di calcolo e valutazione a supporto alla progettazione, l'accesso alle informazioni relative alle nuove tecnologie, l'aumento della consapevolezza da parte degli utenti finali, e via discorrendo.

Sulla scala del nostro caso studio, il Comune di Livorno Ferraris con la prima modifica generale del proprio Regolamento Edilizio, andava nel 2018 ad inserire alcune prescrizioni e sensibilizzazione di carattere sostenibile ed ambientale nelle costruzioni da effettuarsi sul proprio territorio.

I caratteri e le tematiche che oggi risultano pertanto da dover assolutamente tenere in considerazione per una giusta gestione del territorio sono afferenti ai seguenti argomenti.

07.7.1 Aree permeabili

Le aree permeabili, su territori con caratteristiche geomorfologiche come quelle del Comune di Livorno Ferraris, hanno una rilevanza tale da dover essere assolutamente salvaguardate. La presenza di tali condizioni va a favorire gli elementi culturali autoctoni del territorio e li rende effettivamente complementari con le zone antropizzate senza creare discrepanze esagerate tra le stesse aree.

07.7.2 Rifiuti: aree di prima raccolta e isole ecologiche

Il tema dei rifiuti ha ormai un'importante rilevanza sulle politiche di governo del territorio, anche se questione gestita a livello provinciale, ha proprio sui territori comunali i maggiori riscontri. Aree di prima raccolta, ovvero quei centri, ben individuati, definiti ed attrezzati, dove l'utente ha la possibilità di recarsi a smaltire i propri rifiuti, hanno la possibilità di rendere il servizio della raccolta ancora più efficiente e gestibile. Chiaramente questi centri saranno territorialmente di copertura intercomunale, anche se gestiti e realizzati dalla ditta appaltatrice del servizio. Le isole ecologiche hanno rilevanza di decoro urbano, infatti il loro intento è quello di poter mitigare la presenza dei cassonetti differenziati nei centri urbani, dando ordine e pulizia alle stesse aree sulle quali questi verranno sistemati.

07.7.3 Verde pubblico: corona, parchi e orti urbani

Anche le aree verdi sono un tema da affrontare con regole comuni al fine di uniformarne gli usi e le possibilità di caratterizzazione sostenibile all'interno del contesto, urbano o no, in cui si troveranno. Sicuramente il concetto di corona può

essere considerato per tracciare i confini e mitigare le zone a destinazione extra-residenziale da quelle a prevalente uso abitativo, dando nel contempo un giusto livello di protezione alle unità abitative ed ai propri parchi pertinenziali. Anche l'ubicazione delle zone da destinare orti urbani, deve assumere connotati di integrazione urbana del contesto territoriale in cui sorgeranno. La possibilità di dotazione di servizi e la contestuale facilità di accesso dovranno essere caratteristiche fondamentali per tale inquadramento sul territorio comunale. Attualmente sono dislocate in aderenza ad un'area produttiva adiacente ad una strada comunale.

07.7.4 Reti stradali e piste ciclabili

L'asse viario del Comune di Livorno Ferraris trova collocazioni e connotazioni di collegamento con le arterie extra-comunali presenti al di fuori dei propri centri abitati. Le piste ciclabili sono state recentemente riqualificate ed hanno assunto un'importanza strategica per poter collegare il capoluogo alle principali aree frazionali e alle zone commerciali più sviluppate presenti sul territorio.

07.7.5 Impianti di produzione energetica

Le politiche urbanistiche del Comune di Livorno Ferraris vanno a favorire le proposte progettuali di soluzioni alternative tramite l'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione energetica. Sul territorio comunale sono già presenti impianti e parti fotovoltaici che sfruttano l'irraggiamento solare per poter produrre energia elettrica. Proprio il vigente Regolamento Edilizio ha un articolo al dettaglio che indirizza la realizzazione di tali impianti per poter soddisfare il fabbisogno delle unità immobiliari esistenti e di nuova realizzazione. Concetto basato sulla sostenibilità ambientale e sull'efficientamento energetico.

07.7.6 Green e Circular Economy

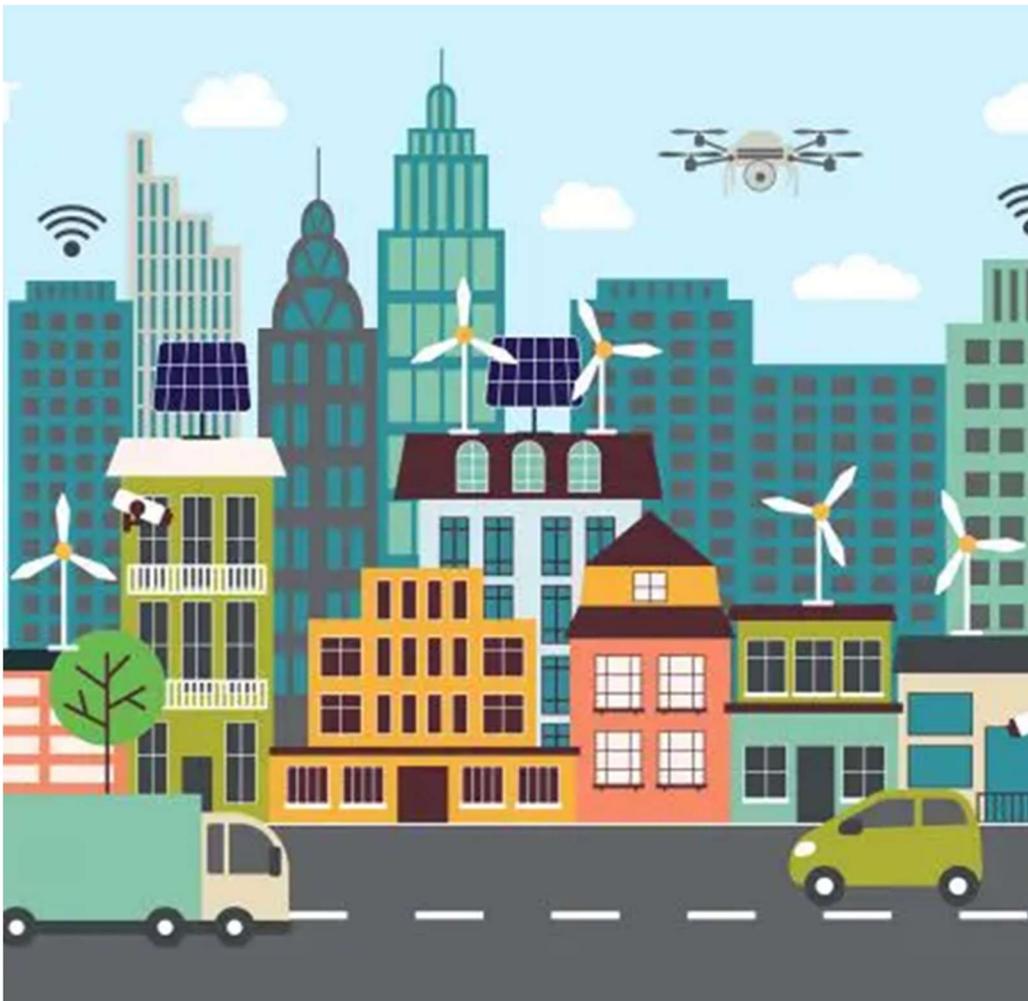
Le opportunità di andare a definire nuove economie basate sulla circolarità delle risorse, sino al loro esaurimento produttivo, sono negli ultimi anni fonte di stimolo per nuove possibilità di investimento. Il Comune di Livorno Ferraris ha già attivato campagne per verificare manifestazioni di interessi di ditte, essenzialmente a carattere green, disposte ad investire sul territorio con finalità di attivazione di una filiera di circular economy. La proposta pervenuta era improntata sul recupero dei rifiuti derivanti dagli sfalci del verde al fine di poter, tramite un impianto di biomasse, andare a produrre sia energia elettrica che energia termica. Anche questo tipo di proposte progettuali è affiancato da politiche di governo del territorio basate su criteri di elevato rispetto dell'ambiente e di conseguenza in grado di migliorare la qualità della vita delle persone.

07.7.7 Comunità Energetiche Rinnovabili - C.E.R.

Le comunità energetiche rinnovabili sono sicuramente, allo stato attuale, una vera e propria opportunità per porre un effettivo contrasto, ed averne riscontri decisamente tangibili, al consumo e iniziare politiche a lungo termine rivolte al risparmio energetico ed alla possibilità concreta di ridurre emissioni in atmosfera, il tutto applicando goals di tutela e salvaguardia della qualità dell'aria. In Piemonte sono già state create comunità energetiche, di varie dimensioni e potenzialità, e a oggi siamo in un momento normativo in cui si sta cercando di poter avviare soluzioni progettuali di grandi dimensioni, probabilmente di avvicinamento a quello che potrebbe definirsi scambio estate inverno, ovvero produzione e contestuale consumo in estate con accumulo energetico per il consumo in inverno, stagione meno performante per alcune tipologie tecnologiche di produzione energetica da fonti rinnovabili ed alternative.

07.6 Adozione di politiche ed azioni sovracomunali

Tutte le azioni che una città, di qualsiasi dimensione e di qualsiasi numero di abitanti, deve andare ad assumere al fine di poter prevedere di raggiungere un grado di decarbonizzazione tale da poter migliorare il livello di qualità della vita dei propri cittadini, devono assolutamente essere ben tracciate da linee unitarie e comuni.



Pertanto strategie e politiche di azione dovranno essere intraprese su vasta scala, magari a livello regionale, poiché necessarie di parimenti situazioni climatiche e geografiche. Dovrà essere tenuto assolutamente in considerazione il fattore del contributo del monitoraggio in itinere, poiché, proprio queste strategie devono essere dinamiche ed in grado di potersi

adeguare e plasmare secondo le necessità che la loro attuazione può trovare sul percorso di sviluppo, anche alla luce dei dati e dei risultati effettivamente ottenuti.

Sicuramente il processo che le nove città italiane individuate per l'ottenimento di questi obiettivi di città intelligenti e climaticamente neutre, sarà un esperimento che tutte le altre dovranno prendere ed adottare per poter sperare di raggiungere un grado di sostenibilità e di efficienza energetica tale da migliorare quelle che sono le condizioni che dettano la qualità della vita.

Saremo così chiamati a indirizzi sperimentati e sicuramente migliorabili, alla luce che Torino ha già le sue peculiarità e ne andrà sicuramente a generare di nuove, senza perdere di vista quelle tematiche a matrice ambientale che dovranno assolutamente trovare una collocazione fondamentale all'interno delle azioni che verranno avviate da qui a breve.



Parte III

Capitolo 8 --- Valutazione di efficientamento energetico di edificio pubblico

08.1 Modalità di rilievo a scansione laser di un fabbricato

Una puntuale applicazione del modello tridimensionale denominato Urban Digital Twin è quello di restituzione di un particolare su di un determinato fabbricato al fine, mediante l'ulteriore utilizzo di una termocamera, di poterne valutare progettualmente miglioramenti sotto il profilo di prestazioni energetiche e di efficientamento dello stesso edificio.

L'ispezione termografica in edilizia è un metodo potente e non distruttivo per monitorare e diagnosticare la condizione degli edifici (definizione da www.giakova.com, novembre 2022).

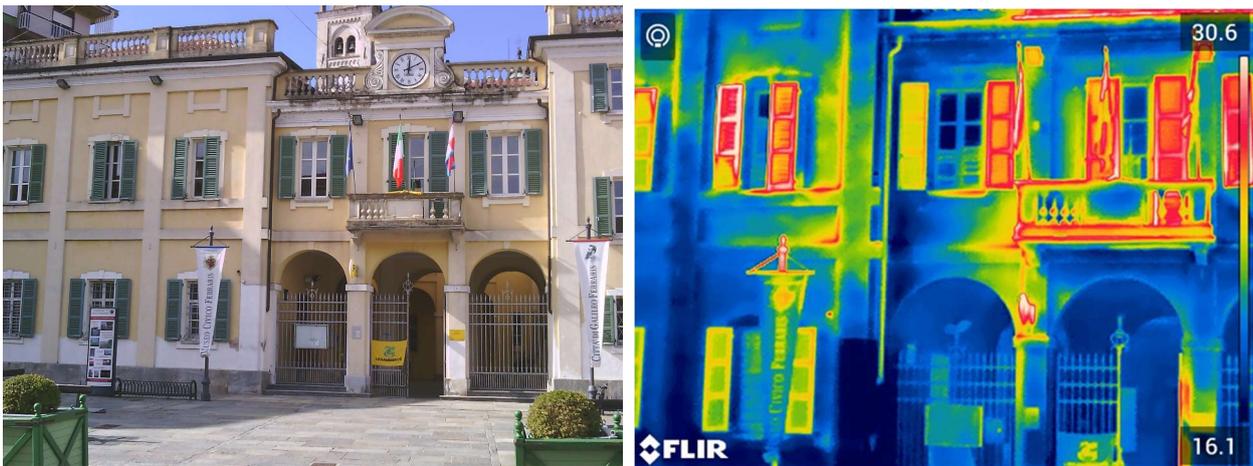


La restituzione grafica di un rilievo a scansione laser di un fabbricato effettuata congiuntamente ad una termocamera ha lo scopo di andare a verificare ed identificare quelle macro-caratteristiche energetiche tali da sviluppare una diagnosi termica preliminare delle strutture. Tali indagini hanno diverse modalità applicative a seconda degli obiettivi che si intendono perseguire. Tali tecniche vengono difatti utilizzate anche per ricerche storico architettoniche al fine di meglio adottare tecniche di restauro conservativo dei beni architettonici.

Altro utilizzo è quello di individuazione dei difetti costruttivi per poter andare a risolvere tali problematiche comuni. Le indagini termografiche sono pertanto usate per individuare ad esempio i ponti termici, rilevare perdite di acqua da tubazioni, localizzare l'esatta posizione di tubazioni nei muri e nei pavimenti, individuare le infiltrazioni di aria e acqua, identificare la presenza di umidità per infiltrazione e/o risalita, e definire i difetti di isolamento.

È importante ricordare che tali rilevamenti con termocamere a scansione laser, di solito ad infrarossi, rappresentano i flussi di calore e quindi sono molto sensibili alla variazione di temperatura tra l'interno del fabbricato oggetto del rilievo e l'esterno. Pertanto è importante poter performare tale rilevamento considerando una variazione di temperatura tra interno ed esterno di circa una decina di gradi, ovvero tra le due facciate della medesima parete. Pertanto è evidente che la luce solare diretta può andare ad influenzare le letture termiche, ma l'illuminazione solare può anche avere altri effetti più a lungo termine, proprio ad incidenza sulle temperature e sui loro rilevamenti. Anche differenze di conduttività termica possono causare differenze di conformazione termica, difatti i mattoni cambiano temperatura molto più lentamente del legno. Anche il vento può influenzare i dati termici. I flussi di aria raffreddano le superfici dei materiali, riducendo le differenze di

temperatura tra aree calde e fredde. La sensibilità di questi strumenti è sicuramente un fattore che determina l'alto grado di risoluzione di queste operazioni, proprio per le analisi indirizzate a possibili interventi di efficientamento energetico delle strutture, evidenziandone punti di forza e debolezze, in considerazione anche dei flussi d'aria e dei cambiamenti di temperature sia esterni che interni agli edifici in esame.



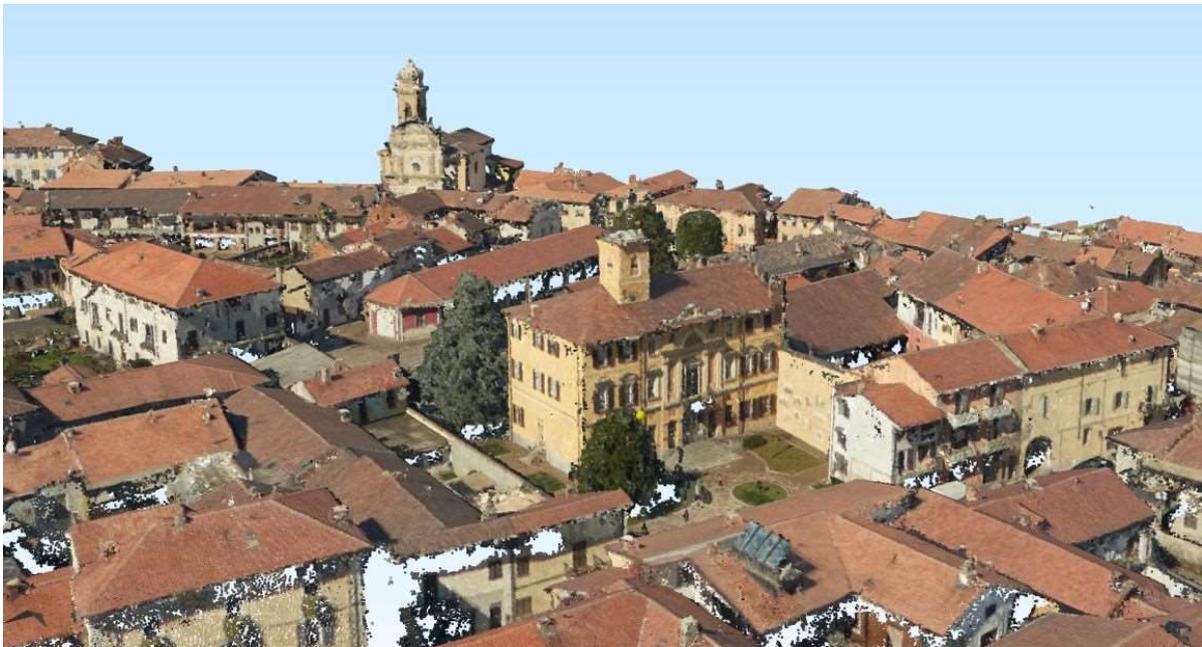
Dalle due immagini sopra inserite abbiamo evidenza di quello che è stato il rilievo termografico messo a confronto con la foto della facciata del fabbricato in analisi. La diversità delle coloriture, da una partenza fredda, caratterizzata da tonalità blu azzurrine, passa a scaldarsi tramite evidenze gialli verdognole sino ad arrivare ad un rosso intenso. Che significa questo passaggio così colorato? Le zone la cui superficie ha temperatura più bassa sono quelle in cui l'irraggiamento solare non ha effetti, mentre quelle con tonalità più accese assorbono il calore tratteneendolo.

Da queste constatazioni si possono analizzare e definire quali interventi su queste superfici opache possono avere rendimenti energetici tali da poter efficientare il medesimo fabbricato.

08.2 Creazione di un modello 3d di un fabbricato

Una volta ottenuto il modello tridimensionale descritto nei capitoli precedenti, il modello di un fabbricato non rappresenta nient'altro che un particolare ingrandito di una singola costruzione, quella oggetto delle valutazioni energetica di efficientamento, alle quali sarà congiunta il passaggio con la termocamera ad infrarossi per l'identificazione dei difetti delle facciate.

In questo capitolo andremo ad approfondire l'indagine termografica dell'immobile sede del palazzo municipale del Comune di Livorno Ferraris.



Da questo modello possiamo inoltre andare ad individuare le esposizioni ai raggi solari delle facciate del fabbricato durante l'intera giornata considerandone anche le stagioni dell'anno, in cui nei periodi primaverili ed estivi le temperature esterne saranno calde con un minore sbalzo termico tra le facce interne ed esterne delle pareti perimetrali, mentre

nelle stagioni notoriamente più fredde, la temperatura esterna sarà decisamente più bassa di quella interna andando così ad evidenziare uno sbalzo termico maggiore.

Dalle varie angolazioni si cui possiamo ruotare il modello 3d del fabbricato, possiamo andare ad individuare e quindi inserire nelle nostre analisi energetiche, le incidenze delle ombre create da ostacoli insistenti nelle vicinanze del nostro immobile, ovvero altri edifici, alberi e via discorrendo. Tali condizioni possono incidere sulla scelta progettuale di cosa applicare per migliorare la conduzione termica di una facciata.



Esame approfondito deve essere effettuato anche sulla copertura, individuandone per prima cosa l'esatto orientamento al fine di poterne carpire il giusto grado di irraggiamento solare anche in previsione, ad esempio, di valutazione di una installazione di un impianto di produzione di energia elettrica di tipo fotovoltaico. Nota degna di evidenza è quella relativa alla possibilità di identificare e generare carte tematiche proprio sulle condizioni di irraggiamento tramite l'utilizzo di software in concomitanza coi rilievi fotogrammetrici

processati con GIS. Anche in questo caso si devono considerare all'interno di un centro urbano le altezze dei fabbricati limitrofi o contigui che possono andare ad influire più o meno negativamente sulle condizioni di esposizione delle coperture.

08.3 Valutazioni energetiche d'efficientamento

La considerazione che gli edifici sono fonti di consumi e di potenziali emissioni in atmosfera di grosse quantità dei cosiddetti gas ad effetto serra, emissioni che vanno ad incidere in modo estremamente negativo sulla qualità dell'aria che poi noi essere viventi andiamo a respirare. Le più grandi fonti di risparmio di tali consumi sono proprio legate ad una migliore gestione degli impianti tecnologici in dotazione ai fabbricati, siano questi a destinazione d'uso residenziale che extra-residenziale. Quindi di fondamentale importanza sono quegli aspetti legati alla progettazione, alla gestione e conduzione, ed infine alla manutenzione dell'involucro delle costruzioni e degli impianti di riscaldamento e di raffreddamento, nel pieno rispetto della normativa di riferimento.

Nel caso che si vuole approfondire in questo capitolo, dobbiamo assolutamente tenere in considerazione il periodo di realizzazione del fabbricato per poterne immaginare e stimare le modalità costruttive impiegate all'epoca.

Il fabbricato in questione, denominato Palazzo Ciocca, ha epoca di realizzazione risalente addirittura ai primi decenni del 1300, con interventi di ristrutturazioni importanti a metà dell'ottocento e ad inizi anni novanta del secolo scorso, periodo in cui divenne di proprietà del Comune di Livorno Ferraris e fu adibito a sede del palazzo municipale.

Pertanto è da prendere in considerazione come costruzione realizzata ante guerra, con caratteristiche che a livello energetico non sono proprio delle migliori. Altro dato che pone ulteriori ragionamenti, è la salvaguardia che il D.Lgs. n. 42/2004 e s.m.i., avente ad

oggetto il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, che impone vincoli automatici operativi, dove la riqualificazione è possibile ma viene presa in considerazione in secondo piano, favorendo innanzitutto la condizione che venga tramandato quanto abbiamo conservato dal passato, con il mantenimento di quanto più possibile delle condizioni originarie, soprattutto in facciata. L'intervento edilizio che più si adatta in casi di questo genere, è il restauro e risanamento conservativo.



Da definizione di cui all'articolo 3 primo comma lettera c) del D.P.R. n. 380/2001 e s.m.i. avente ad oggetto Testo Unico delle Disposizioni Legislative e Regolamentari in Materia Edilizia, il restauro e risanamento conservativo corrisponde a tutti quegli interventi edilizi rivolti a conservare l'organismo edilizio e ad assicurarne la funzionalità mediante un insieme sistematico di opere che, nel rispetto degli elementi tipologici, formali e strutturali dell'organismo stesso, ne consentano anche il mutamento delle destinazioni d'uso purché

con tali elementi compatibili, nonché conformi a quelle previste dallo strumento urbanistico generale e dai relativi piani attuativi. Tali interventi comprendono il consolidamento, il ripristino e il rinnovo degli elementi costitutivi dell'edificio, l'inserimento degli elementi accessori e degli impianti richiesti dalle esigenze dell'uso, l'eliminazione degli elementi estranei all'organismo edilizio.



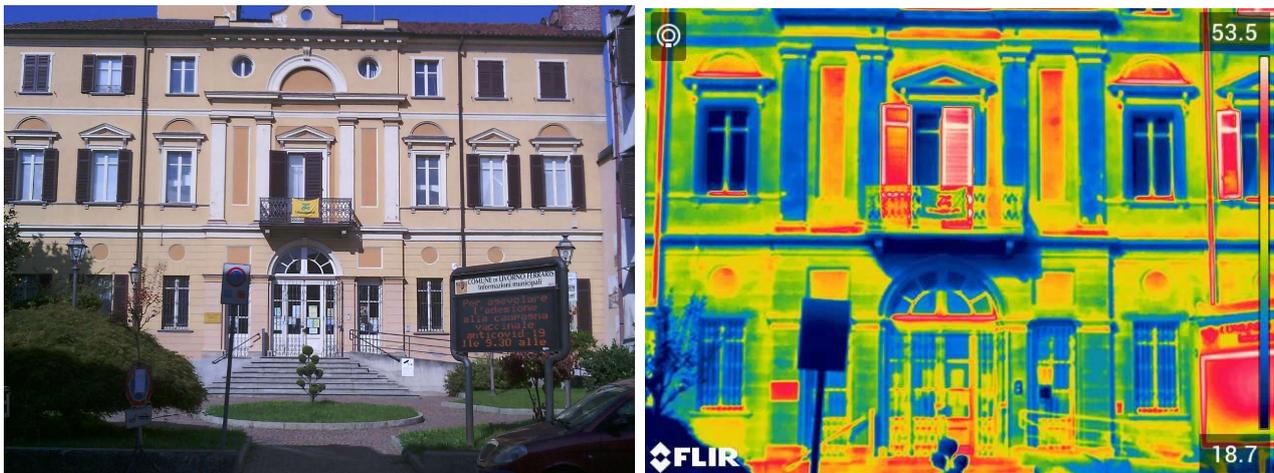
Pertanto potremmo ragionare sicuramente su interventi migliorativi che possano interessare sia l'involucro e le superfici opache, verticali e orizzontali, sia la copertura di Palazzo Ciocca, mantenendone, secondo quanto prescritto normativamente, le proprie caratteristiche tipiche originali di costruzione.

08.4 Considerazioni attuative dai dati scaricati

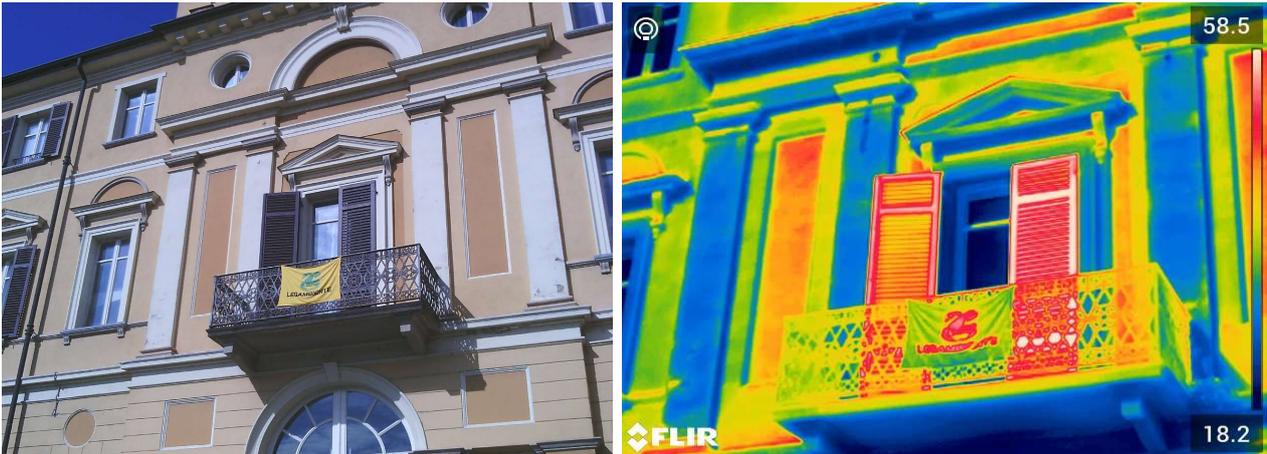
Si è quindi effettuato un rilievo con strumentazione a scansione laser del palazzo municipale di Livorno Ferraris, costruzione realizzate ante 1942.

Da tale rilievo si è potuto andare a constatare l'attuale situazione energetica del fabbricato, in considerazione che tale ricognizione in loco è stata effettuata ad ottobre 2021, quindi non proprio nella stagione più fredda dell'anno.

Si sono create nuvole di punti Lidar in grado di riproporre la situazione energetica che si sviluppa lungo la superficie esterna delle facciate dell'immobile. Qui di seguito vengono riportate alcune immagini dove si mettono a confronto lo stato di fatto visibile ad occhio nudo, una semplicissima immagine fotografica, e la riproduzione della scansione laser.







Dalla restituzione grafica di cui sopra, si può notare come quanto descritto in precedenza sulla difficile situazione energetica, che ha un fabbricato realizzato ante 1942, sia affermazione alquanto azzeccata anche per le condizioni trovate a Palazzo Ciocca.

Al fine di poter attuare azioni ed interventi che possano andare ad efficientare sotto il profilo energetico le superficie opache delle murature perimetrali, dobbiamo senz'altro attivare e redigere quella che viene definita tecnicamente l'analisi energetica dell'immobile al fine di poter determinare l'attuale classe energetica dello stesso che sarà il, nostro punto di partenza delle valutazioni progettuali.



La classificazione di palazzo Ciocca sarà quasi sicuramente definita con scarsissimo livello di efficienza, una classe individuabile tra la E, la F e la G.

In Piemonte il risultato minimo che la normativa prevede è quello del cosiddetto salto di almeno due classi, ovvero se il nostro fabbricato ha un attestato di prestazione energetica in classe G, il nostro intervento di riqualificazione deve per lo meno trasformarlo con prestazione in classe D.

Da una valutazione sintetica, le prime valutazioni derivanti dallo scaricamento di questi dati, possono andare a definire un quadro operativo per efficientare il fabbricato in oggetto come una serie di interventi congiunti rivolti all'ottenimento dei risultati di risparmio energetico, in termini prettamente economici, e di efficientamento, in termini prettamente tecnici. Quindi si dovranno realizzare opere di riqualificazione energetica soprattutto delle superfici opache di Palazzo Coccia, quindi facciate e copertura, la sostituzione dei serramenti esterni, l'adeguamento dell'impianto di riscaldamento e la realizzazione integrata in copertura di un impianto di produzione di energia elettrica costituito da una serie di moduli con tipologia fotovoltaica.

08.5 Proposte di miglioramento della qualità energetica

Con il termine di efficientamento energetico degli edifici, o riqualificazione energetica, si fa riferimento all'insieme di quegli interventi di natura edilizia ed impiantistica, che su un edificio esistente hanno l'obiettivo di andarne a migliorare la classe energetica dello stesso fabbricato.

Gli interventi per migliorare l'efficienza energetica di un edificio sono essenzialmente riconducibili a tre tipi di categorie, ovvero l'isolamento termico, dove tetto, muri perimetrali, serramenti e pavimenti vengono isolati attraverso opportune soluzioni

tecnologiche; l'adozione di nuovi sistemi di produzione di energia possibilmente tramite fonti alternative e rinnovabili, come ad esempio l'installazione di impianti fotovoltaici; e i miglioramenti all'impianto di riscaldamento, come per esempio la sostituzione della vecchia caldaia con una di nuova generazione o a pompa di calore.



Quali interventi siano da adottare ed attuare per poter andare a migliorare le condizioni energetiche di un fabbricato, sono da analizzare puntualmente caso per caso, infatti le condizioni che possono intervenire nelle valutazioni sono molteplici ed anche concause non dovute a caratteristiche dell'immobile oggetto delle analisi.

L'efficientamento energetico ed il risparmio energetico vengono a volte per errore sovrapposte. È quindi necessario andare a chiarire che il risparmio energetico consiste negli interventi volti a ridurre il consumo dell'energia necessaria all'esercizio di diverse attività, ma non necessariamente determina una migliore efficienza energetica, infatti l'obiettivo è soltanto quello di poter consumare meno. Pertanto gli interventi di risparmio

energetico servono a ridurre i livelli di consumo, eliminando sprechi e migliorando l'utilizzo delle fonti di approvvigionamento. In estrema sintesi, ottenere di più consumando meno risorse.

L'efficienza energetica, invece, non è altro che la capacità di un sistema di assicurarsi un risultato migliore utilizzando meno energia rispetto ad altri. L'obiettivo è quello di andare ad aumentare il rendimento permettendo un risparmio energetico e nel contempo ridurre i costi di gestione. Nello specifico l'efficientamento energetico rappresenta l'adozione di quelle tecnologie presenti sul mercato comportandosi in modo consapevole e responsabile nei confronti degli utilizzi dell'energia. Andare a migliorare l'efficienza energetica di un fabbricato assume il significato di sfruttare l'energia razionalmente, riducendo e eliminandone gli sprechi. Questo naturalmente garantendo il comfort delle persone che operano negli ambienti.



Pertanto, come si è appena fatto notare, efficientamento energetico e risparmio energetico possono andare ad assumere le stesse finalità, seguendo però percorsi diversi. L'obiettivo fondamentale dell'efficientamento non è difatti quello di andare a consumare meno energia, ma poterla impiegare meglio. Quindi la condizione di poter consumare meglio corrisponde essenzialmente a risparmiare energia, limitando i costi e nel rispetto dell'ambiente soprattutto per gli effetti di una notevole riduzione delle emissioni inquinanti in atmosfera di gas cosiddetti ad effetto serra, peggiorando la qualità dell'aria.

In generale, le principali opere di efficientamento energetico possono includere l'installazione di impianti di produzione acqua calda sanitaria da pannelli solari, l'installazione di pompe di calore, il montaggio di bruciatori a condensazione, interventi di coibentazione delle strutture orizzontali e verticali, la sostituzione dei serramenti esterni, la sostituzione delle lampadine a incandescenza con quelle a basso consumo tipo LED con contestuale adattamento degli impianti di illuminazione e dei corpi illuminanti, la sostituzione degli apparati riscaldanti come ad esempio i termosifoni con soluzioni a termocamini oppure, se possibile, con impianti di riscaldamento a pavimento, l'installazione di impianti di climatizzazione o di impianti che garantiscano produzione, consumo o sostituzione di fonti rinnovabili con altre con maggior livello di efficienza energetica a basso consumo.

Il miglior efficientamento energetico passa dunque attraverso interventi in grado di non limitare le prestazioni nel contesto di una diminuzione del consumo di energia (da www.acea.it/guide/efficientamento, novembre 2022).

08.6 Applicazione sul fabbricato rilevato ad uso pubblico

Alla luce delle determinazioni di quanto rilevato, l'intervento di riqualificazione energetica di Palazzo Coccia dovrà nel dettaglio prevedere:

- la sostituzione dei serramenti esterni con nuovi in legno ad infissi spessi e dotati di triplo vetro, con oscuranti ad ante sempre in legno;
- l'isolamento interno delle pareti perimetrali con particolare attenzione dei punti con più esposizione e nei cosiddetti ponti termici;
- l'isolamento della copertura e dell'estradosso dell'ultimo solaio nelle parti non usabili e pertanto non calpestabili;
- l'installazione di un impianto fotovoltaico integrato in copertura con annessa una serie di batterie di accumulo alloggiate in vano tecnico da realizzarsi nel sottotetto;
- l'installazione di una pompa di calore con annesso buffer di accumulo dell'acqua calda sanitaria, debitamente dimensionato in considerazione dei dipendenti che stazionano permanentemente negli uffici comunali, il tutto posizionato nel vano tecnico da realizzarsi nel sottotetto.

La risultanza di tutti questi interventi sarà quella di avere ottenuto un efficientamento di Palazzo Ciocca che avrà un obiettivo principale che è quello di poter fruire al meglio dell'impianto termico, sfruttando l'alimentazione ad energia elettrica prodotta sul posto, cercando di ottimizzare le modalità di gestione e i relativi costi da dover sostenere.

Calcoli preliminare hanno evidenziato come la messa in atto di questi interventi consenta un miglioramento di almeno due classi energetiche dell'edificio, miglioramento considerato come riferimento nella maggioranza dei bandi pubblici.



Al fine di poter gestire correttamente e monitorare il funzionamento corretto degli impianti tecnologici installati, si dovrà valutare l'installazione di un sistema in remoto in grado di trasmettere i dati di consumo in tempo reale. Con il controllo di questa situazione si è nelle possibilità di intervenire sugli impianti per diminuire od aumentare l'apporto performante degli stessi, a secondo delle esigenze che si possono andare a creare, ad esempio con cambi delle condizioni atmosferiche, sia con peggioramenti o precipitazioni che possono andare ad abbassare le temperature esterne, oppure con miglioramenti che, al contrario, possono alzare le temperature con l'aumento dell'irraggiamento solare.

Conclusioni

Gli strumenti di osservazione della Terra possono quindi andare ad apportare servizi innovativi nella Pubblica Amministrazione, fornendo ed implementando i database informativi, sia a carattere geografico che a carattere territoriale, il tutto ad uso e consumo del singolo ente gestore in relazione alla propria dotazione informatica.

Si è potuto dimostrare con tutti i rilievi fotogrammetrici effettuati sul territorio del centro urbano del capoluogo di Livorno Ferraris, come possa essere concretamente funzionale ed efficiente l'utilizzo di un modello digitale tridimensionale ad altissima risoluzione, generato con gli apporti tecnologici ed i software descritti nei primi capitoli della presente tesi.

I campi di applicazione di questi sistemi informativi sono decisamente svariati, ma come si è potuto dimostrare in ambito urbano ed in particolare sull'efficientamento energetico, tematica di questi tempi di particolare interesse e attualmente molto dibattuta, si possono ottenere risultati decisamente importanti sulle dinamiche e scelte strategiche delle politiche di governo del territorio.

Da quanto constatato nell'intero lavoro, si è denotato come i sistemi informativi territoriali, i rilievi fotogrammetrici e i supporti informatici GIS, convivendo dinamicamente possono contribuire con decisione allo studio ed al governo del territorio, mettendo i diretti interessati, sia la Pubblica Amministrazione che gli stakeholders, nelle condizioni di poter fare scelte di pianificazione in coerenza con i reali bisogni dell'ambiente.

Inoltre dobbiamo sicuramente tenere in considerazione il fatto che gli strumenti di osservazione della Terra potranno essere utilizzati al fine di complementare la ricerca e il monitoraggio delle analisi che dovranno essere attivate per la decarbonizzazione delle città. Infatti partendo proprio dal rapporto che il Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità

Sostenibili ha pubblicato circa un mese fa, relativamente la transizione ecologica della mobilità e delle infrastrutture, denominato STEMI, vengono fornite alla Pubblica Amministrazione un ampio quadro ed indirizzi attuativi di policy finalizzate proprio alla decarbonizzazione, andando ad individuare quei settori da trattare e dove intervenire per poter fare in modo di raggiungere gli obiettivi climatici di riduzione delle emissioni in atmosfera, determinati ad un meno 55% entro il 2030, e dei loro azzeramento entro il 2050, incanalando così le città verso adattamenti sempre maggiormente resilienti ai cambiamenti climatici sempre più rapidi nella loro evoluzione.

Il Rapporto STEMI va ad illustrare quali possibilità tecnologiche e quali migliori pratiche internazionali possano essere adottate per rendere sostenibili la mobilità urbana e gli edifici, andando ad includere anche la produzione di energia rinnovabile, valorizzando nel contempo l'apporto delle risorse disponibili inerenti infrastrutture verdi e le acque urbane, opere fondamentali nelle funzioni di mitigazione e di adattamento prevenzione dei rischi, la salute e il benessere dei cittadini. Inoltre analizza e valuta quali possano essere le migliori strategie per poter fornire e andare a generare un cambiamento delle scelte dei cittadini e degli operatori economici per inquadrare le più adeguate, ed economicamente vantaggiose, tecnologie digitali da mettere al servizio della decarbonizzazione e dell'adattamento al cambiamento climatico, considerando anche le forme finanziaria più consone a sostenere tali investimenti e le modalità di monitoraggio dell'applicazione e dei risultati delle scelte politiche, garantendo efficacia e trasparenza delle decisioni prese.

Con questi presupposti e con l'applicazione di campagne di monitoraggio costanti nel tempo, si potrebbero creare anche basi storiche da sovrapporre tra di loro al fine di poter andare ad evidenziare quelli che sono stati i cambiamenti e le mutazioni più rilevanti definendone nel contempo le motivazioni e le cause che hanno generato tali fenomeni,

migliorando le modalità di scelta dei percorsi da dover attivare per la sostenibilità della qualità di vita delle popolazioni.

Si dovrà assolutamente pensare a strumenti estremamente dinamici in grado di adeguarsi costantemente alle situazioni che si creano o cambiano sul territorio, attivando azioni resilienti di contrasto alle criticità che possono manifestarsi a seguito di un evento atmosferico particolarmente intenso, oppure contrastando la dispersione insediativa ed il consumo di suolo, favorendo le proposte progettuali di recupero e di rigenerazione dei tessuti urbani antropizzati esistenti ed in disuso.

Strumenti urbanistici territoriali in grado di comunicare tra di loro a scale urbane di dettaglio, al fine di migliorare la qualità costruttiva dell'edificato, promuovendo l'utilizzo di materiali e tecnologie costruttive estremamente sostenibili, sia sotto il profilo ambientale che sotto l'aspetto economico-finanziario, in modo tale da poter attrarre fondi di investimento e stuzzicare le proprietà in disuso ad essere, per lo meno, condotte e mantenute in stato decoroso, nel rispetto del contesto urbano in cui si trovano.

La Pubblica Amministrazione dovrà dotarsi di strutture sempre più informatizzate e di facile consultazione, al fine di poter rendere partecipe la popolazione interessata a tutte le nuove iniziative che si intendono attivare sul proprio territorio. Dovranno inoltre essere adeguati anche i supporti telematici presenti sul sistema di comunicazioni territoriale, poiché l'alta risoluzione di tali SIT e modelli 3d presuppone la consultazione con linee e mezzi informatici performanti che dovranno essere messi a disposizione delle utenze. L'informatizzazione dei territori e la tecnologia adottata dovranno essere inevitabilmente all'altezza dei risultati che si intendono ottenere, sensibilizzando allo stesso tempo i gestori delle linee e dei sistemi di comunicazione, nonché le medesime utenze.

Abbiamo ancora molta strada da percorrere, ma non siamo comunque completamente allo sbaraglio, infatti certe situazioni in essere e determinate iniziative già ben avviate, ci possono fare ben pensare per il futuro cercando anche di essere ottimisti su quanto si potrà fare ed ottenere nel breve periodo.

I percorsi di digitalizzazione della Pubblica Amministrazione sono segni tangibili dei passi in avanti che si sta cercando di fare, miglioramenti allo stato delle relazioni tra il pubblico ed il privato, anche alla luce di quelle che potranno essere future collaborazioni anche in forme di partenariato e sponsorizzazioni varie.

Riferimenti Bibliografici e Sitografia

- Gianfranco Amadio, *Introduzione alla Geomatica - Manuale introduttivo ai sistemi informativi geografici*, Dario Flaccovio Editore Ottobre 2012;
- Angelo Marzocca, *Principi del rilievo fotogrammetrico - Principi della fotogrammetria*, on-line su PoliBa/studenti;
- Paolo Rossi, Paolo Corradeghini, *Fotogrammetria con Photoscan*, on-line su 3Dmetrica;
- Massimo Zotti, *Il presente ed il futuro dell'Osservazione della Terra da satellite*, Editore Planetek Italia anno 2015;
- Valentina Alena Girelli, *Tecniche digitali per il rilievo, la modellazione tridimensionale e la rappresentazione nel campo dei beni culturali*, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, anno 2007;
- Filip Biljecki, Hugo Ledoux e Jantien Stoter, *An improved LOD specification for 3D building models*, *Computers, Environment and Urban Systems*, Settembre 2016;
- Renzo Carlucci, *L'Open Geospatial Consortium - OGC ha approvato CityGML v3.0 per integrazione anche con il BIM*, 18 Ottobre 2021;
- Eleonora Barone, *L'orientamento interno in fotogrammetria*, 01 Agosto 2019;
- Eleonora Barone, *L'orientamento esterno in fotogrammetria*, 03 Marzo 2020;
- Federico Monteforte, *Realizzazione di un modello 3D urbano ad altissima risoluzione*, Politecnico di Torino, anno 2021;

- Camilla D’Amanzo e Stefania Cecibel Feijoo Rivas, *Urban Digital Twin come strumento a supporto delle prassi di pianificazione a scala urbana per il cambiamento climatico*, Politecnico di Torino, anno 2021;
- Roberto Gallia, *Clima, Ambiente, Salute. Quali misure di prevenzione e adattamento in edilizia e in urbanistica?* Territorio e Ambiente, Quaderni di Legislazione Tecnica, marzo 2022;
- Massimo Meneghin, *Riqualificazione integrata degli edifici esistenti*, Edizioni Grafil, prima edizione anno 2015;
- Livio De Santoli, *La gestione energetica degli edifici*, Dario Flaccovio Editore, prima edizione aprile 2010.

- <https://audioboom.com/posts/7960941-climate-monitors-turn-to-satellites-to-spot-carbon-cheats/>, novembre 2022;
- <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-10-06/climate-crisis-muon-space-uses-satellites-ai-to-identify-polluters/>, novembre 2022;
- <https://www.sbfi.admin.ch/sbfi/it/home/ricerca-e-innovazione/affari-spaziali/>, novembre 2022;
- <https://www.planetek.it/>, novembre 2022;

- <https://www.3dmetrica.it/>, novembre 2022;
- <https://www.3dnatives.com/it/software-fotogrammetria/>, novembre 2022;
- <https://eu-smartcities.eu/>, piattaforma web UE dedicata alle smart city, novembre 2022;
- <https://it.wikipedia.org/wiki/>, novembre 2022;
- https://www.citygmlwiki.org/index.php?title=Citygml_Wiki/, Citygml Wiki, datato 22 Febbraio 2017;
- <https://dronetopoprogram.it/lorientamento-interno-in-fotogrammetria/> agosto 2019;
- <https://dronetopoprogram.it/lorientamento-esterno-in-fotogrammetria/> marzo 2020;
- <https://www.digisky.it/about-us/> novembre 2022;
- <https://bim.acca.it/rilievo-fotogrammetrico-cosa-e-come-ottenerlo/> News dal Mondo BIM di ACCA, novembre 2022;
- <http://www.retecamere.it/che-cose-e-a-cosa-serve-il-sistema-informativo-territoriale/> novembre 2022;
- <https://www.comune.livornoferraris.vc.it/> novembre 2022;
- <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/suolo/il-consumo-di-suolo/> novembre 2022;
- <https://www.mit.gov.it/comunicazione/news/decarbonizzazione-mobilita-sostenibile-risparmio-energetico-e-digitalizzazione/> novembre 2022;

- <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/climate-neutral-and-smart-cities/>, anno 2022;
- <https://www.mit.gov.it/comunicazione/news/rapporto-stemi-presentato-ministro-giovannini-decarbonizzazione-trasporti/>, ottobre 2022;
- <https://www.giakova.com/approfondimenti/approfondimenti-termografia/utilizzo-della-termocamera-per-le-applicazioni-in-edilizia/>, novembre 2022;
- <https://www.acea.it/guide/efficientamento/>, novembre 2022.