

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Restauro e
Valorizzazione del Patrimonio

A.A. 2019-2020

Tesi di Laurea Magistrale



**Dalla nuvola di punti all'UrbanBIM
Tecniche integrate di rilievo 3D per la generazione di un
modello multiscala di città in scenario post sismico.
Il caso studio di Norcia (PG)**

Relatore:

Prof.ssa Nannina Spanò

.....

Correlatore:

Emilio Abbate

Candidato:

Marco Avena

.....

Febbraio 2020

A Valentina,
alla mia famiglia e
a tutte le persone a me care

ABSTRACT

Il patrimonio culturale italiano è stato gravemente colpito negli ultimi anni da numerosi e disastrosi eventi sismici, i cui effetti devastanti hanno causato da un lato profondi mutamenti territoriali e sociali, dall'altro, nel peggiore dei casi, hanno portato alla totale distruzione di preziosi esempi di tale patrimonio. Avvenimenti di questa portata hanno orientato le recenti ricerche della Geomatica verso lo studio di possibili strategie di rilievo da adottare in situazioni di emergenza post-sisma, al fine di offrire il proprio contributo in termini di valutazione dei rischi, dei danni e di gestione delle calamità. Lo scenario che ha permesso di sviluppare tali strategie è rappresentato dalla città di Norcia (PG), comune del Centro Italia colpito nell'Ottobre del 2016 e nel Gennaio del 2017 da uno sciame sismico che ha lasciato un segno indelebile nella comunità norcina distruggendo edifici e monumenti simbolo della città. In modo particolare il presente lavoro di tesi intende sfruttare le innovative tecniche di rilievo 3D proprie della Geomatica per creare un workflow in grado di generare un modello multi-scala di città utile, a diversi livelli, per la gestione di eventi post-sisma. Oltre alla sperimentazione di queste tecniche di rilievo innovative, particolare attenzione verrà riservata al processo di elaborazione dei dati utili ottenuti dal rilievo e alla scelta del metodo da utilizzare per la generazione del modello, sperimentando e valutando il livello di interoperabilità esistente tra dati provenienti dal mondo delle costruzioni di tipo BIM e dati territoriali propri di sistemi GIS. A tal proposito la volontà di creare un modello parametrico, facilmente implementabile, gestibile e condivisibile, in perfetta linea con le nuove normative e procedure standardizzate che ormai regolano il mondo delle costruzioni, ha portato alla scelta di un approccio di tipo BIM per la realizzazione dell'intero modello UrbanBIM della città di Norcia.

ABSTRACT

The Italian Cultural Heritage have been severely affected in recent years by numerous and disastrous seismic events, whose devastating effects have caused profound territorial and social changes on the one hand, and on the other, in the worst case, have led to the total destruction of precious examples of this heritage. Events of this magnitude have oriented research by Geomatics towards the study of possible significant strategies to be adopted in post-earthquake emergency situations, in order to offer their contributions in terms of risks assessment, damage assessment and disaster management. The scenario that made these strategies possible to develop is represented by the city of Norcia (PG), a municipality in Central Italy that was hit in October 2016 and January 2017 by a seismic swarm that left an indelible mark on the Norcina community, destroying buildings and monuments symbol of the city. Particularly, this thesis means to exploit Geomatics' innovative 3D survey techniques to create a workflow capable of generating a multi-scale model of cities useful, at different levels, for the management of post-earthquake events, experimenting and evaluating the level of interoperability offered by BIM data, that comes from constructions' world, and spatial data typical of GIS systems. In addition to the testing of these innovative survey techniques, particular emphasis will be given to the process of processing useful data from the survey and to the choice of the method to be used for the generation of the model, experimenting and evaluating the level of interoperability included between the data coming from the world of BIM and spatial data of GIS systems. In this context, the aim to create a parametric model, easily implementable, manageable and shareable, in perfect line with the new standards and standardized procedures that now regulate the world of construction, led to the choice of a BIM approach for the realization of the UrbanBIM model of the city of Norcia.

INDICE

ABSTRACT	I
1. INTRODUZIONE	1
2. URBAN BIM & SMART CITY	5
2.1 Premessa	5
2.2 Cosa si intende per Smart City	7
2.3 Strumenti ed ambiti di applicazione delle “smart initiatives”	9
2.4 La situazione in Italia	14
2.5 Cosa si intende per UrbanBIM	18
3. IL METODO BIM	23
3.1. Introduzione	23
3.2. Passaggio dal CAD al BIM	26
3.3. Successo e potenzialità del BIM	28
3.4. Standards IFC e interoperabilità	31
3.5. Normativa UNI	33
3.6. Diffusione del BIM	36
4. METODOLOGIE E TECNICHE DI RILIEVO INTEGRATO PER LA TUTELA DEL PATRIMONIO URBANO	39
4.1. Il rilievo topografico	41
4.2. Sistemi GPS/GNNS	44
4.3. La fotogrammetria digitale	47
4.3.1. Fondamenti geometrici generali	47
4.3.2. Workflow operativo e strumentazione	53
4.4. UAV e fotogrammetria aerea	55
4.4.1. Principi di funzionamento	56
4.4.2. Classificazione e impiego degli UAVs	60
4.5. Sistemi a scansione (LiDAR Technology)	62
4.5.1. Tipologie di strumenti laser	64
4.5.1.1. Triangulation based scanners	64
4.5.1.2. Ranging scanners	65
4.5.1.3. Sistemi MMS	68
4.5.2. La tecnologia SLAM	69
4.5.3. Georeferenziazione delle scansioni	73
5. INTEGRAZIONE GIS-(H)BIM	75
5.1. Panoramica sui sistemi GIS	75
5.1.1. Le componenti del GIS	76
5.1.2. Il GIS per la gestione delle emergenze	78
5.2. HBIM: il BIM applicato al patrimonio storico	83
5.2.1. Dalla modellazione geometrica all’informazione	84
5.2.2. Scan to BIM	86
5.2.3. Potenzialità e sviluppi futuri	88

5.3. CIM: verso un BIM a scala urbana	89
5.3.1. La dicotomia GIS-(H)BIM	91
5.3.2. Il legame esistente tra BIM e CIM	95
5.3.3. Potenzialità e sviluppi futuri	97
5.4. BIG Data e tecniche di rilievo 3D per un modello parametrico di città	99
6. CASO STUDIO: LA CITTA' DI NORCIA	103
6.1. Breve inquadramento storico	103
6.2. La fortezza della Castellina	107
6.3. Il terremoto	109
6.3.1. I terremoti storici di Norcia	109
6.3.2. I terremoti del 2016-2017 a Norcia	113
6.3.3. Il nuovo PRG propedeutico alla ripianificazione di Norcia	117
7. CAMPAGNE DI RILIEVO 3D ED ELABORAZIONE DEI DATI	121
7.1. Le campagne di rilievo 3D	121
7.1.1. Inquadramento GPS/GNSS	123
7.1.2. Rilievo celerimetrico con Stazione Totale	125
7.1.3. Rilievo fotogrammetrico da UAV	126
7.1.4. Rilievo LiDAR	132
7.1.5. Rilievo SLAM	134
7.2. Elaborazione nuvole di punti LiDAR	136
7.3. Elaborazione dati fotogrammetrici da UAV	140
8. IL MODELLO URBAN BIM DELLA CITTA' DI NORCIA	149
8.1. Premessa	149
8.2. Possibile approccio per il modello UrbanBIM	150
8.3. Generazione modello BIM	151
8.3.1. Dalla nuvola di punti al modello BIM	151
8.3.2. Progettare in modalità BIM con REVIT	155
8.3.2.1. Oggetti intelligenti	155
8.3.2.2. Oggetti parametrici	157
8.3.3. Modellazione del terreno	159
8.3.4. Modellazione della Castellina	164
8.3.4.1. Estrazione delle geometrie dalla nuvola di punti	165
8.3.4.2. Generazione di Famiglie personalizzate	174
8.3.5. Modellazione della Zona Rossa di Norcia	180
8.3.5.1. Il caso di Via Legnano (LOD B)	182
8.3.5.2. Il caso di Via Solferino (LOD C)	184
8.3.5.3. Il caso della Basilica di S.Benedetto (LOD C)	187
8.3.6. Limiti del software Revit	190
8.4. Autodesk Infracore: una piattaforma per la condivisione di dati	192
8.4.1. Model Builder e modello del terreno	194
8.4.2. Importazione modelli BIM della ZR e nuvola di punti	200
8.4.3. Limiti del software Infracore	203

9. ANALISI DEI DATI DEL RILEVAMENTO 3D E URBAN BIM A SUPPORTO DEL DISASTER MANAGEMENT	209
9.1. Analisi multiscala e tematizzazione del modello	209
9.1.1. Classificazione del danno edilizio mediante analisi dati UAV.....	210
9.1.2. Individuazione di interventi di adeguamento post-sisma	221
9.1.3. Esempio di documentazione di Beni Culturali	223
9.1.4. Esempio di pianificazione SAE	225
10. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	233
BIBLIOGRAFIA.....	237
SITOGRAFIA	243
INDICE DEGLI ACRONIMI	244
INDICE DELLE FIGURE	245
INDICE DELLE TABELLE	253
ALLEGATO A	255
ALLEGATO B	261
RINGRAZIAMENTI	269

1. INTRODUZIONE

La città del XXI secolo risulta essere inserita all'interno di uno scenario altamente tecnologico, che vede la presenza costante e talvolta opprimente delle nuove tecnologie nella vita sociale di ognuno di noi. Esse sono un potente strumento nelle nostre mani e spetta solamente a noi utilizzarle nel modo migliore, avendo come unico obiettivo quello di migliorare la qualità della vita all'interno delle numerose realtà urbane. A partire da questo presupposto prende avvio il presente lavoro di tesi finalizzato ad indagare come le nuove tecniche di rilievo metrico 3D, sia alla scala territoriale che a quella architettonica, legate al campo della Geomatica insieme ai più evoluti sistemi di rappresentazione tridimensionale della realtà possano aiutare nella lettura del territorio urbano che ci circonda e di come esse possano essere fondamentali nella gestione dello stesso.

I fattori determinanti che hanno portato alla definizione di questa tesi sono stati principalmente due: in primo luogo l'interesse scaturito in me nel corso di questi anni universitari per la Geomatica ed in particolare per le innovative tecniche del rilievo metrico 3D applicate ai Beni Culturali e Paesaggistici; in secondo luogo l'esperienza vissuta in prima persona a Luglio 2018 che mi vide coinvolto, insieme al Team DIRECT (DIaster RECOVERY Team) del Politecnico di Torino, nella campagna di rilievo in Centro Italia per documentare le zone colpite dai terremoti del 2016-2017. I centri urbani coinvolti in questa attività sono stati nello specifico Accumoli (RI), Pescara del Tronto (AP), Amatrice (RI), Varoni (RI) e Norcia (PG). In particolare, come caso studio è stato scelto il Comune di Norcia, il quale è stato individuato come lo scenario di base per il raggiungimento dell'obiettivo del presente lavoro di tesi: l'utilizzo delle innovative tecniche di rilievo 3D per la generazione di un modello *UrbanBIM* multiscala della città correttamente georeferito.

Particolare importanza è stata attribuita alla restituzione 3D per mezzo della tecnologia BIM (*Building Information Modelling*) della "Zona Rossa" della città, ovvero quella maggiormente colpita dal sisma e dove si sono riscontrati i danni maggiori all'edificato, e alla fortezza della Castellina, monumento storico della città. Trattandosi di un tessuto urbano storico, denso e complesso, si è ritenuto opportuno utilizzare modelli tridimensionali in grado di contenere al loro interno un elevato numero di dati ed informazioni (storiche, tecnico-costruttive), e per tale ragione si è optato per un approccio alla modellazione di tipo BIM (*BIM Approach*). In modo particolare, essendo tale metodo applicato al patrimonio costruito, si parla di HBIM (*Historic BIM*).

Ad oggi non sono facilmente reperibili modelli digitali di intere realtà urbane e gli studi fin'ora condotti in questo campo tendono a ricercare soluzioni in ambienti GIS (*Geographic Information Systems*) per la creazione di *3D City Models* relativi a città importanti e di grandi dimensioni (come Parigi, Londra e Amsterdam per citare soltanto alcuni esempi). In tal senso lo studio apportato attraverso questa tesi vuole invece approcciarsi all'argomento in maniera differente, in quanto:

- Si è deciso di analizzare una realtà urbana di minore estensione rispetto alle suddette metropoli, ma con una ricca e gloriosa storia legata al territorio italiano, anche tristemente ricordata come una città da sempre falciata da eventi sismici;
- La decisione di sperimentare un *BIMapproach* a supporto dell'intero processo di modellazione degli edifici della "Zona Rossa", ha permesso di sperimentare un workflow differente ed innovativo per la generazione di modelli digitali urbani, solitamente prodotti a partire da ambienti e dati GIS.

Per l'effettiva realizzazione del modello Urban BIM ci si è basati sui dati provenienti dalla campagna di rilievo, ottenuti per mezzo delle moderne tecnologie di acquisizione ed elaborazione dei dati 3D proprie della Geomatica (laser scanner, fotogrammetria terrestre e da UAV). Da essi è stata generata una nuvola densa di punti georeferenziata, la quale è servita come base per la modellazione della città. Una volta creato, il modello BIM è stato inserito all'interno di una piattaforma in grado di far coesistere dati BIM e GIS all'interno dello stesso scenario, fattore che ha permesso di affrontare il problema dell'interoperabilità tra i due sistemi che utilizzano standard e formati differenti, rispettivamente IFC e CityGML. Per testare e tentare di risolvere il problema dell'interoperabilità è stato utilizzato il software *InfraWorks* prodotto da Autodesk®, il quale permette l'importazione di entrambe le tipologie di files. La stessa piattaforma ha permesso di effettuare le successive analisi che hanno riguardato in modo particolare la "Zona Rossa" della città. E' stato quindi possibile tematizzare ed interrogare il modello al fine di rendere quest'ultimo uno strumento non solo rappresentativo ed iconico, ma in grado di poter essere di supporto in situazioni estreme come quelle che si verificano a seguito di una calamità naturale.

Se da un lato sarà possibile analizzare, documentare e monitorare il danno provocato dalle calamità naturali che colpiscono una città, quale per esempio un terremoto, dall'altro si avranno a disposizione dati utili per la definizione dei piani strategici e della eventuale ricostruzione post sisma. L'obiettivo è quello di parametrizzare la realtà urbana locale per fornire alle

amministrazioni, agli enti locali e ai cittadini stessi una piattaforma in grado di garantire coordinamento ed interoperabilità. Questo strumento potrà essere di supporto con livelli di fruizione e finalità differenti, a tutta la comunità e potrà essere aggiornato e se possibile implementato ogni volta che lo si ritenga necessario. Il tutto per rispondere ad un'esigenza che porta a considerare la città odierna come una *Smart City*, ovvero un sistema integrato di servizi, tecnologie ed applicazioni al servizio della comunità.

Il lavoro è stato organizzato in maniera meticolosa e programmata e si potrebbe riassumere dividendo questo processo in tre fasi:

- **Prima fase.** La campagna di rilievo nella città di Norcia ha visto lo svolgersi dell'attività attraverso l'utilizzo di sistemi GNSS per inquadrare l'area di progetto in un sistema di riferimento cartografico, di aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR) in grado di restituire l'intera conformazione della città e di sistemi a scansione laser per estrarre dati architettonici puntuali.
- **Seconda fase.** Al fine di creare un modello urbano digitale si è dovuto riflettere su quali fossero gli obiettivi da raggiungere, quali informazioni fossero veramente necessarie tra i numerosi dati estrapolati dal rilievo e quale fosse il workflow più adeguato per il loro processamento, in termini di tempo, qualità degli output finali e di valutazione dei software da utilizzare.
- **Terza fase.** La parte operativa di elaborazione e processamento dei dati costituisce la terza ed ultima parte di questo lavoro. Le varie attività sono state condotte nel Laboratorio di Geomatica per i Beni Culturali del Politecnico di Torino, al fine di analizzare i dati rilevati ed affrontare le questioni legate alla modellazione tridimensionale della città di Norcia con l'ausilio di apposita strumentazione: dall'elaborazione delle nuvole di punti fino ad arrivare ad un modello di città Urban BIM che garantisca affidabilità ed interoperabilità.

2. URBAN BIM & SMART CITY

2.1 Premessa

*“Se volete rendere conto di cosa sia una Rivoluzione,
chiamatela Progresso; e se volete capire cosa sia il Progresso,
allora chiamatelo Domani”*

Victor Hugo, 1862, *Les Miserables*

Già nel 1862, lo scrittore francese Victor Hugo affermava, attraverso una delle sue più celebri opere, che nell'umanità intera intravedeva, seppur velatamente, il desiderio di lasciarsi alle spalle le difficoltà di una vita spesso indegna e di stenti per far spazio al progresso ed all'evoluzione della società. Il tentativo da parte dell'uomo di migliorarsi e di andare oltre i propri limiti nell'arco della propria esistenza è un atteggiamento proprio della sua indole ed è ciò che ha permesso il verificarsi di avvenimenti, sfide, conquiste, pensieri e propositi che hanno portato allo sviluppo della civiltà.

Il più grande esempio che la storia ci fornisce a tal proposito riguarda l'avvento della Rivoluzione Industriale, processo di evoluzione economica ed industrializzazione della società che ebbe inizio a partire dalla seconda metà del '700. Considerando che la Prima Rivoluzione Industriale vide il passaggio da un'economia prettamente rurale ad una di tipo industriale e di fabbrica, mentre la Seconda fu più legata ad un repentino sviluppo tecnologico, la Terza e la Quarta riguardano due processi tutt'ora in atto che stanno apportando cambiamenti socio-economici di grande rilievo: stiamo parlando rispettivamente della Rivoluzione Digitale e dell'Industria 4.0.

Quando nella letteratura si parla di era digitale o di era dell'informazione si fa proprio riferimento all'epoca storica in cui viviamo oggi, caratterizzata dalla presenza ormai in qualsiasi campo di prodotti digitali e dall'insieme di profondi cambiamenti sociali, economici, politici scaturiti dall'uso consueto di dati digitali e dalla condivisione sul web di tutte le informazioni che vengono proposte. L'evoluzione della società in questo senso ha subito un'accelerazione repentina negli ultimi decenni e due risultano essere i fattori scatenanti. Il primo è rappresentato dalla diffusione di Internet e dalle varie tecnologie digitali ormai alla

portata di chiunque; il secondo dalla semplicità di utilizzo e dal facile reperimento delle risorse informatiche presenti in rete chiamate Open Data¹.

La città quindi assume un ruolo centrale all'interno di questo processo che vede il progredire della società parallelamente alla costante e rapida evoluzione digitale e tecnologica. Stiamo quindi assistendo alla nascita di un nuovo tipo di città, la quale prende il nome di Smart City. Uno spazio che assume connotazioni sia concettuali che concrete e nel quale vengono sperimentate nuove politiche pubbliche e nuovi sistemi di sviluppo e di gestione di ogni aspetto della città, il tutto caratterizzato da una solida base tecnologica in costante mutamento. Dal momento che ogni realtà urbana è caratterizzata da aspetti, tematiche e peculiarità che la rendono unica all'interno del panorama nazionale e mondiale, senza considerare il fatto che la gestione delle città sta diventando sempre più un'attività complessa per le varie amministrazioni, sarà necessario pensare di utilizzare le nuove tecnologie per la creazione di soluzioni ad hoc per ogni scenario, tenendo in considerazione gli aspetti ricorrenti.

Lo scenario appena descritto ha posto le basi al grande dibattito a cui tutti noi assistiamo giornalmente, ovvero il tentativo da parte delle nuove politiche, sia a livello internazionale che locale, di aumentare la qualità della vita, il dinamismo economico e l'offerta di servizi che possano accompagnare ed essere di supporto alla collettività nel tentativo di ridurre le distanze tra amministrazione e popolazione. Per assolvere a questi obiettivi, risulta quindi di primaria importanza incanalare le giuste risorse e i capitali necessari nella creazione di tutte quelle opere che, attraverso l'impiego di tecnologie avanzate e sistemi integrati, possano permettere alle città di progredire ed evolversi² e alle amministrazioni di gestire questo sviluppo.

¹ Alpa, G., Premessa, in E.TOSI, *"I problemi giuridici di Internet. Dall'E-Commerce all'E-Business"*, Giuffrè, 2001, XIII.

² Calderini, M., Reviglio, E., Camerano, S., Carriero, A., Del Bufalo, G., Alterio, D., De Marco, A., Michelucci, F.V., Neirotti, P., Scorrano, F., premessa in *"Smart City. Progetti di sviluppo e strumenti di finanziamento."*, Cassa depositi e prestiti S.p.A.,2013.

2.2 Cosa si intende per Smart City

Una Smart City può essere definita come una “proiezione astratta di comunità del futuro”³ che trova il suo campo applicativo in una serie di bisogni ricercati nella tecnologia, nei servizi e nelle applicazioni in diverse aree di intervento: smart building, inclusion, energy, environment, government, living, mobility, education, health e molti altri ancora. Tutte queste tecnologie, servizi ed applicazioni non concorrerebbero ad alimentare i discorsi legati alle Smart Cities se non fossero integrati in una piattaforma che assicuri interoperabilità ed allo stesso tempo coordinamento. La Smart City può essere concepita come un grande contenitore tecnologico ed immateriale in grado di “far dialogare persone ed oggetti nell’ottica di integrare informazioni e al fine di generare intelligenze ed inclusione sociale migliorando il nostro vivere quotidiano.”⁴

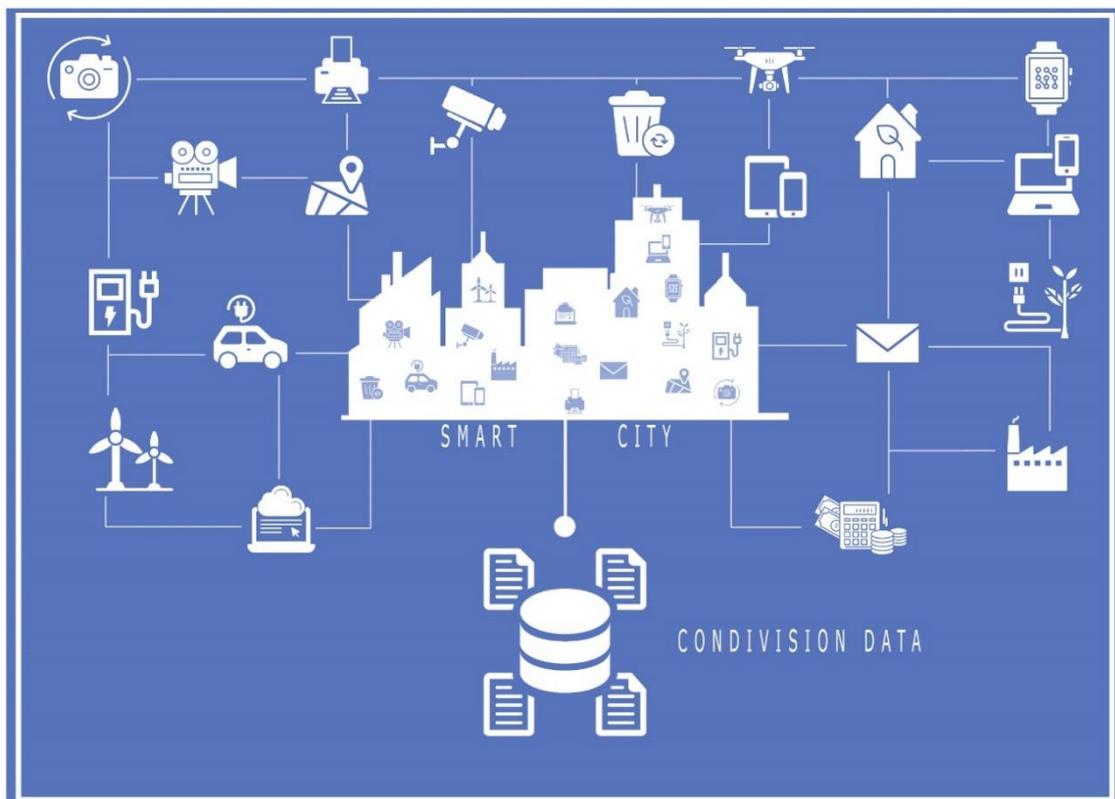


Figura 1: Immagine che raffigura la Smart City come un ideale contenitore tecnologico in cui confluiscono una quantità immensa di dati.

³ Questa definizione è stata conosciuta dall'ONSC , *Osservatorio Nazionale delle Smart City*.

⁴ *Ibidem*.

Il concetto di Smart City è di difficile interpretazione anche per gli addetti ai lavori e non può essere applicato a tutte le realtà urbane del pianeta. Per ora questo concetto viene associato a quelle società particolarmente avanzate in costante evoluzione e dove i processi di cambiamento avvengono molto rapidamente. Realtà urbane come quelle appena menzionate risultano quindi essere un teatro molto complesso in cui vanno in scena ogni giorno tentativi di gestire cambiamenti di questa portata; il tutto attraverso la ricerca e la sperimentazione di nuove tecnologie digitali che fungono da supporto, senza però perdere di vista gli effettivi bisogni dei cittadini, il cui soddisfacimento deve essere sempre il motore trainante di queste “smart initiatives”.

In letteratura esistono differenti definizioni di “smartness” e nell’immediato futuro risulta scontato il fatto che esse siano destinate ad aumentare. Tuttavia in ognuna di esse è presente l’idea che per realizzare una “città intelligente” sia necessario avere alla base un piano strategico d’insieme, organico⁵, che sappia leggere il territorio in cui è inserito in maniera profonda ed analitica. In questo modo sarà possibile sfruttare ogni tipo di informazione disponibile al fine di ottenere il miglior risultato possibile. Il fine ultimo deve essere sempre il miglioramento della qualità della vita all’interno della città e non la digitalizzazione; essa deve essere soltanto un mezzo che affiancato ad una oculata e previdente pianificazione possano concorrere alla creazione di una città smart ed evoluta.

⁵ Calderini, M., et al.,2013.

2.3 Strumenti ed ambiti di applicazione delle “smart initiatives”

Le città, durante questo costante processo evolutivo, mostrano dei caratteri comuni che si possono schematizzare con degli assi lungo i quali si individuano tutti quei settori verso cui tende la trasformazione urbana e che servono per comprendere appieno i caratteri ricorrenti in simili realtà.

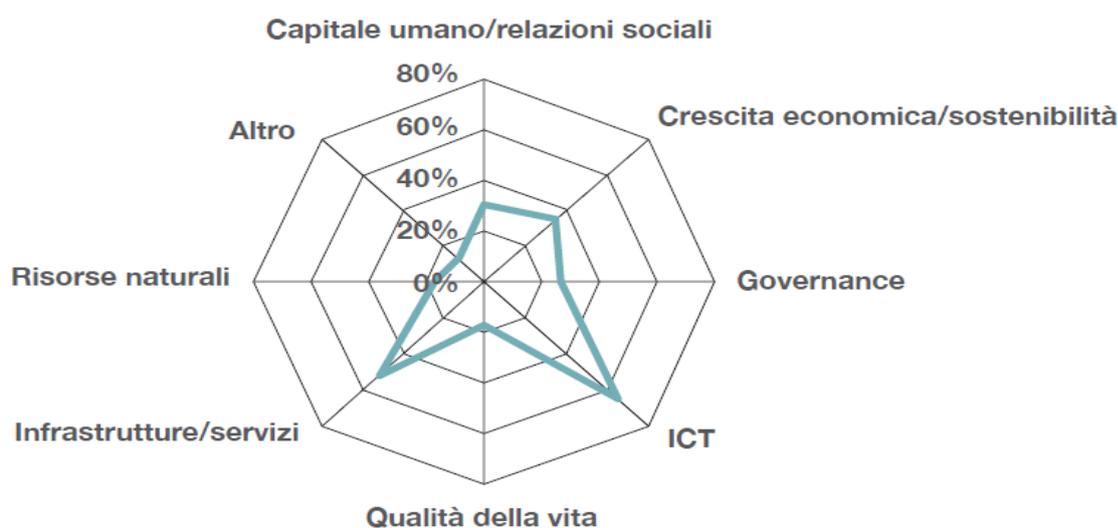


Figura 2: Grafico raffigurante gli attributi delle Smart Cities e la loro incidenza all'interno della città, realizzato dal gruppo di ricerca Reslog del Politecnico di Torino.

Fonte: L. Pellizzato, *Smart City secondo natura. Flussi urbani e gestione del verde*, in *Bergamo – I maestri del paesaggio*, atti del convegno di studi, Bergamo 2014.

Analizzando il grafico degli attributi delle Smart Cities, realizzato dal gruppo di ricerca Reslog del Politecnico di Torino, appare evidente come l'attributo relativo all'Information and Communications Technology (ICT)⁶ giochi un ruolo determinante, insieme alle Infrastrutture e Servizi, nell'affermarsi della concezione che quando si parla di Smart City si fa riferimento in particolare ad una vera e propria “Digital City”⁷. Come però accennato in precedenza, la prima preoccupazione non deve essere quella di creare una città altamente tecnologica, ma tutto l'apparato tecnologico, dalla ricerca fino ad arrivare a strumenti e misure concrete, deve essere

⁶ Le ICT rappresentano l'insieme dei metodi e delle tecniche utilizzate nella ricezione, trasmissione ed elaborazione di dati ed informazioni, comprese le tecnologie digitali. Vengono ormai utilizzate in svariati ambiti, sia pubblici che privati, tanto che possono essere considerate *general purpose technology*, ovvero tecnologie versatili. Esse sono sempre più connesse allo sviluppo sociale ed economico delle comunità umane, Web. Ott. 2019, Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Tecnologie_dell'informazione_e_della_comunicazione.

⁷ Pellizzato, L., *Smart City secondo natura. Flussi urbani e gestione del verde*, in *Bergamo – I maestri del paesaggio*, atti del convegno di studi, Bergamo 2014.

messo al servizio dell'intera comunità al fine di poter essere di supporto anche agli altri assi di sviluppo.

A tal proposito un contributo fondamentale è stato fornito dal Dr. Rudolf Giffinger e dall'Università Tecnologica di Vienna: a seguito di numerosi studi sullo sviluppo delle città europee, gli autori, nel tentativo di dare una definizione di Smart City, hanno definito sei caratteristiche ricorrenti che formano l'ossatura delle città smart. Queste caratteristiche non sono altro che ambiti di applicazione delle cosiddette "smart initiatives", ovvero una serie di servizi/aree tematiche quali: *Smart Economy* (economia), *Smart People* (capitale umano e sociale), *Smart Governance* (Governance), *Smart Mobility* (trasporti e ICT), *Smart Environment* (risorse naturali), *Smart Living* (vita quotidiana)⁸

Tabella 1: Le sei caratteristiche smart identificate dall'Università di Tecnologia di Vienna.

SMART ECONOMY (Competitiveness)	SMART PEOPLE (Social and Human Capital)
<ul style="list-style-type: none"> • Innovative spirit • Entrepreneurship • Economic image & trademarks • Productivity • Flexibility of labour market • International embeddedness • Ability to transform 	<ul style="list-style-type: none"> • Level of qualification • Affinity to life long learning • Social and ethnic plurality • Flexibility • Creativity • Cosmopolitanism/Open-mindedness • Participation in public life
SMART GOVERNANCE (Participation)	SMART MOBILITY (Transport and ICT)
<ul style="list-style-type: none"> • Participation in decision-making • Public and social services • Transparent governance • Political strategies & perspective 	<ul style="list-style-type: none"> • Local accessibility • (Inter-)national accessibility • Availability of ICT-infrastructure • Sustainable, innovative and safe transport system
SMART ENVIRONMENT (Natural resources)	SMART LIVING (Quality of life)
<ul style="list-style-type: none"> • Attractivity of natural conditions • Pollution • Environmental protection • Sustainable resource management 	<ul style="list-style-type: none"> • Cultural facilities • Health conditions • Individual safety • Housing quality • Education facilities • Touristic attractivity • Social cohesion

⁸ Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., Meijers, E., *Smart Cities - Ranking of European medium-sized cities*, Vienna University of Technology, 2007.

Le sei dimensioni smart presentate dall'Università di Vienna sembrano inizialmente dividere la realtà urbana in diversi contenitori a sé stanti, facendo venire a mancare quella visione organica e d'insieme che deve essere alla base di una città intelligente. Tuttavia questi indici devono essere considerati soltanto come dei parametri guida di cui ci si serve per comprendere il livello di "smartness" di una città, considerati nel loro insieme e non singolarmente⁹.

Attualmente non sono molte le realtà che si possono definire completamente smart, e tra quelle che rientrano in questa definizione troviamo città ex novo (Greenfield) e città già esistenti che necessitano di essere rinnovate (Brownfield)¹⁰. Le prime non risultano essere in gran numero e nel mondo possiamo trovare soltanto pochi casi di realtà di questo genere, come negli Emirati Arabi o in Giappone. A questo proposito un esempio eclatante è rappresentato dalla città di Fujisawa costruita al posto di una ex fabbrica della Panasonic a pochi chilometri da Tokyo, completamente ecosostenibile e con sistemi di controllo e gestione intelligenti. Le circa 1000 famiglie residenti destinate a crescere, e possono contare su di una rete energetica smart e centralizzata, che garantisce illuminazione LED, sistemi domotici per il controllo e la gestione dell'energia. Mettere a disposizione di queste famiglie una rete intelligente significa per esempio distribuire l'energia alle abitazioni in base alla reale domanda, evitando qualsiasi tipo di spreco e questo tipo di discorso può tranquillamente essere esteso a tutte le altre "smart initiatives" presenti all'interno dell'assetto urbano. Il tutto viene gestito da un centro di controllo costruito nei pressi della piazza centrale della città, dove il personale tecnico ha il compito di monitorare il corretto funzionamento dei servizi, l'erogazione dell'energia e i consumi della stessa¹¹.

⁹ De Chiaro, M., *Smart City e Smart People: dalla realtà urbana alla realtà mista.*, tesi di laurea magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2017-2018, rel. G. Garnero.

¹⁰ Peric, A., *Brownfield redevelopment versus Greenfield investment – Case Study Ecka industrial zone in Zrenjanin, Serbia*, in *Technics Technologies Education Management*, Gennaio 2011, Web. Ott. 2019, Fonte: <https://www.researchgate.net/publication/290941500>.

¹¹ Fujisawa SST Council, *Fujisawa Concept Book*, in Consiglio di Amministrazione Fujisawa SST 2018, 6th edizione.



Figura 3: Immagine in cui è raffigurata una parte della città di Fujisawa, dove emergono le abitazioni unifamiliari indipendenti, ognuna dotata di pannelli solari.

Fonte: www.fujisawasst.com



Figura 4: Immagine che raffigura il Centro di Comando della città nella piazza principale.

Fonte: www.fujisawasst.com.

Per quanto riguarda invece le realtà urbane di vecchia generazione che hanno pienamente aderito alla rivoluzione smart troviamo Amsterdam. Chiamata anche la Venezia del Nord, questa città viene ormai considerata come la City più “smart” del pianeta a seguito del progetto pioniere “*Amsterdam Smart City (ASC)*”, il quale si prefigge entro il 2040 di fare della capitale olandese un esempio concreto ed all’avanguardia in materia di risparmio energetico, qualità della vita, inclusività sociale e politiche ambientali. Ma la vera rivoluzione consiste nel tentativo delle amministrazioni della città di condividere in rete informazioni sui veicoli, edifici, termostati, illuminazione stradale, parchimetri, distributori automatici, segnali stradali e molto altro, sempre ed in ogni luogo al servizio dei cittadini. L’acquisizione e la condivisione dei dati in tempo reale diventa perciò uno scenario estremamente fondamentale per lo sviluppo di una Smart City e prende il nome di “*Internet of Things*” oppure più semplicemente “*Internet of Everything*”¹². La sensoristica IoT permette di avere a disposizione una quantità elevata di dati, che una volta elaborati, possono essere utilizzati per prendere opportune decisioni in tempo reale volte a migliorare la qualità della vita nelle città.

A tal proposito negli ultimi anni l’Unione Europea ha lanciato alcuni programmi per finanziare sfide emergenti, tra cui quelle rappresentate dalle Smart Cities. Da questi presupposti è nata l’iniziativa del Programma HORIZON 2020¹³ per la ricerca e l’innovazione, finanziato dall’UE nel 2014, che prevede in questi sei anni il raggiungimento da parte delle città di un alto livello di crescita intelligente, sostenibile ed inclusiva.

La città del futuro è ormai al centro del dibattito internazionale e le aspettative di raggiungere questo livello di progresso crescono giorno dopo giorno in maniera esponenziale. Come afferma l’ex Ministro italiano dell’Università e della Ricerca Francesco Profumo, “[...] Al centro della sfida vi è la costruzione di un nuovo genere di bene comune, una grande infrastruttura tecnologica e immateriale che faccia dialogare persone ed oggetti integrando informazioni e generando intelligenza, producendo inclusione e migliorando il nostro vivere quotidiano.”¹⁴

¹² Sorigeniaup, *Un laboratorio a cielo aperto di innovazione e tecnologia applicate alla qualità della vita urbana: nei Paesi Bassi il primo centro al mondo che sfrutta le potenzialità dell’Internet of Things*, Sorigeniaup Magazine Online, 2014, Web. Nov. 2019, Fonte: <https://up.sorigenia.it>.

¹³ Horizon 2020 è il più grande programma di ricerca e innovazione che sia mai esistito, grazie al quale l’UE ha stanziato fondi pari a quasi 80 miliardi di Euro, disponibili in sette anni (2014-2020). Questa iniziativa è volta a garantire la competitività globale dell’Europa ed è considerata come uno strumento per stimolare la crescita economica ed occupazionale in maniera intelligente e sostenibile, abbinando sempre ricerca ed innovazione. L’obiettivo finale è quello della creazione di un vero mercato unico per la conoscenza, la ricerca e l’innovazione. Web. Nov. 2019, Fonte: <https://ec.europa.eu>.

¹⁴ Profumo, F., “*Città intelligenti?*” *Per una via italiana alle Smart Cities.*, a cura di A.Granelli, in rivista Media2000, 2012, Web. Nov. 2019 Fonte: <https://www.media2000.it>.

2.4 La situazione in Italia

La spinta verso la rivoluzione tecnologica ha ormai colpito anche il nostro Paese, il quale si vede proiettato nella direzione della trasformazione digitale con investimenti sempre maggiori in tal senso. Nonostante tali investimenti siano aumentati nell'arco di questi ultimi anni, lo scenario delle città italiane di tipo "smartness" risulta essere ancora un passo indietro rispetto agli esempi di Smart City che troviamo in Europa e nel resto del mondo. Tuttavia sono stati certamente mossi i primi passi in questa direzione anche in Italia dove si sta acquistando sempre più consapevolezza dell'importanza dell'ICT come strumento ideale per uno sviluppo sostenibile dell'abitare urbano.

Come dimostrato da Assintel¹⁵ nel Report sul mercato ICT e la rivoluzione digitale in Italia nel 2019, gli effetti di questa trasformazione si sono evidenziati inizialmente nel settore delle Grandi Imprese, ma la diffusione di questo processo si sta espandendo sempre di più anche tra le imprese medio-piccole e le amministrazioni pubbliche. La frase "*data is the new oil*" pronunciata da Clive Humby, matematico inglese e Chief Data Scientist presso Starcount, è emblematica in tal senso e permette di capire come questa espressione faccia ormai parte del vocabolario di molte realtà urbane che vogliono basare le loro strategie di crescita su questo concetto, per poter quindi avere un ruolo importante nella città del intelligente del futuro¹⁶.

L'ente che in Italia si occupa di gestire tutti questi aspetti è l'ADI, Agenda Digitale Italiana, nata il 1° Marzo 2012, la quale è il punto di riferimento sul territorio per rendere operative le varie iniziative e decisioni prese a livello europeo dall'Agenda Digitale Europea. In particolare l'AGID, Agenzia per l'Italia Digitale, rappresenta l'organo tecnico della Presidenza del Consiglio che ha il dovere di portare a termine gli obiettivi dichiarati dall'Agenda Digitale Italiana e di concorrere alla divulgazione ed utilizzo delle ICT, favorendo la crescita, l'innovazione economica e la trasformazione digitale del Paese. Questo organo è strutturato in sei gruppi di lavoro che contraddistinguono altrettanti assi strategici propri delle Smart City¹⁷:

¹⁵ Assintel è l'associazione nazionale di riferimento delle imprese ICT e digitali, che ne tutela gli interessi progettando soluzioni e servizi basati e sviluppando la cultura dell'innovazione tecnologica, Web. Nov. 2019, Fonte: <https://www.assintel.it>.

¹⁶ Rapari, G., *Il mercato ICT e l'evoluzione digitale in Italia. Orientamenti della domanda, valori di spesa, scenari globali.*, Assintel Report 2019, p. 15.

¹⁷ Le informazioni relativi all'ADI e alla sua strutturazione interna sono state ricavate dal sito internet ufficiale di tale ente ministeriale, www.agid.gov.it, Web. Nov. 2019.

- Infrastrutture e sicurezza;
- eCommerce;
- eGovernment and Open Data;
- Alfabetizzazione informatica – Competenze digitali;
- Ricerca ed innovazione;
- Smart Cities and Communities.

Nello scenario italiano proposto sempre da Assintel emerge chiaramente come le tecnologie che nel 2019 hanno maggiormente visto il crescere degli investimenti nelle ICT riguardano settori altamente innovativi quali l’Internet of Things, il Cloud, la Robotica, i Droni, fino ad arrivare alla Realtà Virtuale e Aumentata. Inoltre le spese che le Regioni sosterranno nel corso dello stesso anno si assesteranno entro valori molto simili a quelli del 2018. Studi in questa prospettiva dimostrano che il Lazio e la Lombardia sono le regioni più attive per quanto riguarda gli investimenti nelle ICT, in quanto da sole contribuiranno al 40% della spesa nazionale nel 2019; seguono poi il Piemonte, l’Emilia-Romagna e il Veneto che genereranno complessivamente il 31%, mentre il restante 28% sarà da attribuire ad altre quindici Regioni¹⁸.

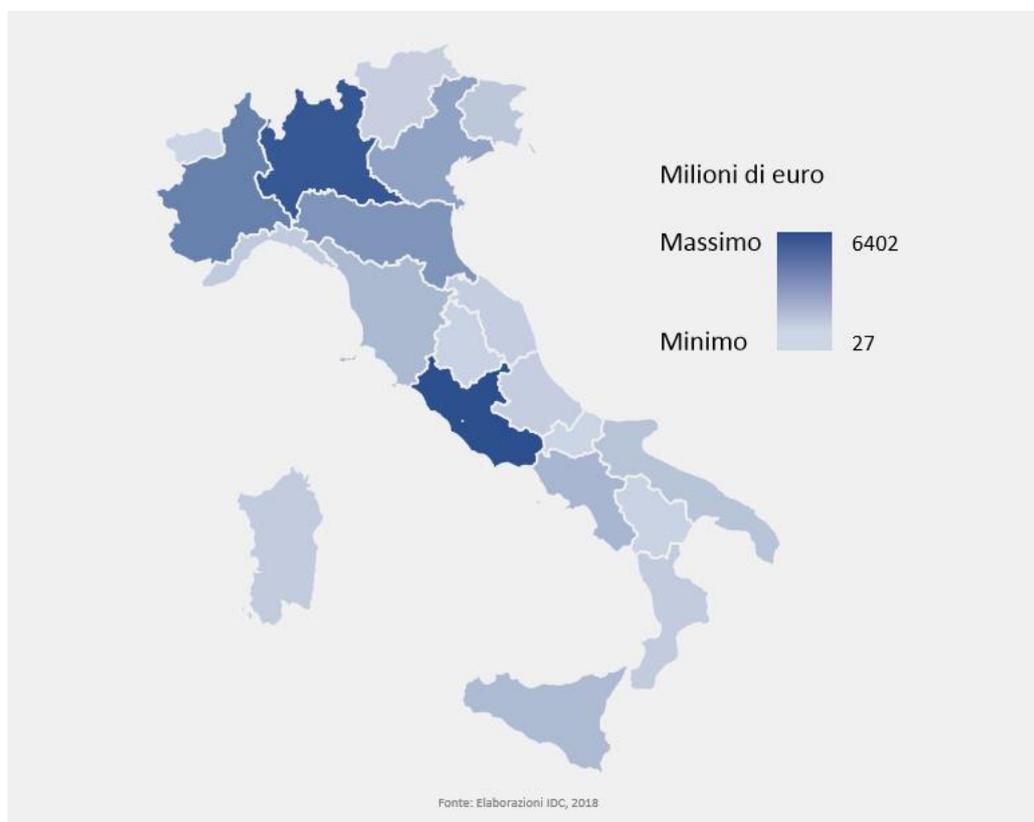


Figura 5: Immagine che raffigura il mercato ICT per Regione, 2019.

Fonte: Rapari, G., 2019.

¹⁸ Rapari, G., 2019, p. 21-25.

La società di servizi e consulenza FPA Digital 360, in collaborazione con l'ISTAT, UNIONECAMERE ANCI, Openpolis e ActionAID, stipula dal 2012 rapporti annuali riguardanti il livello di “smartness” delle città italiane, generando delle vere e proprie classifiche. Per fare ciò FPA ha individuato quindici macro categorie relative alla vita urbana, ovvero ambiti che possono trarre il maggior vantaggio da un'evoluzione di tipo smart: occupazione, ricerca e innovazione, solidità economica, trasformazione digitale, energia, partecipazione civile, inclusione sociale, istruzione, attrattività turistico-culturale, rifiuti, sicurezza e legalità, mobilità sostenibile, verde urbano, suolo e territorio, acqua e aria. Ognuno di questi ambiti tiene in considerazione ben centosette indicatori legati all'ambiente, all'economia, ai servizi funzionali, agli aspetti sociali e alla governance, per poter stilare un rapporto finale chiamato *ICity Rate*¹⁹.

Tabella 2: Classifica Generale *ICity Rate* prodotta da FPA Digital 360.

RATING 2018	CITTÀ	PUNTEGGIO	RATING 2018	CITTÀ	PUNTEGGIO	RATING 2018	CITTÀ	PUNTEGGIO	RATING 2018	CITTÀ	PUNTEGGIO
1	Milano	640,2	28	Biella	492,7	55	Terni	434,9	82	Sassari	334,7
2	Firenze	621,6	29	Siena	492,6	56	Cuneo	434,5	83	Isernia	331,7
3	Bologna	620,0	30	Rimini	491,9	57	Verbania	427,7	84	Nuoro	328,9
4	Trento	583,6	31	Brescia	489,5	58	Lucca	426,5	85	Campobasso	324,9
5	Bergamo	567,1	32	Lodi	488,0	59	Ascoli Piceno	425,2	86	Siracusa	323,2
6	Torino	547,7	33	Ferrara	485,2	60	L'Aquila	423,9	87	Latina	322,9
7	Venezia	544,1	34	Lecco	482,8	61	Asti	417,4	88	Palermo	322,1
8	Parma	539,1	35	Pavia	480,2	62	Lecce	408,9	89	Catania	312,9
9	Pisa	538,6	36	Belluno	476,8	63	Pescara	407,9	90	Cosenza	307,0
10	Reggio nell'Emilia	532,8	37	Novara	476,3	64	Fermo	405,7	91	Andria	302,7
11	Padova	532,5	38	Perugia	470,8	65	Massa	402,7	92	Messina	302,5
12	Ravenna	531,7	39	Como	469,6	66	Alessandria	402,1	93	Foggia	298,2
13	Pordenone	529,9	40	Aosta	468,3	67	Bari	391,6	94	Catanzaro	296,9
14	Trieste	523,2	41	Piacenza	467,9	68	Pistoia	390,3	95	Avellino	296,7
15	Roma	522,7	42	Arezzo	465,2	69	Grosseto	385,1	96	Ragusa	296,2
16	Cremona	522,6	43	Cagliari	459,1	70	Matera	384,9	97	Reggio di Calabria	292,5
17	Modena	521,0	44	Macerata	458,1	71	Frosinone	381,0	98	Benevento	287,6
18	Udine	520,6	45	Ancona	457,0	72	Rieti	369,5	99	Caserta	283,0
19	Mantova	516,0	46	Varese	455,1	73	Potenza	362,9	100	Brindisi	278,3
20	Bolzano - Bozen	512,9	47	Sondrio	455,1	74	Viterbo	360,8	101	Enna	275,1
21	Treviso	512,1	48	Prato	454,7	75	Imperia	357,6	102	Taranto	268,9
22	Verona	506,7	49	Vercelli	449,6	76	Teramo	354,8	103	Crotone	248,8
23	Genova	503,5	50	Gorizia	446,8	77	Rovigo	351,0	104	Trapani	237,4
24	Forlì	500,6	51	Pesaro	439,8	78	Oristano	350,2	105	Caltanissetta	235,9
25	Monza	496,6	52	Livorno	438,5	79	Napoli	345,3	106	Vibo Valentia	227,6
26	Vicenza	494,5	53	La Spezia	435,7	80	Salerno	342,9	107	Agrigento	225,2
27	Cesena	493,7	54	Savona	435,6	81	Chieti	336,6			

¹⁹ Dominici, G., Fichera, D., *ICity Rate rapporto annuale 2018*, in *ICity LAB*, FPA Digital 360, Firenze, 17-18 Ottobre 2018.

Dall'ultimo rapporto rilasciato a Ottobre 2018 osserviamo come Milano sia la città più smart d'Italia per il quinto anno consecutivo, sviluppando valori di "smartness" elevati soprattutto negli ambiti relativi alla solidità economica, ricerca e innovazione, lavoro e attrattività turistico-culturale. Seguono poi le città di Firenze e di Bologna, rispettivamente al secondo e terzo posto della classifica. Il capoluogo toscano eccelle particolarmente per lo sviluppo digitale che sta mettendo a disposizione dei cittadini, mentre Bologna si trova al primo posto della graduatoria nei settori del lavoro, energia, governance e partecipazione civile. A seguire completano la classifica delle prime dieci città smart italiane Trento, Bergamo, Torino, Venezia, Parma, Pisa e Reggio Emilia. Un dato eclatante e che emerge rispetto agli altri riguarda il netto divario tra le città del Nord e quelle del Sud che non accenna a ridursi, una problematica a cui l'Italia non riesce a porre rimedio ormai da secoli.²⁰

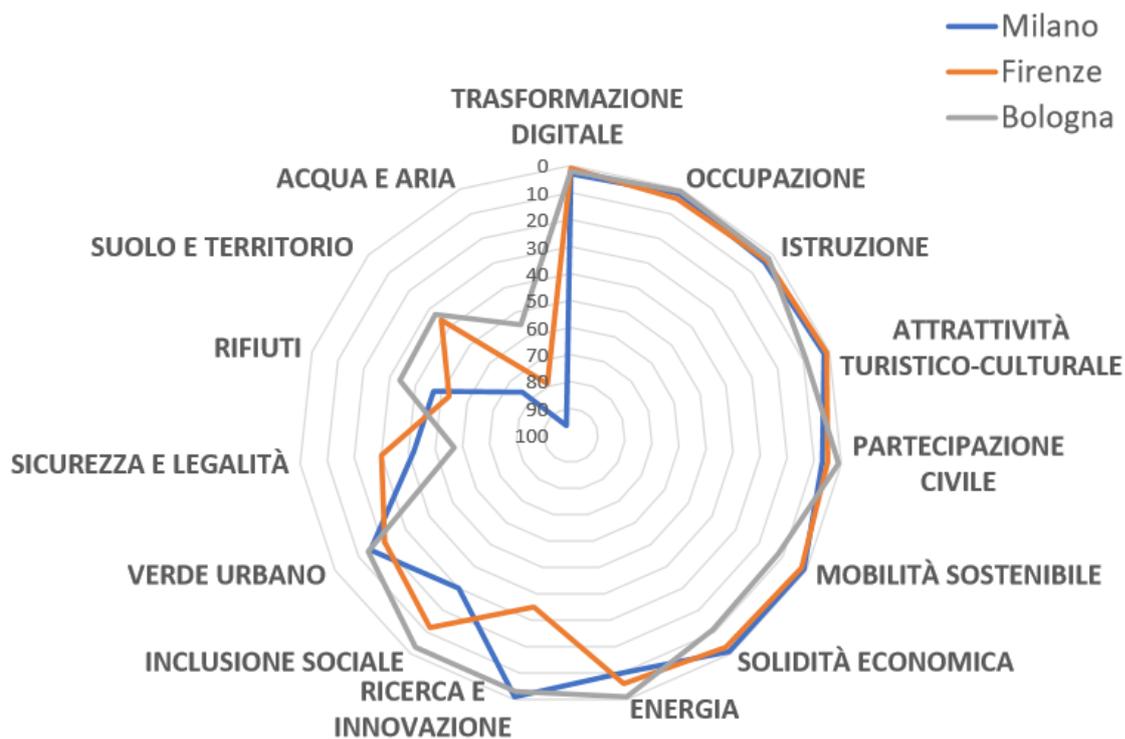


Figura 6: Grafico raffigurante le tre città più "smart" d'Italia.

Fonte: G.Dominici, D.Fichera, *ICity Rate rapporto annuale 2018*, in *ICity LAB*, FPA Digital 360, Firenze, Ottobre 2018.

²⁰ Ibidem.

2.5 Cosa si intende per UrbanBIM

Secondo un rapporto pubblicato dall'ONU (*Organizzazione delle Nazioni Unite*) nel Maggio 2018, le più grandi città del mondo vedranno aumentare vertiginosamente la propria popolazione tanto da individuare il 2050 come l'anno del "sovraffollamento globale". Secondo questa analisi in quell'anno la popolazione si sarà trasferita quasi completamente all'interno delle città, le quali rischieranno un collasso nel momento in cui non arrivassero preparate a tale evento²¹. Il compito delle istituzioni, degli architetti, degli urban planner, degli ingegneri, dei tecnici e di tutti quegli attori che sono coinvolti in tale processo è quello di trovare delle soluzioni compatibili con le varie realtà urbane, al fine di permettere loro di rispondere nel migliore dei modi a questi fenomeni incombenti.

Il contesto urbano in cui viviamo risulta quindi essere un sistema complesso ed articolato che necessita di un'analisi attenta e minuziosa di ogni suo aspetto per poterlo comprendere totalmente. Le città sono destinate a crescere e a diventare sempre più complesse in futuro e questo richiederà l'utilizzo di nuove strategie ed approcci tecnologici in grado di guidare questo processo. Tali iniziative rientrano perfettamente all'interno di quel contenitore che nelle pagine precedenti ha assunto il nome di Smart City, ovvero una città che grazie alla condivisione dei dati potrà raggiungere il massimo livello di gestione, di amministrazione e di qualità della vita²².

A tal proposito una delle iniziative che negli ultimi anni si sta sperimentando per aumentare il livello di "smartness" delle città è quella legata all'utilizzo del BIM, ovvero una "computer-aided methodology" legata principalmente al mondo delle costruzioni (AEC, *Architecture, Engineering and Construction Industry*) che collega tutti i soggetti coinvolti all'interno di un progetto tramite un modello digitale editabile dell'edificio. Questa tematica verrà ampiamente trattata in seguito, in particolare nel capitolo 3, tuttavia si vuole porre ora l'attenzione su un altro aspetto legato al BIM (*Building Information Modelling*) ed al suo utilizzo. Si è soliti adottare un approccio di tipo BIM alla scala architettonica, per rendere il processo edilizio più veloce, snello, sicuro, coordinato, affidabile ed economicamente sostenibile; se invece si ampliassero gli orizzonti e si superasse questo confine, ci si accorgerebbe che lo stesso identico processo può essere efficacemente adottato non solo per la pianificazione e la costruzione di un

²¹ *Il 66% della popolazione mondiale vivrà nelle grandi città nel 2050: allarme ONU.*, la Repubblica, 17 Maggio 2018, Web. 18 Nov. 2019, Fonte: https://www.repubblica.it/esteri/2018/05/17/news/rischio_sovrappopolazione_nelle_grandi_citta_entro_il_2050_l_allarme_delle_nazioni_unite-196631940.

²² Petz, I., *BIM and Urban Planning: "We need more details"*., Siemens, 4 Luglio 2016, Web. 18 Nov. 2019.

solo edificio, ma per l'intero processo di pianificazione del territorio urbano: da qui nasce l'Urban BIM. Per rendere più chiaro il concetto, si riporta di seguito l'esempio del Cantone di Appenzell Innerrhoden in Svizzera, un piccolo agglomerato transalpino che si estende per circa 172 km².



Figura 7: Vista a volo d'uccello del modello 3D del Cantone di Appenzell Innerrhoden.

Fonte: Growing responsibly. Autodesk InfraWorks helps a Swiss canton visualize and analyze future growth., Planning and Autodesk collaboration, in Autodesk Customer Success Story, 2013.

Situato nella zona Nord-orientale del paese, la cittadina ha riscontrato negli ultimi anni un sostanziale aumento demografico con il conseguente tentativo da parte dell'Amministrazione Comunale di incoraggiare la crescita economica dell'intero territorio, il tutto salvaguardando il carattere identitario del luogo e dei suoi abitanti. Per raggiungere questo grande obiettivo il cantone si è affidato all'esperienza di un architetto locale, Thomas Mauchle, il quale, in collaborazione con la società RegioConcept AG, ha sviluppato tutta la documentazione necessaria ad assistere la città nel suo piano strategico di crescita. In modo particolare è stato studiato l'impatto che l'aumento della popolazione avrebbe avuto nello scenario delle infrastrutture esistenti. Invece di impostare lo studio e le analisi su mappe tradizionali 2D, disegni e grafici, Thomas Mauchle ed il suo team hanno optato per la creazione di un modello 3D che rappresentasse l'edificato esistente basato su dati GIS e su un modello di terreno georeferenziato. Il modello digitale è stato creato per mezzo di un software della famiglia di Autodesk® chiamato InfraWorks, il quale ha permesso la riproduzione dell'agglomerato urbano esistente, utilizzato poi per creare delle simulazioni su possibili scenari e manovre strategiche di sviluppo.



Figura 8: Primo scenario dell'espansione urbana del Cantone di Appenzell Innerhoden.
Fonte: Growing responsibly, 2013.



Figura 9: Secondo scenario con aumento della densità abitativa nel centro del Cantone di Appenzell Innerhoden.
Fonte: Growing responsibly, 2013.

Nella fig.8. viene mostrato il primo scenario previsto dai funzionari del Cantone, dove tramite il modello 3D della città è stato semplice individuare le aree inedificate sulle quali sono stati aggiunti dei volumi rappresentanti gli edifici di nuova costruzione che avrebbero ospitato la nuova popolazione. Nella figura successiva (fig.9) invece viene proposto un secondo scenario in cui appare evidente il tentativo di aumentare il volume degli edifici esistenti con delle sopraelevazioni, per ottenere lo stesso obiettivo senza però dover costruire edifici ex-novo. Il primo risultato che è stato ottenuto grazie a questo lavoro è di tipo visivo, in quanto i funzionari hanno potuto valutare e confrontare i differenti scenari all'interno di un ambiente 3D che riproduce fedelmente la realtà, seppur questo sia stato creato utilizzando una rappresentazione schematica degli edifici, i quali non sono altro che poligoni estrusi. Ogni proposta inoltre può essere valutata in rapporto al contesto in cui è inserita, avendo sempre una visione d'insieme e mai isolata²³.

L'utilizzo delle nuove tecnologie ed in questo caso di scenari digitali applicati alle città non sono altro che strumenti di supporto per la gestione dei complessi processi urbani. Per mezzo di essi infatti si possono ridurre notevolmente il tempo ed i costi per decisioni e proposte che diversamente avrebbero proporzioni sicuramente maggiori, senza contare il fatto che un modello digitale offre un metodo rappresentativo della realtà intuitivo e di facile interpretazione anche per i non addetti ai lavori. Come affermava Alan Jost, Head of BIM presso Implenia, una delle principali società svizzere legata al mondo delle costruzioni:

“In futuro i nostri clienti si aspetteranno che noi soddisfiamo requisiti ancora più ampi e complessi. Non si limiteranno a chiedere il tipo di modello BIM che può essere utilizzato per pianificare un edificio; si aspetteranno un modello in grado di catturare anche tutti gli aspetti rilevanti della pianificazione urbana e delle infrastrutture”.

²³ Team Autodesk, *Growing responsibly. Autodesk InfraWorks helps a Swiss canton visualize and analyze future growth.*, PlanIng and Autodesk collaboration, in *Autodesk Customer Success Story*, 2013.

3. IL METODO BIM

3.1 Introduzione

All'interno del mondo dell'Architettura e dell'edilizia si è da sempre cercato di trovare la soluzione migliore per rappresentare e dare un valore semantico condiviso a tutti quei dati utili per la realizzazione di un progetto o più in generale per la realizzazione di una qualsiasi opera. In un settore altamente complesso e frammentato come quello delle costruzioni, i disegni 2D e 3D hanno giocato, e giocano tutt'ora, un ruolo fondamentale nella rappresentazione semplificata della realtà, tanto che assistiamo giornalmente alla loro continua evoluzione. Se inizialmente era il disegno digitale 2D a fornire il principale aiuto al progettista, ora si sta assistendo alla transizione verso l'impiego di modelli 3D profondamente strutturati ed in grado di rivoluzionare il ruolo del disegno nel processo edilizio²⁴.

In questo scenario in cui la tecnologia influenza sempre di più il mondo delle costruzioni ed il modo di progettare, il processo BIM si è ormai ritagliato il ruolo di protagonista principale di questo cambiamento. Attraverso questo approccio è possibile infatti creare un modello digitale 3D in grado di racchiudere al suo interno tutte le informazioni utili alla gestione dell'intero iter progettuale. Questo procedimento di fatto segna una linea di demarcazione netta e si allontana gradualmente dal classico processo basato sul disegno 2D e cartaceo.

Il *National BIM Standard* (NBIMS) americano definisce in questi termini l'approccio BIM:

“A BIM is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. As such, it serves as a shared knowledge resource for information about a facility, forming a reliable basis for decisions during its life cycle from inception onward.”

Fonte: https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_FactSheet_2015.pdf.

²⁴ Osello, A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, 2012, Dario Flaccovio Editore, p.25.

In questa breve ma esauriente descrizione sono racchiusi i concetti principali ed innovativi del BIM, basato sulla condivisione di un numero elevato di informazioni utili a guidare i progettisti durante l'intero ciclo di vita dell'edificio. L'aspetto maggiormente innovativo riguarda in modo particolare il fatto che in questo modo l'approccio alla progettazione risulta totalmente differente, in quanto la buona riuscita di un progetto non dipende più da singoli disegni rappresentanti parti a se stanti dell'opera, la cui realizzazione ha comportato fino a poco tempo fa un dispendio notevole di tempo ed energie; senza contare il fatto che un processo tradizionale è esposto a maggiori rischi di errore in quanto non dispone di un sistema di controllo delle parti che agisce in maniera complessiva. L'intero iter tipico dell'approccio BIM invece è basato su di un unico modello digitale parametrico in grado di racchiudere al suo interno informazioni sia fisiche che funzionali di un edificio. Lo scopo principale non è soltanto quello di rappresentare geometricamente un'opera edilizia, piuttosto quello di poterla sviluppare, gestire e condividere tra tutti gli attori che prendono parte ad un progetto, appartenenti anche a settori differenti.



Figura 10: Immagine raffigurante un tipico processo BIM per la realizzazione di un'infrastruttura.

Fonte: www.bimportale.com.

Nonostante il BIM sia ormai una procedura standardizzata e sempre più conosciuta ed utilizzata dai professionisti, è necessario porre l'attenzione sul fatto che il suo acronimo assume sfumature differenti in diversi ambienti appartenenti al mondo delle costruzioni. A tal proposito nella letteratura internazionale si fa riferimento a tre tipologie di BIM:

- **Building Information Modelling/Modeling.** Si fa riferimento ad un metodo che si basa su di un modello digitale di edificio contenente qualsiasi informazione relativa alla sua costruzione. Il modello oltre a fornire contenuti per mezzo di oggetti 3D, include specifiche informazioni, elementi costruttivi, dati di tipo economico e programmatico²⁵.
- **Building Information Model.** Rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali di un edificio. In quanto tale funge da risorsa per condividere informazioni relative ad un edificio e costituisce una base affidabile per tutte le decisioni da prendere durante l'intero ciclo di vita della struttura. Un concetto fondamentale alla base del BIM è la collaborazione tra differenti professionisti in differenti fasi del progetto di una infrastruttura, i quali possono inserire, estrarre, implementare o modificare informazioni nel BIM al fine di sostenere e tener conto dei ruoli degli attori in gioco. Il BIM è una rappresentazione digitale condivisa fondata su "open standards" per l'interoperabilità²⁶.
- **Beyond Information Models.** Il BIM non è un applicativo, ma un sistema informativo che costituisce un valore a lungo termine e promuove l'innovazione. Esso ottimizza il processo di ideazione e costruzione di un edificio, rappresenta un valore di tipo economico in differenti aree e contribuisce al miglioramento dell'ambiente e della qualità di vita delle persone. Il BIM rappresenta inoltre un cambiamento rivoluzionario delle modalità con cui l'uomo si relaziona con l'ambiente costruito²⁷.

Il BIM rappresenta il futuro, portatore di cambiamento e rinnovamento all'interno del mondo delle costruzioni. Attualmente il suo utilizzo viene riscontrato maggiormente nelle fasi di progettazione degli edifici, mentre risulta ancora in crescita il suo impiego durante la realizzazione e gestione dell'opera. In un mondo che, come abbiamo visto nel primo capitolo di questa tesi, risulta essere sempre più dipendente dall'Information and Communication Technology (ICT), risulta chiaro come l'utilizzo di un approccio di tipo BIM sia una soluzione

²⁵Jacobsen, K., *3D Working Method 2006*, Digital Construction, bips, Ballerup, Denmark, Aprile 2007.

²⁶AIA California Council, *A Working Definition – Integrated Project Delivery*, Mc Graw Hill Construction, 2007.

²⁷Jernigan, F.E., *BIG BIM little bim. The practical approach to building information modeling. Integrated Practice done the right way!*, Salisbury, USA, 2007.

innovativa e altamente produttiva. Il riferimento non riguarda solamente l'utilizzo di un software piuttosto di altro o più in generale l'introduzione di nuovi sistemi di Information Technology (IT), ma piuttosto il tentativo di creare una vera e propria metodologia di lavoro innovativa²⁸, capace di migliorare l'integrazione tra i vari attori coinvolti in un progetto proponendo soluzioni alternative alle abitudini consolidate.

3.2 Passaggio dal CAD al BIM

Se il disegno CAD ha profondamente mutato il modo di rappresentare e comunicare un progetto, stabilendo il passaggio dal disegno a mano a quello digitale, il BIM sta drasticamente rivoluzionando il modo di concepire, realizzare e gestire un progetto.

L'obiettivo principale dei primi ed innovativi sistemi CAD era quello di automatizzare il più possibile l'attività del disegno del manufatto, il quale veniva rappresentato per mezzo di geometrie bi-dimensionali e tri-dimensionali quali linee, archi, simboli ecc. Il disegno assistito permetteva ai progettisti di produrre elaborati grafici come piante, prospetti e sezioni indipendenti tra loro che venivano scambiate tra i vari professionisti coinvolti nel progetto. All'interno di questa metodologia di rappresentazione i vari elementi che compongono l'edificio non sono altro che geometrie semplici; se infatti consideriamo un muro, per esempio, il suo perimetro viene indicato da linee parallele con eventualmente un retino al suo interno. Per dare un significato e rendere la lettura del disegno più agevole fu introdotto il concetto di stratificazione mediante *layers*, che permise di creare dei gruppi in cui racchiudere elementi del progetto tra loro simili. Secondo una logica di questo tipo il muro preso ad esempio in precedenza viene realizzato ed inserito all'interno del *Layer Muro* opportunamente creato. La successiva comparsa del CAD 3D ha contribuito principalmente a migliorare la visualizzazione degli oggetti creati in ambiente digitale, ed ha posto le basi per i successivi sviluppi dell'Archviz²⁹.

Con il passare degli anni e a seguito dei continui progressi in campo scientifico e tecnologico, gli elementi grafici 2D dei sistemi CAD sono stati progressivamente superati e sostituiti dai sistemi CAD Object-Oriented (OOCAD), di cui il BIM ne rappresenta l'ultima generazione³⁰.

²⁸ Osello, A., 2012, p.37.

²⁹ Con il termine Archviz si fa riferimento all'*Architecture Visualization*, settore della Computer Grafica che si occupa di rendering e più in generale di tutto ciò che riguarda la rappresentazione fotorealistica della realtà.

³⁰ Ivi, pp.44-45.

La principale novità degli oggetti creati in ambiente BIM è rappresentata dal fatto che ad essi possono essere assegnati attributi non solamente grafici, ma anche e soprattutto parametri utili a capirne il comportamento, la conformazione, la struttura ecc. Si parla di veri e propri oggetti intelligenti, in quanto tramite l'assegnazione di determinati valori parametrici e regole si può ottenere la rappresentazione di oggetti e strutture complesse. Proseguendo con l'esempio precedente relativo alla costruzione digitale di un muro architettonico, in ambiente BIM ad esso vengono associati specifici parametri altezza, spessore, profondità ed ognuno di loro avrà una propria sezione e stratigrafia. Entità di questo tipo potranno inoltre essere modificate, allungate ed unite senza perdere alcun tipo di informazione, ospitando al loro interno oggetti altrettanto parametrici come porte e finestre, fungendo da elemento *host*³¹. Il discorso assume un valore ancora più importante se si considera questo processo in ottica di Facility Management: un modello BIM racchiude al suo interno tutte le informazioni utili all'ideazione, costruzione, gestione e mantenimento di un edificio, può inoltre essere decifrato e scambiato tra i vari professionisti grazie alla generazione di un unico database di informazioni digitali, senza tralasciare il fatto che in seguito ad una qualsiasi modifica da parte dell'utente di un elemento del progetto, il software automaticamente aggiorna l'intero modello e le relative viste.

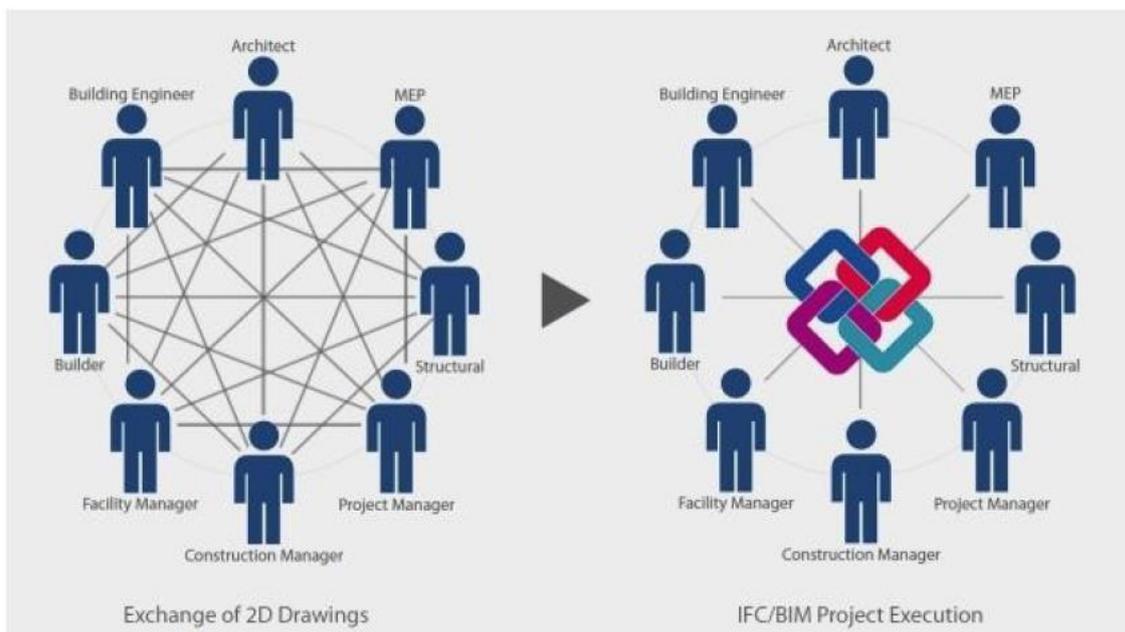


Figura 11: Approccio CAD vs Approccio BIM.

Fonte: www.progettazionecasa.com.

³¹ Nel linguaggio BIM con il termine *host* si intende un oggetto parametrico che ospita al suo interno un altro oggetto parametrico, il quale si adatta alle caratteristiche dell'entità ospitante.

3.3 Successo e potenzialità del BIM

Nel corso degli ultimi anni sempre più studi di progettazione stanno sperimentando l'utilizzo del BIM e le figure del Bim Specialist e Bim Manager sono sempre più richieste nel mondo delle costruzioni. Questo perché un approccio strutturato come quello BIM porta con sé innumerevoli vantaggi, soprattutto per ciò che concerne la gestione e lo scambio dei dati.

L'aspetto innovativo che ha garantito il successo ed il rapido sviluppo del Building Information Model risiede proprio nel fatto che tramite un unico modello digitale si può creare un incubatore gerarchico di informazioni relativo ad un manufatto. Tale obiettivo presuppone tuttavia un'accurata pianificazione delle procedure da seguire durante tutto l'iter progettuale³², a partire dall'identificazione di tutti i differenti attori che verosimilmente si scambieranno ed utilizzeranno tali informazioni del modello. Questo risulta essere un aspetto fondamentale, in quanto avere chiara questa informazione fin dall'inizio permette al team di progetto di comprendere quali siano i dati utili da rappresentare durante ogni specifica fase.

L'efficienza dell'intero processo edilizio risulta quindi migliorata ed ottimizzata, tuttavia la condivisione dei dati rappresenta il fattore più complicato da gestire e può comportare i rischi più significativi. Per questa ragione all'interno di un team di questo tipo è fondamentale la figura del Bim Coordinator, il quale ha il dovere di gestire e controllare la qualità dell'informazione, il suo processo di interscambio, garantendo che tali dati siano compresi, definiti e condivisi prima ancora che i building information models siano realizzati. Come ribadito più volte all'interno di un progetto edilizio entrano in gioco attori con competenze e ruoli differenti, e per tale ragione l'interoperabilità gioca un ruolo fondamentale in questo contesto. L'architetto, l'ingegnere, il geometra, il perito immobiliare e tutti i professionisti coinvolti dovranno essere in grado di parlare e comprendere lo stesso linguaggio, e l'approccio BIM rappresenta in tal senso l'opportunità più grande per raggiungere questo obiettivo.

³² Ivi, pp.49-50.

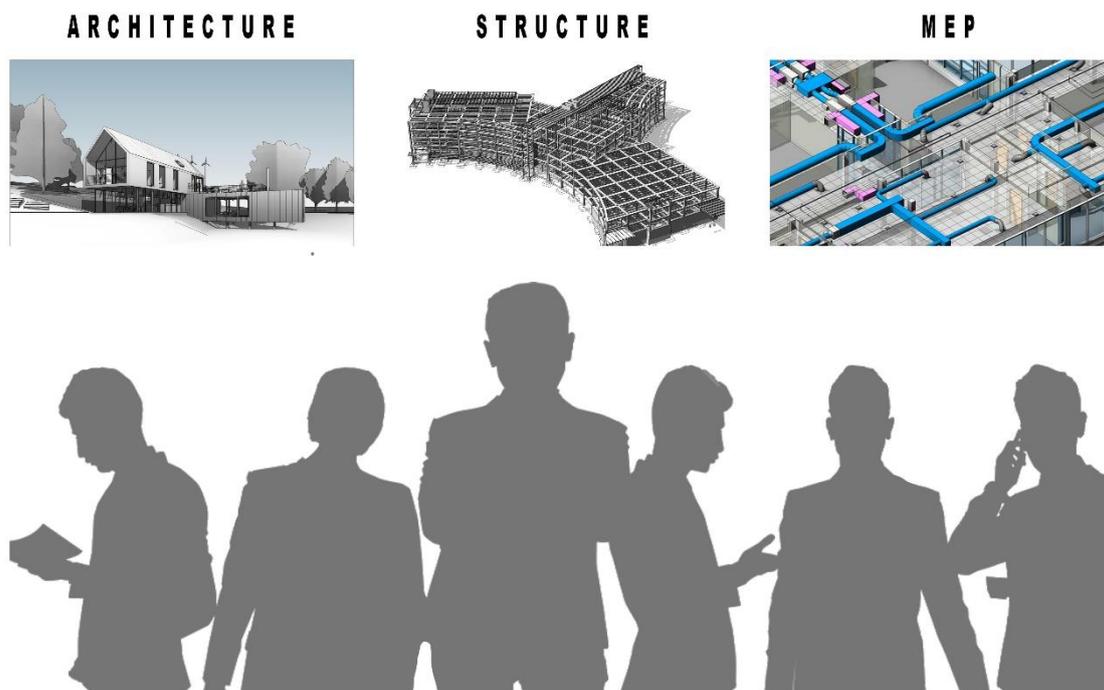


Figura 12: Immagine raffigurante il concetto di interoperabilità BIM per i settori dell'Architettura, dell'Ingegneria Strutturale e dell'Impiantistica.

La Fig.12 mostra molto chiaramente come grazie alla modellazione parametrica e alla sempre maggiore interoperabilità dei software BIM i vari professionisti di cui abbiamo detto prima possono ottimizzare la propria attività progettuale e collaborare fluidamente per la buona riuscita di un progetto. Se ad esempio si prende in considerazione un progetto di rifunzionalizzazione di un edificio, il team incaricato di eseguire l'opera imposterà il lavoro in modo che i dati dell'edificio e le varie attività siano facilmente accessibili ad ogni singolo professionista. L'architetto avrà così modo di creare un modello architettonico dell'edificio dove saranno evidenti le scelte progettuali, compositive e materiche; l'ingegnere strutturista avrà modo di avvalersi dello stesso modello digitale per ricavarne tutti i dati utili a comprendere quali siano le scelte opportune da effettuare in campo strutturale; per quanto riguarda infine la parte impiantistica relativa alla distribuzione dell'aria, dell'elettricità, del gas e dell'acqua i dati verranno inseriti in un ulteriore modello MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*). In questo modo si ha la possibilità di inserire all'interno di un unico modello dati relativi a tre discipline differenti, garantendo una costante visione d'insieme e una gestione ottimale del progetto. Ovviamente la progettazione subisce dei cambiamenti costanti durante il periodo del cantiere ed il fatto di avere a disposizione modelli collegati di questo tipo facilita le modifiche da parte dei vari progettisti e la verifica della fattibilità di tali cambiamenti. In ultima analisi è possibile svolgere su questi modelli sin dalle fasi preliminari diverse verifiche di tipo energetico

(termiche, acustiche, illuminotecniche, studio della luce solare) grazie alla interoperabilità con altri software.

Ulteriori valori aggiunti nell'utilizzo di tecnologie BIM, una volta completato il modello digitale di un edificio, sono rappresentati dai dati relativi ai costi e alle tempistiche di realizzazione dell'opera. Per queste ragioni si parla di modello 4D in riferimento all'evoluzione di un modello 3D integrato ad un cronoprogramma contenente le fasi temporali di realizzazione del progetto, mentre con il termine 5D si indica un modello a cui vengono aggiunti anche i dati relativi ai costi dei materiali e di tutti gli elementi che costituiscono il progetto.

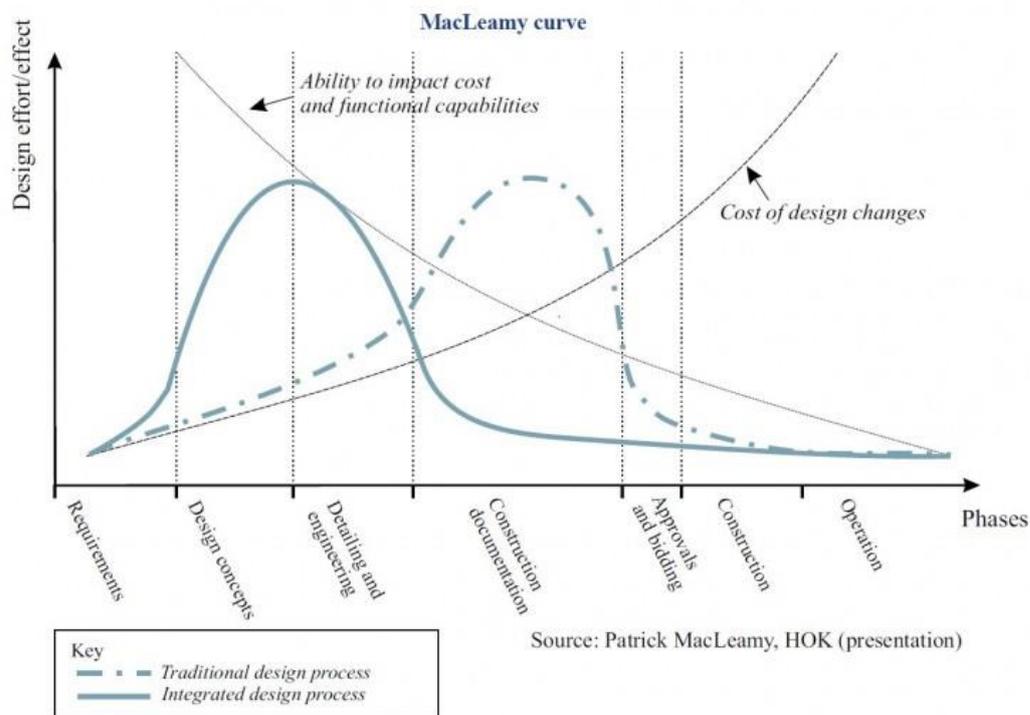


Figura 13: Diagramma di P. MacLeamy raffigurante l'intensità dello sforzo progettuale nelle varie fasi, utilizzando un approccio tradizionale o BIM, in relazione ai costi e agli sforzi prodotti.

Fonte: www.biblus.acca.it.

3.4 Standards IFC e interoperabilità

Come accennato in precedenza uno dei fattori su cui si basa il processo BIM riguarda la possibilità di scambio di dati tra professionisti appartenenti a settori differenti del mondo delle costruzioni e tra differenti software. L'interoperabilità gioca un ruolo fondamentale in questo senso ed è necessario che tutte le persone coinvolte in un progetto siano a conoscenza e sappiano interpretare e maneggiare correttamente i dati in loro possesso. Questo viene garantito soltanto nel momento in cui si utilizza un linguaggio condiviso, uno stesso protocollo ed oggetti intelligenti basati su standards di scambio definiti³³.

In questo scenario negli ultimi anni sono stati effettuati innumerevoli studi e lo sforzo maggiore è rappresentato dal tentativo da parte dell'*International Alliance for Interoperability* (IAI), ora chiamata buildingSMART™, di creare soluzioni BIM in grado di contenere al loro interno informazioni leggibili in uno specifico formato aperto e liberamente accessibile: le *Industry Foundation Classes* (IFC). Il formato IFC definisce un unico modello di dati object-oriented utile per una condivisione globale delle informazioni relative ad un progetto dell'AEC/FM³⁴ e garantisce la trasmissione dei dati di un edificio senza nessuna perdita degli stessi. In questo modo il processo di condivisione delle informazioni risulta essere preciso e lineare, in quanto la possibilità di incorrere in errori viene ridotta al minimo.

Muovendosi sempre all'interno di una prospettiva di tipo openBIM, recenti studi hanno evidenziato come molte risorse si stanno investendo per facilitare lo scambio di dati non solo tra i vari settori del mondo delle costruzioni, ma anche per accorciare le distanze tra due realtà fino a poco tempo fa molto distanti: il BIM e il GIS. Sono stati definiti differenti protocolli per raggiungere questo scopo e in tal senso la versione 4 delle IFC (IFC4) rappresenta l'ultima frontiera dell'interoperabilità tra queste due piattaforme. Si sta facendo riferimento ad un formato che permette di risolvere alcune criticità presenti nelle versioni precedenti, compreso il miglioramento nella lettura e nello scambio delle caratteristiche geometriche e parametriche dei principali elementi architettonici³⁵. In questo modo si assicura un'integrazione più semplice tra formati prettamente parametrici basati su standards relativi all'AEC e formati GIS derivanti da un'Infrastruttura di Dati Territoriali (IDT). Uno degli aspetti più innovativi è rappresentato

³³ Ivi, p.61.

³⁴ Con l'acronimo AEC si fa riferimenti all'*Architecture, Engineering and Construction industry*, mentre FM rappresenta l'acronimo di *Facility Management*.

³⁵ Palma, V., Baima, L., Vetrò, A., Sammartano, G., Abbate, E., Iacovone, C., Todeschi, V., Rapelli, M., Taramino, R., *Which digital tools for the creation of a Digital Open Urban Twin ?*, Technical Report nr. 1/2019, FULL, p.30.

dal fatto che questa continua ricerca dell'interoperabilità ha permesso tra le altre cose di poter usufruire di apposite piattaforme in grado di racchiudere al loro interno modelli parametrici di tipo BIM e dati provenienti da ambienti GIS. In questo modo si viene a creare un *dataset* molto ricco e complesso, formato da modelli generati con standard differenti.

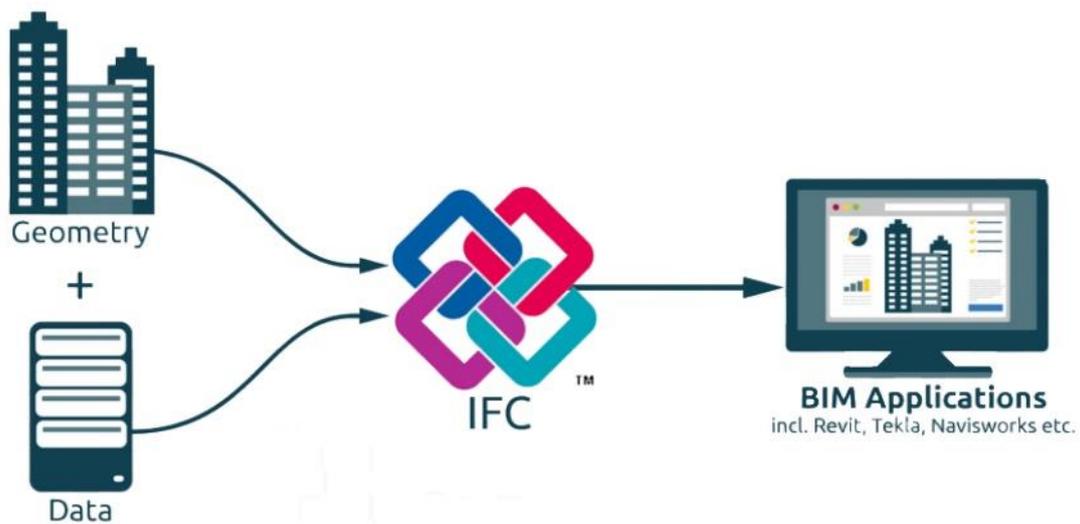


Figura 14: Schema del processo di standardizzazione delle informazioni di un modello per mezzo del formato IFC.

Fonte: www.bimcommunity.com.

3.5 Normativa UNI

Il rapido e costante sviluppo in campo tecnologico degli ultimi anni ha reso necessaria la definizione di un chiaro ed esaustivo apparato normativo che regolasse, attraverso apposite procedure e parametri, l'intero processo edilizio, soprattutto per quanto riguarda il settore delle costruzioni³⁶.

Sulla base di queste premesse e in accordo con i regolamenti europei in materia, anche l'Italia si è dotata di una struttura normativa in grado di regolamentare la gestione digitale dei processi edilizi. Con il D.M. 560/2017, conosciuto più comunemente come *Decreto BIM*, si sono definite le regole e le scadenze per l'utilizzo dell'approccio BIM negli appalti pubblici. Dal primo Gennaio 2019 è diventato obbligatorio, per quanto riguarda le opere pubbliche, l'utilizzo di tale approccio, obbligo che nel 2025 si estenderà progressivamente anche al settore privato. In particolare l'art. 6 del sopracitato decreto definisce le seguenti scadenze temporali dell'obbligatorietà del BIM negli appalti:

- dal 1° gennaio 2019 per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro;
- dal 1° gennaio 2020 per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 50 milioni di euro;
- dal 1° gennaio 2021 per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 15 milioni di euro;
- dal 1° gennaio 2022 per le opere di importo a base di gara pari o superiore alla soglia di cui all'art.35 del Codice dei contratti pubblici;
- dal 1° gennaio 2023 per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 1 milione di euro;
- dal 1° gennaio 2025 per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara inferiore a 1 milione di euro.

³⁶ Ivi, p.31.

La Normativa UNI 11337 norma gli aspetti legati alla gestione digitale dei processi informativi delle opere edilizie, di cui l'approccio BIM ne rappresenta il mezzo per ottenerla³⁷. Viene stabilita una struttura che definisce gli attributi utili a rappresentare l'oggetto in reale sotto forma di building information model. Questi attributi possono essere di tipo geometrico (LOG, *Level of Geometry*) o di tipo non geometrico (LOI, *Level of Information*) e concorrono a formare e definire un database utilizzabile in progetti differenti.

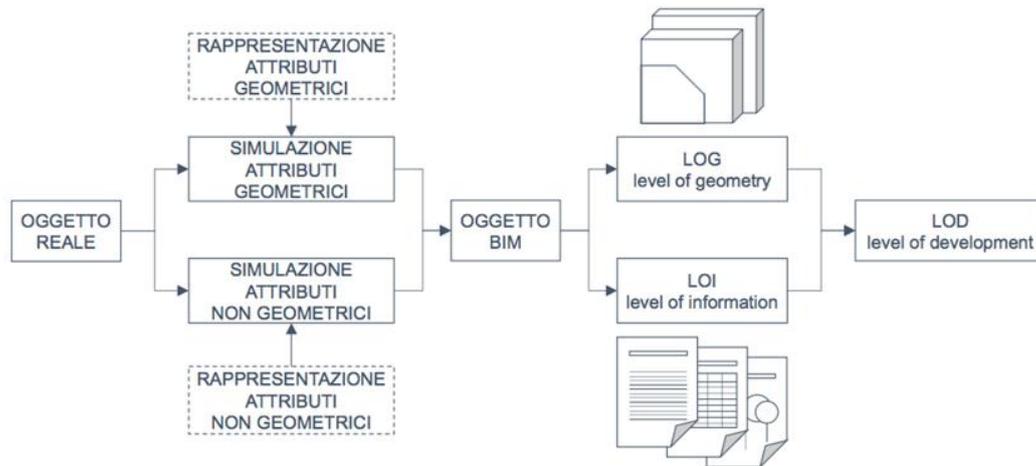


Figura 15: Schema di strutturazione dei LOD italiani.

Fonte: www.ingenio-web.it.

La normativa italiana definisce inoltre i LOD (*Level of Development*), ovvero un'ulteriore classificazione gerarchica utile a definire i requisiti necessari ad individuare le varie fasi del processo edilizio ed a determinare la scala di dettaglio per identificare il modello digitale e gli elementi di cui è composto. A tal proposito si è definita la seguente scala generale dei LOD, a cui viene affiancata la terminologia inglese che differisce da quella italiana per simbologia e numero delle classi riconosciute:

³⁷ Redazione Tecnica, *La UNI 11337: gli standard italiani sul BIM*, in Edil Tecnico. Il quotidiano online per professionisti tecnici, articolo, 21 Maggio 2018, Web Dic. 2019, Fonte: <https://www.ediltecnico.it/63404/uni-11337-standard-italiani-bim>.

Tabella 3: Classificazione LOD secondo la UNI 11337:2017 e secondo la PAS 1192-2:2013.

ITALY (UNI 11337)	UK (PAS 1192-2)
<u>LOD A</u> : oggetto simbolico	<u>LOD 100</u> : representative model
<u>LOD B</u> : oggetto generico	<u>LOD 200</u> : generic model
<u>LOD C</u> : oggetto definito	<u>LOD 300</u> : definite model
<u>LOD D</u> : oggetto dettagliato	<u>LOD 400</u> : detailed model
<u>LOD E</u> : oggetto specifico	<u>LOD 500</u> : as built model
<u>LOD F</u> : oggetto eseguito	
<u>LOD G</u> : oggetto aggiornato	

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
						
Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un simbolo 2D.	Geometria Solido generico per rappresentazione elemento architettonico verticale o pseudoverticale con forma, spessore e posizione approssimata.	Geometria Elemento architettonico (sistema e sottosistema) verticale o pseudoverticale rappresentato con ingombri calcolati secondo la normativa tecnica.	Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono modellate tutte le stratigrafie.	Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono incluse tutte le stratigrafie, i dati specifici del fornitore dei materiali e le finiture.	Geometria Oggetto parete.	Geometria Oggetto parete.
Oggetto Grafica 2D (linee e campiture 2D)	Oggetto Solido 3D	Oggetto Solido 3D strutturato	Oggetto Solidi 3D complesso	Oggetto Solidi 3D complesso	Oggetto Solidi parete completa	Oggetto Solidi parete
Caratteristiche <ul style="list-style-type: none"> • Posizionamento di massima 	Caratteristiche <ul style="list-style-type: none"> • Semplici geometrie di ingombro 	Caratteristiche <ul style="list-style-type: none"> • Spessore • Lunghezza • Larghezza • Volume • Definizione dei materiali 	Caratteristiche <ul style="list-style-type: none"> • Definizione stratigrafie dettagliate • Spessori componenti • Struttura • Isolamento • Camera d'aria 	Caratteristiche <ul style="list-style-type: none"> • Tipo finitura interna • Superficie finitura interna • Tipo finitura esterna • Superficie finitura esterna 	Caratteristiche <ul style="list-style-type: none"> • Manuale di manutenzione • Classificazione (UNI 8290, CSI, etc.) • Certificazioni di prodotto 	Caratteristiche <ul style="list-style-type: none"> • Data di manutenzione

Figura 16: Schema riepilogativo dei LOD italiani in riferimento ad una parete.

Fonte: www.thempoint.flazio.com.

3.6 Diffusione del BIM

Dopo aver descritto la situazione normativa italiana relativa al BIM, si vuole ora accennare brevemente quale sia la situazione in campo internazionale, ponendo l'attenzione su tre casi in particolare: la Finlandia, l'Inghilterra e la città-stato di Singapore.

Un Paese nettamente all'avanguardia nella promozione di iniziative legate al BIM è senza ombra di dubbio la Finlandia, dove la Senate Properties³⁸ è stato il primo ente pubblico ad aver utilizzato tale approccio e i relativi standard IFC già dal 2001. Nel corso degli anni sono state stipulate delle vere linee guida, a disposizione di tutti i partecipanti ai vari progetti per la modellazione di determinati prodotti³⁹. Tale approccio ha subito negli anni costanti revisioni e miglioramenti, ma fin da subito è risultato vincente e ha portato notevoli vantaggi agli enti pubblici che si trovano a dover gestire situazioni molto complesse, garantendo soluzioni coordinate e più facilmente gestibili da parte dei vari attori coinvolti.

L'Inghilterra è una delle prime Nazioni ad aver impiegato il BIM in maniera massiccia nel campo delle costruzioni. Per tale ragione il contributo fornito da questa Nazione nel dare vita ad iniziative in grado di porre le basi per il passaggio dal CAD al BIM risulta essere di notevole importanza. Tutti gli studi e le ricerche relative ai procedimenti da utilizzare per migliorare il processo di produzione delle informazioni di un progetto, la loro gestione e scambio, di cui abbiamo accennato precedentemente, hanno avuto inizio nel Regno Unito a partire dal 2000, quando è stata creata l'AEC (UK) CAD Standards Initiative. Questa iniziativa faceva capo ad un comitato di esperti del settore, tutt'ora esistente ed operativo, che aveva il compito di proporre protocolli e linee guida per far fronte alla impellente necessità da parte del settore delle costruzioni del Regno Unito di creare un database BIM unificato e condiviso. Nel Novembre 2011 il National Building Specification (NBS) ha dato vita ad una grande libreria online e gratuita di oggetti BIM legati al settore dell'AEC, chiamata National BIM Library. In questo modo agli architetti, ingegneri, interior designers ed altri professionisti di tutto il mondo fu data la possibilità di avere sempre a disposizione una varietà di sistemi e risorse da utilizzare liberamente nella realizzazione dei loro progetti⁴⁰. Servizi di questo tipo sono oggi in costante crescita e se il loro utilizzo ha contribuito in modo considerevole a sviluppare la conoscenza

³⁸ La Senate Properties è un ente pubblico finlandese che gestisce gran parte delle attività immobiliari di proprietà della Repubblica di Finlandia. Web Dic. 2019, Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Senate_Properties.

³⁹ Osello, A., 2012, p.75.

⁴⁰ Ivi, pp.92-93.

del flusso di lavoro BIM tra i professionisti del settore, questo merito è da attribuire in modo particolare all'Inghilterra, uno dei Paesi pionieri per la digitalizzazione del mondo delle costruzioni.

Come ultimo esempio viene proposto il singolare caso di Singapore, dove un'agenzia governativa ha dato vita ad uno dei più grandi progetti mai intrapresi in favore della tecnologia BIM e dell'utilizzo dell'IT per lo scambio delle informazioni. L'agenzia in questione, il CoRENet (*Construction and Real Estate Network*), che si occupa principalmente di organizzare ed implementare l'utilizzo di risorse BIM in progetti governativi, ha studiato alla fine degli anni '90 un sistema chiamato *e-Plan Check* che permettesse, attraverso una piattaforma comune, lo scambio di informazioni e modelli BIM tra tutti i partecipanti al processo edilizio e le autorità. Questa piattaforma si serviva della rete e di Internet per garantire uno scambio rapido ed interconnesso di tali informazioni⁴¹, consentendo ai professionisti di: consegnare online elaborati progettuali alle autorità competenti per controlli, approvazioni e permessi; scambiare modelli digitali AEC per una continua verifica di conformità del progetto; eliminare l'utilizzo e il conseguente spreco di molta carta per la stampa dei vari elaborati progettuali; utilizzare la piattaforma H24. I vantaggi nell'utilizzo di un sistema di questo tipo sono evidenti, in particolare esso comporta un'accelerazione del processo edilizio in tutti i suoi aspetti, migliorando la qualità del servizio grazie ad una maggiore gestione, efficienza e produttività.

Da questi tre esempi si evince che il crescente utilizzo e l'implementazione di sistemi BIM avrà come semplice conseguenza quella di creare un' infrastruttura digitale in grado di guidare e normare l'intero mondo delle costruzioni.

⁴¹ Ivi, pp.94-95.

4. METODOLOGIE E TECNICHE DI RILIEVO INTEGRATO PER LA TUTELA DEL PATRIMONIO URBANO

Nel 1996 un comitato di esperti rappresentanti tutte le regioni del mondo e provenienti da organizzazioni come ICOMOS (*International Council of Monuments and Sites*), ICCROM (*International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property*), CIPA (*International Committee for Documentation of Cultural Heritage*) e UNESCO (*Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Istruzione, la Scienza e la Cultura*), sottoscrive un documento che sarà conosciuto come la Dichiarazione di Sofia, il quale ha lo scopo di integrare e chiarire quanto precedentemente espresso dalla Carta di Venezia, in particolare all'articolo 16.⁴² Questo team di esperti ha avuto il merito di aver definito in modo appropriato i principi fondamentali di un intervento di rilievo, tenendo conto dei diversi contesti tipologici e culturali, superando i limiti della già citata Carta di Venezia, che essendo ormai datata presentava dei limiti. In particolare emerge come un Bene Culturale è la rappresentazione unica della cultura di un Popolo, continuamente esposto a fattori di rischio, e soltanto per mezzo di un accurato rilievo si può comprendere e conservare il suo valore intrinseco. Sulla stessa linea d'onda il *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio* del 2008, Art.10 comma 1, contribuisce a dare una definizione di Bene Culturale, affermando che “Sono beni culturali le cose immobili e mobili appartenenti allo Stato, alle regioni, agli altri enti pubblici territoriali, nonché ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro, ivi compresi gli enti ecclesiastici civilmente riconosciuti, che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico”. Inoltre per la prima volta viene individuata una figura responsabile dell'intero rilievo che ha il compito di disciplinare le diverse figure professionali che compongono il team di esperti coinvolti nell'opera di rilievo. La Dichiarazione affronta inoltre la tematica di quali siano i passaggi fondamentali per eseguire un corretto rilievo di Beni Culturali: il primo step riguarda l'analisi dei dati disponibili e la verifica della loro attendibilità per poter indirizzare la ricerca; il secondo step definisce in maniera puntuale lo scopo ed il livello di approfondimento che si vuole ottenere senza mai perdere di vista il contesto socio-culturale in cui è situato il Bene, prediligendo sempre analisi non distruttive. Nella parte conclusiva emerge come sia necessaria un'adeguata protezione e accessibilità dei dati rilevati,

⁴² L'articolo 16 della Carta di Venezia del 1965 recita: a) I lavori di conservazione, di restauro e di scavo saranno sempre accompagnati da una documentazione precisa con relazioni analitiche e critiche, illustrate da disegni e da fotografie. b) Tutte le fasi dei lavori di liberazione, di consolidamento, di ricomposizione e di integrazione, come gli elementi tecnici e formali identificati nel corso dei lavori, vi saranno inclusi. c) Questa documentazione sarà depositata negli archivi di un ente pubblico e verrà messa a disposizione degli studiosi: è raccomandata la sua pubblicazione.

i quali dovranno essere elaborati e condivisi tramite formati standard per accelerare e migliorare il processo di scambio tra i vari attori in gioco.⁴³

La Dichiarazione di Sofia ha quindi avuto il merito di fornire delle linee guida per tutti gli esperti nel settore, ma il fil rouge che ha sempre legato tutte le politiche di Restauro e Conservazione del patrimonio elaborate fino ad oggi, è rappresentato dalla necessità di creare (o ricreare) una conoscenza, al fine di garantire il monitoraggio, la salvaguardia, la manutenzione ordinaria e straordinaria del Bene oggetto di studio e la sua pubblica fruizione.⁴⁴

In questo capitolo si intende fornire una panoramica sulle tecniche di rilievo tradizionali ed innovative proprie della Geomatica. Per ciò che concerne le nuove tecniche a disposizione dei professionisti troviamo la tecnologia LiDAR e SLAM, la fotogrammetria digitale e aerea per mezzo di APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto) e UAVs (Unmanned Aerial Vehicle). In modo particolare si vuole sottolineare come le nuove tecnologie, integrate ai metodi tradizionali del rilievo, possano da un lato migliorare la qualità e la precisione del dato di output, mentre dall'altro contribuire alla riduzione delle tempistiche delle operazioni. Si rimanda invece al capitolo 7 per l'applicazione di tali tecniche al caso studio oggetto di questa tesi.

⁴³ Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali 2018, *"Documentazione del patrimonio"*, pp.9-15.

⁴⁴ Ivi, p.8.

4.1 Il rilievo topografico

Il rilievo topografico viene descritto in letteratura come “l’insieme delle operazioni di misurazione e dei procedimenti che è necessario portare a termine per ottenere una rappresentazione grafica, a scala ridotta, e/o numerica (coordinate spaziali in un dato sistema di riferimento scelto) del territorio”⁴⁵.

Affinché un rilievo topografico porti i risultati attesi è fondamentale una prima fase conoscitiva del Bene oggetto di ricerca e del luogo in cui è situato, a cui va aggiunto il livello di precisione che si vuole ottenere e conseguentemente la scala di rappresentazione che si intende raggiungere. Una volta delineate le finalità, queste valutazioni preventive permettono da un lato di avere sotto controllo tutte le fasi del rilievo, dall’altro guidano nella scelta della strumentazione più opportuna da utilizzare, delineando un percorso che si fonda sull’integrazione di metodi e tecniche differenti. In definitiva il progetto di rilievo ha il compito di regolare l’entità degli interventi di acquisizione in base alle esigenze che si riscontrano caso per caso.

Si è ormai consolidata la prassi che vede applicare alla sfera dei beni architettonici metodi e tecniche da sempre attribuiti al rilevamento del territorio ed alla produzione di cartografia. Per questa ragione si parla di rilievo metrico-numerico ed il secondo aggettivo vuole proprio indicare il fatto che il rilievo trae origine da valori numerici che rappresentano le coordinate spaziali di punti correttamente georeferiti all’interno di un sistema di riferimento stabilito a priori. Grazie a questo inquadramento topografico è possibile organizzare le misure in una gerarchia dal generale al particolare e parallelamente viene garantita l’omogeneità di precisione delle coordinate dei punti stessi. Il contributo della topografia è fondamentale nelle campagne di rilievo, in quanto la rete poligonale che ne deriva permette di ricavare dei punti di coordinata nota da cui in un secondo momento si potranno eseguire rilievi topografici di dettaglio o fotogrammetrici. Tuttavia quando si deve stabilire con la massima precisione possibile la posizione dei vertici esterni all’oggetto da cui eseguire le misure di dettaglio su di esso, per definire un sistema di riferimento XYZ, la classica metodologia di rilevamento topografico appena descritta viene sostituita con la tecnologia GPS/GNNS, di cui tratteremo nel prossimo paragrafo.

⁴⁵ Cannarozzo, R., Cucchiarini, L., Meschieri, V., “*Genesi e definizioni*” in “*Misure, rilievo, progetto*”, Zanichelli, Bologna, 2012, p.11.

Per quanto riguarda il procedimento di intensificazione dei punti, esso permette di creare una rete di dettaglio capace di inquadrare nel suo complesso il Bene architettonico oggetto del rilievo.⁴⁶



Figura 17: L'immagine raffigura un esempio di rete topografica relativa alle Aule I del Politecnico di Torino (a) e successivamente una schematizzazione del processo celerimetrico (b).

Fonte: Spanò, A., 2018.

Uno degli strumenti più utilizzati per l'inquadramento topografico è rappresentato dalla Stazione Totale, un dispositivo che racchiude al suo interno un goniometro ed un distanziometro ad onde elettromagnetiche (EDM, *Electronic Distance Meter*). La tecnica celerimetrica propria delle Stazioni Totali viene principalmente utilizzata nei rilievi di dettaglio e per la misura dei punti di controllo necessari per i successivi processamenti dei dati LiDAR e fotogrammetrici che verranno spiegati nei paragrafi successivi. Negli ultimi anni il passaggio da strumentazione di tipo ottico-meccanica ad una di tipo elettronico ha permesso alla topografia di fare un grande passo in avanti, in quanto è ora possibile raggiungere precisioni maggiori e ridurre il lavoro di lettura e trascrizione manuale delle misure, di norma fattori alla base di errori grossolani. Le misure vengono quindi comodamente registrate su memorie di massa e risultano perciò

⁴⁶ Spanò, A., Dispense Laboratorio di geomatica per la modellazione dell'architettura, "Principi del rilievo metrico", 2018, pp.9-13.

facilmente scaricabili e trasferibili su qualsiasi PC per la successiva elaborazione con software dedicati.⁴⁷



Figura 18: Immagine raffigurante la Stazione Totale Leica TS10.
Fonte: www.leica-geosystems.com.

⁴⁷ Spanò, A., Dispense Laboratorio di geomatica per la modellazione dell'architettura, "Strumenti di misura. Appunti di topografia", 2016, p.1.

4.2 Sistemi GPS/GNNS

Lo scopo principale del Sistema NAVSTAR GPS⁴⁸ è quello di identificare con estrema precisione qualsiasi punto della superficie terrestre grazie al posizionamento in orbita di satelliti artificiali. La potenzialità di questo sistema deriva dal fatto che è reso disponibile in tutto il pianeta in qualsiasi momento, ed il suo funzionamento non dipende affatto dalle condizioni metereologiche e perciò la sua affidabilità è notevole.



Figura 19: Immagine raffigurante il Satellite Galileo progettato dall'UE e lanciato in orbita nel 2011.

Fonte: www.repubblica.it.

Entrando più nello specifico, il sistema GPS permette di ricavare le coordinate X,Y,Z di un qualsiasi punto sulla Terra nel sistema geocentrico grazie alla lettura delle informazioni derivate da almeno quattro satelliti in orbita. Le informazioni menzionate rappresentano le misure della distanza che intercorre tra il satellite ed un punto di cui si vuole conoscere la posizione, operazione che consiste nel calcolare il tempo impiegato dal segnale emesso dal satellite per raggiungere un'antenna ricevente posta sulla Terra.⁴⁹ Tuttavia l'attraversamento dell'atmosfera da parte del segnale (ionosfera e troposfera in particolare) provoca dei ritardi nella ricezione del segnale, e questo provoca degli errori accidentali. Essi vengono stimati e corretti da appositi programmi di calcolo.

⁴⁸ NAVSTAR rappresenta l'acronimo di *Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System*, mentre GPS è l'acronimo di *Global Positioning System*.

⁴⁹ Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, "Cenni su sistema GPS/GNNS", 2018, p.11-13.

Al fine di determinare il più precisamente possibile le coordinate di un punto, prima che i satelliti vengano mandati in orbita, è opportuno che le loro orbite siano opportunamente studiate e progettate. In questo modo viene garantito il fatto che in ogni punto della Terra siano visibili contemporaneamente almeno quattro satelliti e che sia quindi sufficiente il calcolo delle relative distanze. Come però avviene in ogni operazione topografica, eseguendo le osservazioni anche da altri satelliti si possono stabilire con precisione ancora maggiore le coordinate del punto in questione, raggiungendo precisioni di pochi centimetri nella posizione assoluta del punto. Si può quindi affermare che ogni determinazione ulteriore rispetto alla distanza dai tre satelliti permette di affinare la precisione con cui viene determinata la posizione di un punto. Quando viene richiesta una tale precisione, come avviene nel caso della costruzione di una rete topografica per un rilievo metrico di un Bene architettonico/ambientale, viene utilizzata una tecnica particolare, chiamata *tecnica differenziale* in modalità statica. Essa consiste nell'utilizzo di due stazioni riceventi, dove la prima dovrà essere posizionata su di un punto preso come riferimento, mentre la seconda sugli altri punti della rete presi singolarmente, con tempi di stazionamento che variano da mezz'ora ad un'ora.⁵⁰

Il sistema GPS è costituito da 3 componenti fondamentali che permettono di descrivere perfettamente il suo funzionamento:

- La prima componente è rappresentata dai 24 Satelliti che ruotano su orbite fisse e che sorvolano la Terra ad una distanza di circa 20.000 Km. Ognuno di essi genera segnali che sono il frutto della combinazione di un messaggio di frequenza fondamentale (componente di fase) dalla quale si generano due sinusoidi portanti.
- Esistono 5 stazioni terrestri che hanno il compito di tracciare e monitorare costantemente la posizione e la traiettoria dei satelliti determinandone l'orbita reale, il tutto per garantire la precisione necessaria a calcolare la misura della distanza tra punti incogniti sulla Terra e satelliti.

⁵⁰ Ivi, pp.14-23 e pp.28-29.

- Gli strumenti che vengono utilizzati per la ricezione del segnale satellitare comprendono un'antenna ricevente ed un apparecchio ausiliario che permette la ricezione del segnale, una pre-elaborazione e la sua archiviazione.



Figura 20: Immagine rappresentante un dispositivo Leica Viva GNSS con Ricevitore GS10 e relativo dispositivo di comando.

Fonte: www.leica-geosystems.com.

4.3 La fotogrammetria digitale

Nel particolare ambito della Geomatica la fotogrammetria riveste un ruolo molto importante e viene comunemente utilizzata per studiare oggetti, di qualsiasi dimensione, ma soprattutto per l'analisi del territorio, essendo un metodo fortemente legato alle pratiche topografiche. A tal proposito questa tecnica permette di ricostruire fedelmente la forma di dell'oggetto rilevato a distanza, senza quindi entrare in contatto con esso, e per tale ragione il metodo fotogrammetrico viene collocato all'interno della tecnica di acquisizione denominata telerilevamento (*remote sensing*)⁵¹.

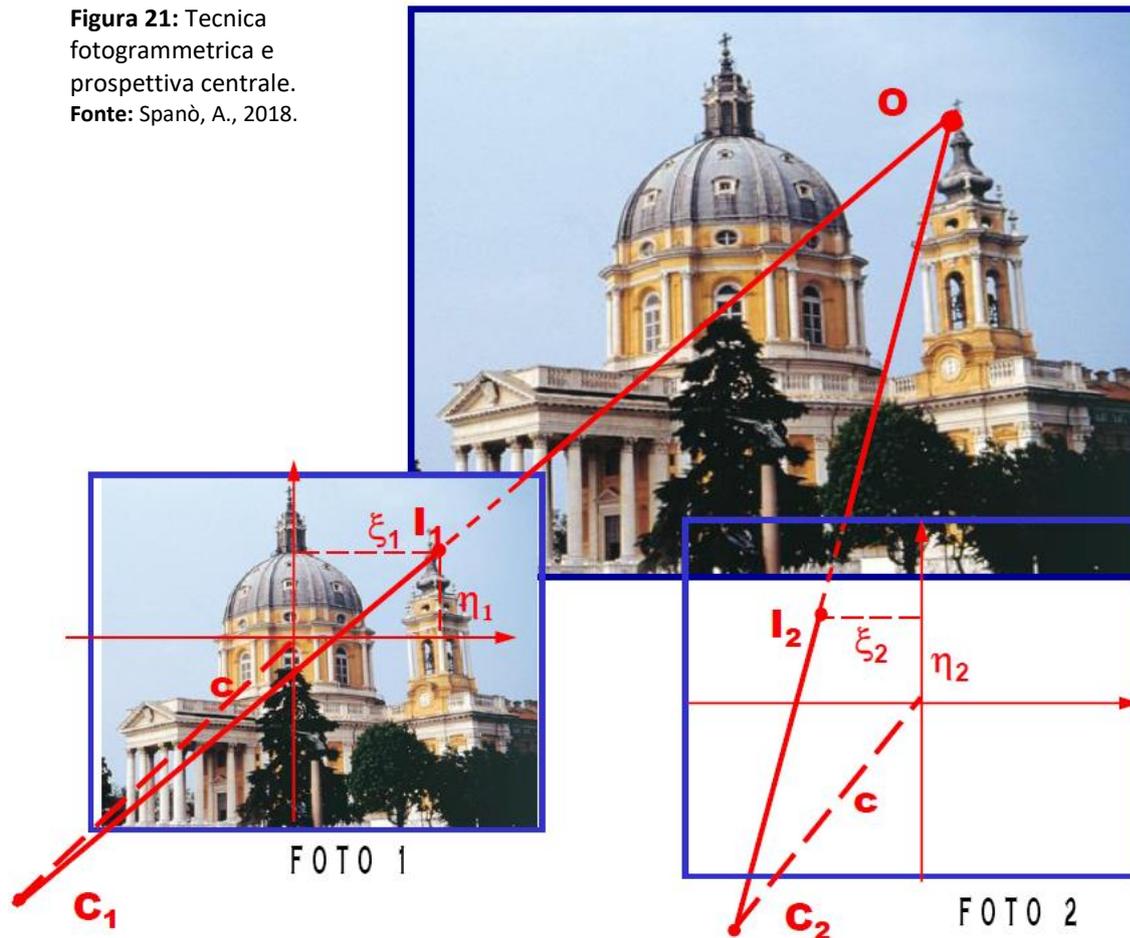
4.3.1 Fondamenti geometrici generali

La tecnica fotogrammetrica si basa sui concetti della prospettiva centrale dei fotogrammi, secondo il quale ogni punto dell'oggetto rilevato viene proiettato su un piano di proiezione da un punto che non appartiene all'oggetto stesso, ovvero il corpo rigido rappresentato dalla camera (punto di presa), il tutto attraverso una corrispondenza biunivoca. Nel caso in cui venga utilizzata una sola immagine è possibile proiettare tutti i punti immagine su un piano bidimensionale solo se l'oggetto del rilievo è piano (a causa dell'influenza dell'asse Z per gli oggetti tridimensionali, dove si possono avere infiniti punti oggetto su una quota della stessa immagine), mentre se l'oggetto da rilevare è tridimensionale è necessario utilizzare almeno due immagini stereoscopiche⁵². Dall'intersezione di raggi omologhi dello stesso punto oggetto generati da due differenti fotogrammi, utilizzando quindi le due prospettive centrali di uno stesso punto, sarà possibile ricavare la posizione dello stesso nello spazio. Ripetendo tale processo per altri punti caratteristici sarà perciò possibile la generazione di un modello 3D.

⁵¹ Kraus, K., *Fotogrammetria, Vol. 1, Teoria e Applicazioni*, 1994, p. 3.

⁵² La tecnica stereoscopica induce nell'osservatore l'apparente percezione della tridimensionalità degli oggetti, grazie all'utilizzo di coppie di immagini diverse che riprendono l'oggetto da posizioni di presa differenti.

Figura 21: Tecnica fotogrammetrica e prospettiva centrale.
Fonte: Spanò, A., 2018.



Una volta giunti alla fine del secondo conflitto mondiale, con l'avvento dei nuovi sistemi analitici, si passò dall'utilizzo di strumenti ottico-meccanici in analogico a calcolatori elettronici in analitico per mezzo dei quali è stata sviluppata la fotogrammetria aerea, processo che presentava notevoli vantaggi relativi al tempo e ai costi, grazie alla produzione di strisciate aeree, dove la collinearità era garantita in maniera analitica su dei blocchi di immagini con punti di controllo a terra⁵³. I più recenti studi e sviluppi nel campo hanno portato al miglioramento delle prestazioni della tecnica fotogrammetrica, in modo particolare rendendo la maggior parte delle procedure di generazione di nuvole di punti automatizzate o semi-automatizzate tramite specifici strumenti per l'elaborazione delle immagini (*Computer Vision*). Questi fattori hanno fortemente determinato un nuovo massiccio impiego della fotogrammetria nei rilievi architettonici e archeologici e più in generale per la documentazione del patrimonio culturale.

⁵³ Kraus, K., 1994.

In linea generale la fotogrammetria è la scienza che permette l'acquisizione di misure precise da immagini (fotografie) utilizzando particolari sensori aerei, terrestri o satellitari. Questo procedimento viene agevolato dal riconoscimento di punti omologhi nelle suddette immagini, da cui si possono ricavare precise ed affidabili informazioni metriche relative alle dimensioni, alla forma e alla posizione di un oggetto o scena⁵⁴.

Il principio fondamentale di questa tecnica consiste nello stabilire una vera e propria relazione geometrica tra le immagini immortalate dalla camera e la scena reale nel momento preciso in cui le fotografie sono state scattate. Ciò risulta possibile se si conoscono specifici parametri relativi all'orientamento interno ed esterno della camera da presa, che insieme permettono di definire le *equazioni di collinearità*, rappresentanti le relazioni esistenti tra il punto del centro di presa, il punto oggetto e il punto immagine. In modo particolare l'orientamento interno tiene conto di caratteristiche proprie della camera, come la lunghezza focale, la distorsione radiale dell'obiettivo e la posizione del punto principale⁵⁵. I parametri di tale orientamento sono rappresentati da: due coordinate della proiezione del centro di presa sul piano immagine (ξ_0 e η_0) e una distanza c tra il centro di presa e la sua proiezione sul piano immagine. Per quanto riguarda l'orientamento esterno si fa riferimento ai parametri spaziali della camera rispetto ad un sistema di coordinate tridimensionale. A tal proposito la posizione del corpo rigido (la camera) viene determinata da tre traslazioni nello spazio di coordinate X_0 , Y_0 , Z_0 e tre rotazioni del fotogramma espresse per mezzo di angoli di rotazione ω (azimut topografico), φ (angolo di sbandamento), κ (angolo di elevazione)⁵⁶. Nella fotogrammetria tradizionale vengono quindi utilizzate le equazioni di collinearità per calcolare le coordinate 3D di un punto nello spazio visibile da almeno due fotogrammi attraverso *la triangolazione fotogrammetrica* o *bundle adjustment*, noti i parametri di allineamento interni ed esterni delle immagini.

⁵⁴ Mikhail, E.M., Betel, J.S., McGlone, J.C., *Modern photogrammetry*, John Wiley & Sons, 2001.

⁵⁵ Bertocci, S., Bini, M., *Manuale di Rilievo Architettonico e Urbano*, Città Studi Edizioni, de Agostini Scuola Spa, Novara, 2012.

⁵⁶ Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, *Fotogrammetria digitale*, 2018, p. 4.

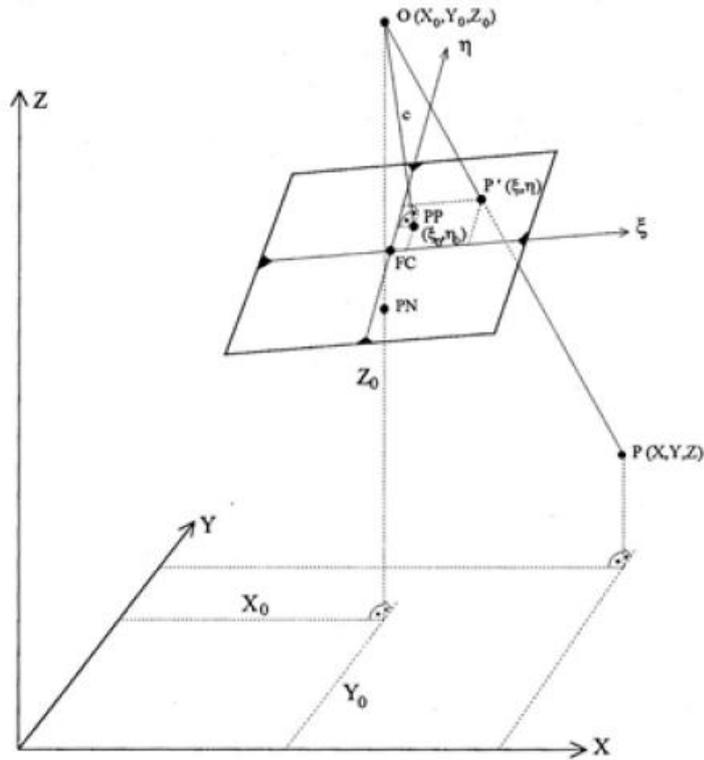


Figura 23: Relazione esistente tra i punti immagine e i punti oggetto.
Fonte: Kraus, K., 1994.

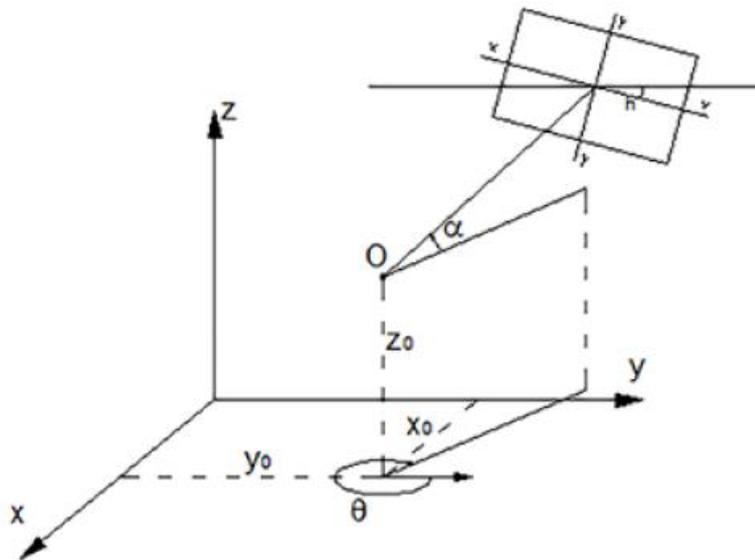


Figura 22: Parametri di orientamento della camera con centro di presa in O.
Fonte: Kraus, K., 1994

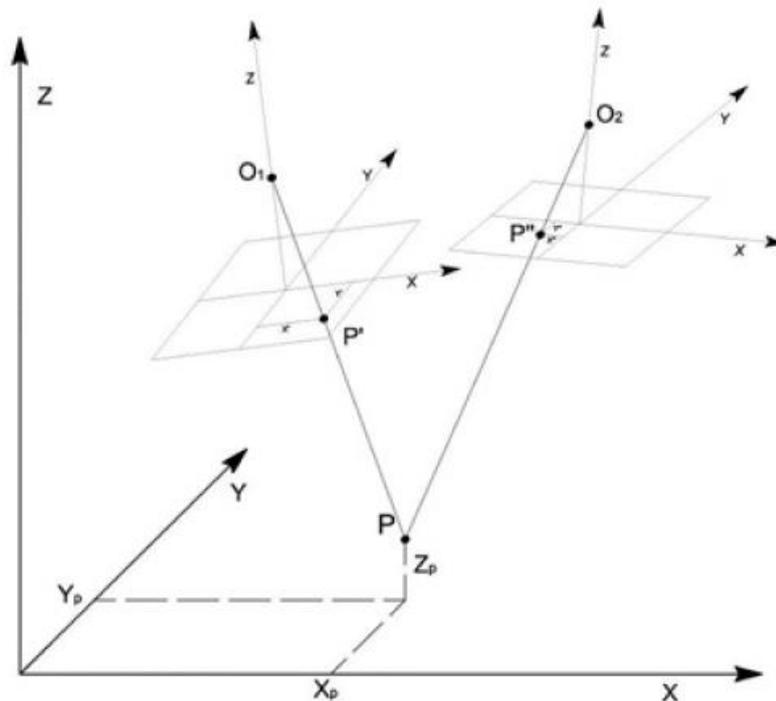


Figura 24: Coppia stereoscopica, intersezione dei raggi omologhi per la ricostruzione semplificata della geometria del punto P.
Fonte: Kraus, K., 1994.

Come accennato in precedenza è possibile oggi eseguire tutte le fasi dell'orientamento fotogrammetrico ed il calcolo di un modello denso di punti tramite l'utilizzo di software di fotogrammetria appositi che rendono questo processo automatizzato. Si è assistito infatti ad un progressivo incontro tra i fondamenti teorici e gli algoritmi che sono alla base della tecnica fotogrammetrica tradizionale con processi e algoritmi derivanti dalla *Computer Vision*, disciplina dall'elevato background informatico che sfrutta sistemi di tipo SfM (*Structure for Motion*). Questi sistemi permettono di stimare la posizione tridimensionale di punti rappresentati in molteplici immagini, riuscendo così a ricostruire la geometria precisa dell'oggetto rilevato (*Structure*) e la posizione delle prese (*Motion*) anche qualora non si fosse in possesso di definiti parametri di calibrazione della camera (in quanto calcolati durante il processo)⁵⁷. In particolare vengono estratti automaticamente dei punti caratteristici (*tie-points*): il software riconosce in maniera univoca il pixel grazie all'elevato contrasto radiometrico nelle differenti direzioni del punto. Ad ogni punto viene assegnato un identificatore utile nella fase

⁵⁷ Lowe, D. G., *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*, International journal of computer vision, 60 (2), 2004, pp. 91-110.

di *feature matching*, dove i punti con i descrittori più simili (punti omologhi) vengono allineati in vista del successivo passaggio della triangolazione (*bundle adjustment*). I sistemi SfM seguono i principi della *geometria epipolare* che regola le relazioni che intercorrono tra i *Tie-Points* (TP), i centri di presa e la posizione 3D del punto al fine di orientare le prese e stimare sia gli orientamenti interni che esterni. In particolare la *geometria epipolare* si basa su una condizione teorica secondo la quale i fotogrammi si trovano su uno stesso piano e perciò i punti omologhi possono essere ricercati lungo delle linee, chiamate *linee epipolari*. In questo modo dall'utilizzo di tale sistema si è in grado di ricostruire automaticamente migliaia di intersezioni nello spazio per dare origine ad un modello 3D denso⁵⁸.

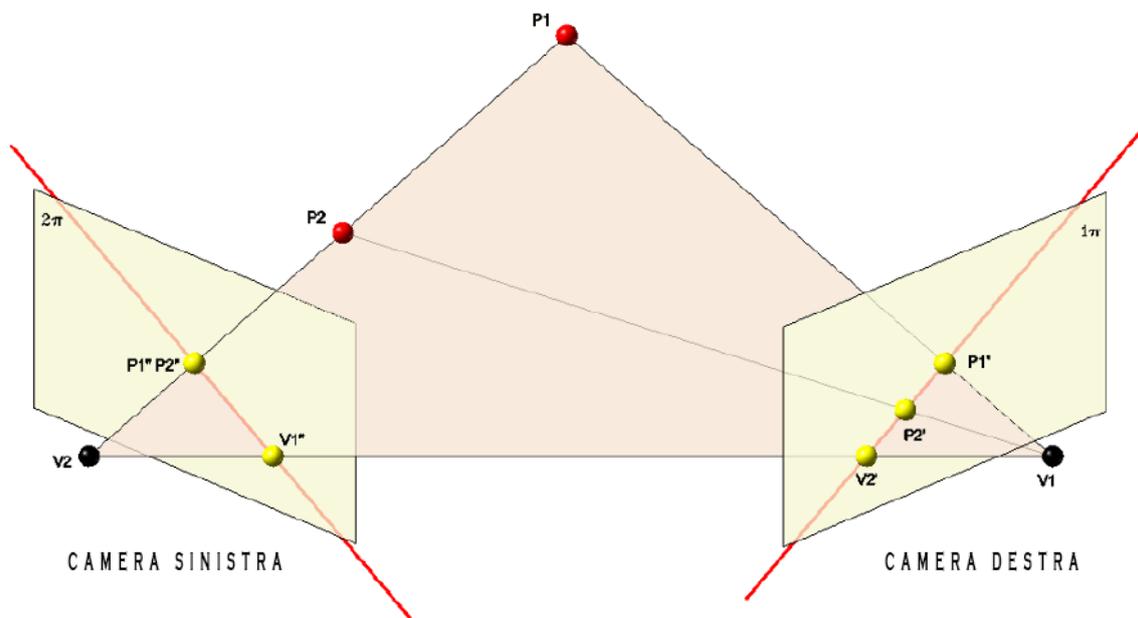


Figura 25: Regole proiettive relative alla geometria epipolare.
Fonte: Spanò, A., 2018.

⁵⁸ Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, *Fotogrammetria digitale*, 2018, pp.12- 22.

4.3.2 Workflow operativo e strumentazione

Quando ci si appresta a svolgere un rilievo di tipo fotogrammetrico, sia esso terrestre o aereo, è necessario che vengano seguiti determinati passaggi al fine di portare a termine con successo l'intero processo:

- **Fase di appoggio topografico.** Passaggio preliminare di indispensabile importanza dove verranno misurate le coordinate planoaltimetriche di punti scelti sull'oggetto che poi verranno successivamente collimati sulle immagini;
- **Fase di presa.** Fase operativa che consiste nell'acquisizione delle immagini dell'oggetto da rilevare, sia da terra che eventualmente dall'alto;
- **Fase di orientamento.** Determinazione dei parametri utili a definire le equazioni di collinearità per definire le relazioni analitiche tra punti immagine e punti oggetto;
- **Fase di restituzione.** Fase composta da numerosi passaggi, come le misurazioni sul modello stereoscopico ottenuto in seguito alla fase di orientamento, determinazione delle coordinate 3D dei punti oggetto, verifica ed eventuale integrazione di dati di rilievo (*editing*), restituzione grafica degli elaborati⁵⁹.

In ultima analisi, i sensori e le fotocamere digitali in grado di acquisire immagini e fotogrammi si possono distinguere in base al luogo da cui vengono impiegate e da questo presupposto deriva la seguente classificazione:

- **Fotocamere terrestri.** Sono le fotocamere digitali più vendute e conosciute e si dividono in “compatte” (amatoriali) e “Reflex” (professionali). Esiste inoltre un'altra tipologia di camere digitali in grado di acquisire immagini sferiche ad alta risoluzione (geometrica e radiometrica), chiamate “camere panoramiche” tra cui la camera *GoPro Fusion*.

⁵⁹ Spanò, A., Dispense, *Fotogrammetria digitale e scansioni 3D*, 2016.



Figura 26: Immagini che mostrano partendo da sinistra una camera compatta, la Sony DSC-RX100M4, una Reflex Canon EOS M-50 ed infine una camera panoramica GoPro Fusion 360.

Fonti: www.sony.it, www.canon.it, www.gopro.com.

- **Camere avio-trasportate.** Sono camere montate su piattaforme aeree (UAV, aeroplani, elicotteri, palloni, aquiloni ecc...) e si dividono in piccolo, medio e grande formato. Queste camere acquisiscono le immagini con appositi sensori lineari oppure frame.

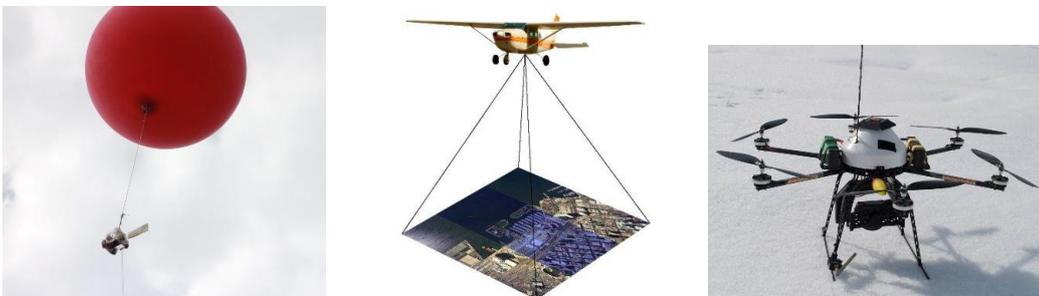


Figura 27: Immagini che mostrano partendo da sinistra un pallone aerostatico equipaggiato con camera per riprese aeree, un aeroplano per fotogrammetria aerea ed infine un drone UAV.

Fonti: www.flickr.com, www.san-lo.com, www.ossolanews.com.

4.4 UAV e fotogrammetria aerea

Negli ultimi anni si sta assistendo al passaggio graduale da tecniche di rilievo tradizionale, basate su sistemi distanziometrici, a procedimenti di acquisizione di dati per mezzo di sistemi ad elevata automazione quali laser scanner e fotogrammetria digitale tramite l'utilizzo di mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo, conosciuti in lingua inglese come UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*)⁶⁰. Il primo utilizzo documentato di mezzi aerei non convenzionali senza pilota a bordo è avvenuto il 22 Agosto 1849, quando l'esercito austriaco, in guerra contro Venezia, usò dei palloncini senza equipaggio carichi di esplosivo per attaccare la Serenissima.⁶¹



Figura 28: Immagine raffigurante l'attacco austriaco del 22 Agosto 1849 alla Serenissima per mezzo di palloni esplosivi. Fonte: www.sciencephoto.com.

Sin dall'antichità fino ad arrivare ai giorni nostri queste piattaforme sono state utilizzate con scopi militari, con livelli di tecnologia e performance sempre più elevati. Oggi però assistiamo all'impiego degli UAV anche in ambiti non militari: troviamo i droni per uso ricreativo, quelli per uso civile e quelli utilizzati a sostegno di svariate attività dell'uomo (agricoltura, rilevamento, mappature varie, ispezioni, attività di soccorso e sicurezza e altri fenomeni per cui risulta difficoltoso l'accesso al sito in sicurezza). A tal proposito i droni si stanno rivelando molto utili nel caso di monitoraggio e analisi multi-temporale di Beni Architettonici in contesti considerati a rischio⁶². Altro dato interessante riguarda il fatto che l'impiego degli UAVs a fini conoscitivi e d'indagine nel settore della Geomatica è in costante crescita, grazie alla diffusione dei sistemi di automazione del processo fotogrammetrico (SfM) e alla facile reperibilità sul mercato, a prezzi sempre più sostenibili, di tale strumentazione.

⁶⁰ Chiabrandò, F., Lingua, A., Maschio, P., Rinaudo, F., Spanò, A., *Mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo per il rilievo fotogrammetrico in ambito archeologico*, Maggio 2012, p.2.

⁶¹ Ronconi, G.B.A., Batista, T.J., Merola, V., *The utilization of unmanned aerial vehicles (UAV) for military action in foreign airspace*, 2014, p.139.

⁶² Chiabrandò, F., Di Lolli, A., Patrucco, G., Spanò, A., Sammartano, G., Teppati Losè, L., *Multitemporal 3d Modelling For Cultural Heritage Emergency During Seismic Events: Damage Assessment Of S. Agostino Church In Amatrice (RI)*. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42, 2017.

4.4.1 Principi di funzionamento

Nella fotogrammetria aerea, analogamente a quella terrestre di cui si è trattato in precedenza, è fondamentale rispettare il *principio della collinearità* avendo sotto controllo i parametri di orientamento interno ed esterno della camera di presa. Per quanto riguarda i primi non vi sono differenze rispetto a quanto affermato per la fotogrammetria terrestre, mentre differiscono solamente i parametri di orientamento esterno, in quanto delle sei variabili precedenti si ritrovano soltanto le coordinate relative al centro di presa (X_0, Y_0, Z_0) mentre cambiano quelle degli angoli di rotazione (ω rollio, φ beccheggio, κ deriva).

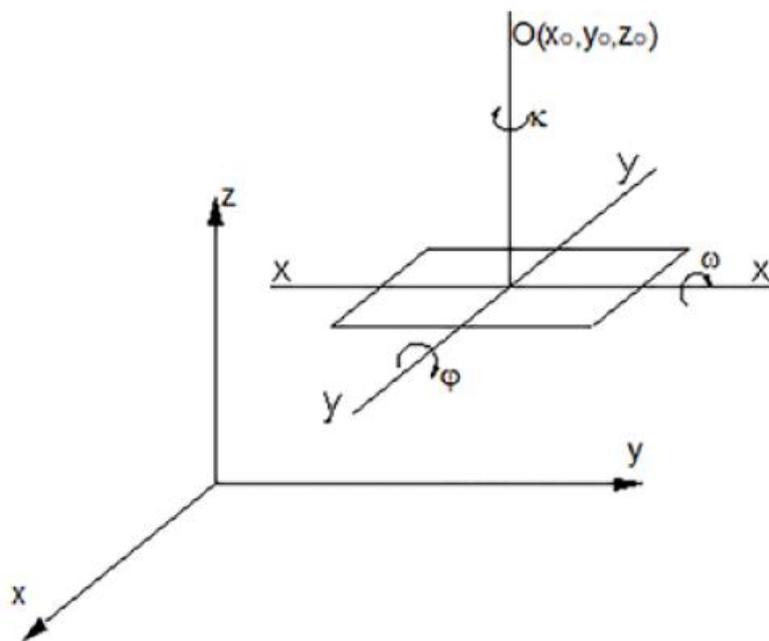


Figura 29: Schema dei parametri relativi all'orientamento interno di una camera montata su un velivolo.

Fonte: Kraus, K., 1994.

Uno degli aspetti fondamentali su cui si basa la fotogrammetria aerea, come quella terrestre, è rappresentato dal ricoprimento (*overlapping*), ovvero sulla necessità che una parte dell'oggetto fotografato sia visibile almeno su due fotografie differenti. Fondamentale a tal proposito risulta essere la fase della pianificazione del volo da parte dell'operatore, il quale ha il compito di

studiare le migliori traiettorie a linee parallele (strisciate) per ricoprire interamente l'oggetto o l'area del rilievo. Non va dimenticato però che, in linea generale, il pilota deve sempre garantire la *Sicurezza del Volo* (SV), assicurandosi di evitare danni a persone o cose intervenendo anche in prima persona alla guida del mezzo qualora fosse necessario. In molti casi infatti viene preferito il volo manuale a quello programmato: questo capita specialmente nei casi in cui l'oggetto del rilievo non presenta dimensioni proibitive e quindi le operazioni da effettuarsi con il mezzo risultano essere poche e semplici, oppure quando ci si trova in potenziali o reali situazioni di emergenza (ostacoli, mal funzionamento del mezzo, perdita del segnale del radiocomando, perdita del segnale GPS, basso livello di tensione della batteria, perdita della funzionalità della centralina ecc.)⁶³. Va inoltre ricordato il fatto che anche in operazioni di volo pianificate, qualora lo si ritenesse opportuno, l'operatore è in grado in qualsiasi momento di prendere il controllo manuale del drone (modalità *Loiter*⁶⁴) oppure imporre al drone di tornare al punto di partenza (modalità *RTL*, *Return To Launch*).

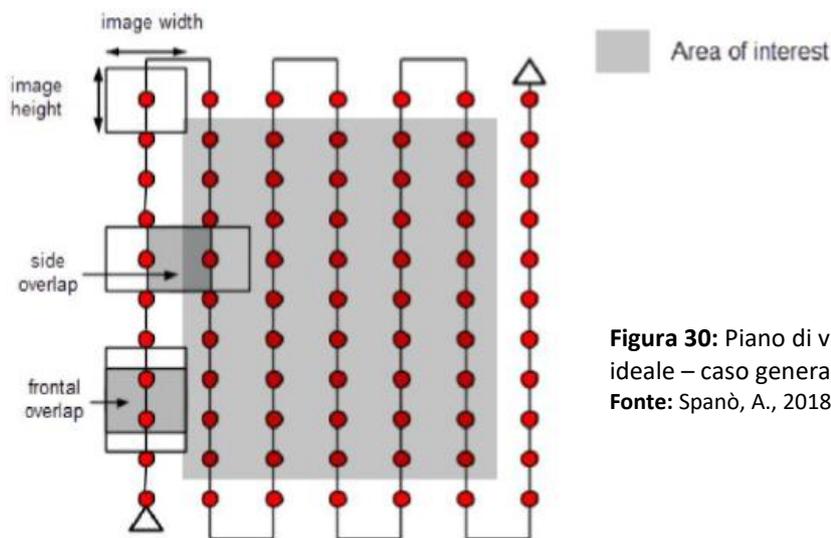


Figura 30: Piano di volo ideale – caso generale
Fonte: Spanò, A., 2018.

⁶³ De Meis, G., *Manuale sull'impiego dei droni*, Phasar Edizioni, Firenze, 2018, pp.191-242.

⁶⁴ La modalità *Loiter* il mezzo tende a rimanere in posizione stazionaria (grazie al GPS) permettendo al pilota di agire manualmente sul radiocomando. Fonte: De Meis, G., 2018.

Per migliorare poi il livello di precisione e accuratezza del rilievo si è soliti effettuare ulteriori voli con traiettorie perpendicolari alle precedenti. Vi sono poi casi in cui l'asse della telecamera viene configurato in posizione inclinata, specialmente nel caso di oggetti complessi o siti che presentano strutture di altezza notevole⁶⁵. In casi come questo è opportuno effettuare dei voli circolari con la fotocamera inclinata a 45° rispetto all'oggetto del rilievo, anziché in posizione nadirale (camera posizionata perpendicolarmente al suolo). Dall'integrazione tra strisciate nadirali ed oblique si ha la possibilità di garantire un'elevata accuratezza del rilievo, al fine di ottenere una copertura stereoscopica tra i fotogrammi intorno al 70-80 %. Specialmente nel caso degli edifici, per rendere le facciate visibili è necessario effettuare un volo inclinato con inclinazioni della camera comprese tra i 10° e i 35°, oltre al fatto che ad una presa aerea è sempre utile sommarne una terrestre, al fine di migliorare i dettagli dell'oggetto rilevato⁶⁶.

Ulteriori fattori determinanti per la corretta riuscita di un rilievo per mezzo di UAVs sono legati alla qualità fotografica delle prese, la definizione prima del decollo dell'adeguata quota e velocità di volo, una corretta base di presa (spazio che intercorre tra un centro di presa ed il successivo, come mostrato in Fig.31) ed infine il numero di fotogrammi che si ha intenzione di catturare.

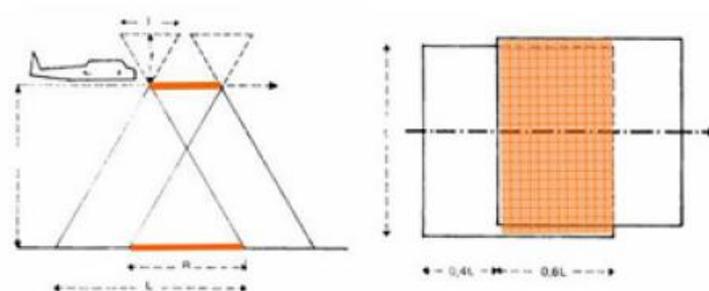


Figura 31: Base di presa da garantire in un rilievo aereo-fotogrammetrico.

Fonte: Kraus, K., 1994.

⁶⁵ Chiabrando, F., Lingua, A., Maschio, P., Teppati Losè, L., *The influence of flight planning and camera orientation in UAVs Photogrammetry. A test in the area of Rocca San Silvestro (LI), Tuscany, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2017 ,pp.163-170;

⁶⁶ Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, *Fotogrammetria digitale*, 2018, p.28.

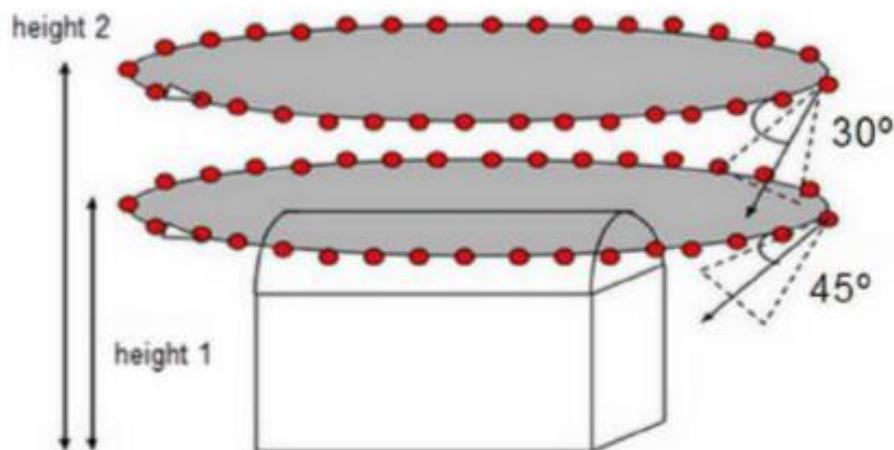


Figura 32: Presa aerea ideale per la restituzione 3D degli edifici.
Fonte: Spanò, A., 2018.

Di fondamentale importanza è anche in questo caso la definizione a priori della rete topografica di appoggio a terra su un sistema di coordinate assoluto (GPS/GNSS), il quale servirà per il passaggio della rototraslazione dei modelli stereoscopici, ovvero la loro messa in scala e l'assegnazione delle coordinate Nord, Est e Quota⁶⁷. La *triangolazione aerea* permette di effettuare tale operazione di rototraslazione, e consiste in un processo che permette di ridurre di molto le acquisizioni da terra e semplificare la fase dell'orientamento, appoggiandosi ad un sistema di coordinate assolute di punti planoaltimetrici individuati nel primo e nell'ultimo modello stereoscopico della strisciata, e altimetrici presenti nelle zone di ricoprimento interne alle strisciate. La triangolazione aerea può essere eseguita secondo due modalità differenti:

- **Per modelli indipendenti.** Si fa riferimento ad un blocco stereoscopico, dove in una prima fase ogni modello stereoscopico viene preso singolarmente e rototraslato secondo un sistema di coordinate relative; successivamente vengono presi tutti i modelli per essere scalati e orientati secondo un sistema di coordinate assolute, di modo che tra due modelli stereoscopici ci sia un punto in comune con le stesse coordinate assolute, e che in un modello ci sia un punto di appoggio generico con coordinate assolute Nord, Est e Quota;

⁶⁷ Perri, S., *Metodi di rilievo metrico 3D multiscala per il patrimonio costruito. Applicazioni aeree e terrestri in differenti scenari*, tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018, rel. Prof.ssa A. Spanò.

- **A stelle proiettive.** In questo caso non ci si basa più su un blocco stereoscopico, ma su un blocco di raggi chiamato *stella* proiettiva, il quale è in grado di proiettare i singoli punti immagine sui fotogrammi.

Ogni punto topografico a terra, che rappresenta la rete topografica di appoggio, è opportuno che sia visibile in diversi fotogrammi al fine di ottenere le corrette equazioni di collinearità.

4.4.2 Classificazione ed impiego degli UAVs

In ultima analisi questi velivoli possono essere classificati in base al loro possibile utilizzo da cui si ricavano tre categorie distinte: *Tactic, Strategic Special Purpose*.⁶⁸ A loro volta queste classi sono suddivise in sottocategorie in base alle caratteristiche e alle prestazioni degli UAV presi in considerazione. La categoria *Tactic*, e in modo particolare le sottocategorie *Micro* e *Mini*, risultano essere quelle maggiormente utilizzate per le operazioni di rilievo del patrimonio architettonico esistente.⁶⁹

Viene di seguito riportata una tabella dove vengono elencate le suddette categorie con le relative caratteristiche.

Tactic UAVs Sottocategorie	Acronimo	Capacità di volo [Km]	Max quota di volo raggiungibile [m]	Autonomia [ore]	Peso [Kg]
Micro	μ (Micro)	< 10	250	1	< 5
Mini	Mini	< 10	150-300	< 2	150
Close Range	CR	10-30	3000	2-4	150
Short Range	SR	30-70	3000	3-6	200
Medium Range	MR	70-200	5000	6-10	1250
Medium Range Endurance	MRE	> 500	8000	10-18	1250
Low Altitude Deep Penetration	LADP	> 250	50-9000	0,5-1	350
Low Altitude Long Endurance	LALE	> 500	3000	> 24	< 30
Medium Altitude Long Endurance	MALE	> 500	14000	24-48	1500

Tabella 4: Classificazione degli UAVs *Tactic* a cura della *Unmanned Vehicle Systems International Association*, con evidenziazione delle sottocategorie *Micro* e *Mini*.
Fonte: Chiabrando, F., et al., 2012, p.3.

⁶⁸ Tale classificazione è stata redatta dall'*Unmanned Vehicle Systems International Association*.

⁶⁹ Chiabrando, F., et al., 2012, p.3.

L'utilizzo delle immagini satellitari, di riprese fotogrammetriche da aeromobili o UAV permettono di ricavare, a seguito di strisciate nadirali, restituzioni stereoscopiche o elaborati di nuova generazione come le ortofoto e rilievi superficiali del territorio, quali DTM (*Digital Terrain Models*), DEM (*Digital Elevation Models*) e DSM (*Digital Surface Models*)⁷⁰. Questi modelli si differenziano sia per il formato dei dati (vettoriale o raster), sia per la tipologia di superficie che descrivono. In particolare il DTM è un formato vettoriale di punti, di coordinate note in un sistema cartografico arbitrario, in grado di descrivere le caratteristiche morfologiche ed altimetriche del terreno; il DEM invece rappresenta un'immagine raster in cui ogni pixel assume determinate informazioni altimetriche e una precisa posizione nel piano o nello spazio, legata a coordinate cartesiane in un sistema di riferimento prestabilito; il modello DSM invece oltre al terreno descrive anche gli elementi naturali e antropici presenti sul territorio⁷¹. Solitamente elaborati di questo tipo vengono oggi utilizzati a scala territoriale, con la finalità di integrare ed aggiornare i dati cartografici a media e grande scala (1:5000-1:1000).

Voli fotogrammetrici mediante UAVs vengono sempre più efficacemente utilizzati per ricavare informazioni a quote più basse delle precedenti (scala 1:50-1:100) in aree più circoscritte e puntuali, fino ad arrivare alla scala architettonica, al fine di ottenere un rilievo di dettaglio. Solitamente in questi casi vengono utilizzati dei droni appartenenti alla categoria *Tactic-Micro*, ovvero dal peso inferiore ai 5Kg.

⁷⁰ Spanò, A., 2013, p.84.

⁷¹ Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, *Fotogrammetria digitale*, 2018, p.7-8.

4.5 Sistemi a scansione (LiDAR Technology)

Il continuo progredire della tecnologia digitale ha portato un sostanziale cambiamento nel modo di registrare i dati spaziali durante le operazioni di rilievo. A tal proposito “fra le innovazioni che hanno contribuito a tale mutamento di scenario va segnalato soprattutto, alla fine degli anni '90, l'ingresso dei sistemi di scansione accanto ai metodi più consolidati quali la topografia e la fotogrammetria.⁷²

La tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) è una particolare tecnica di rilevamento che permette l'acquisizione, indistinta ed in tempi molto rapidi, di una grande quantità di punti di una geometria complessa con un grado di precisione elevato. Per mezzo di uno scanner 3D si ha la possibilità di rilevare indistintamente tutto ciò che rientra nella sua visuale dello strumento, fornendo le misure di distanze ed angoli, informazioni sulla riflettanza, sul colore e sulla direzione normale di ogni punto rilevato. L'output finale sarà una nuvola contenente una quantità elevata di punti con coordinate tridimensionali X,Y,Z calcolate rispetto al centro dello strumento⁷³.



Figura 33: Immagine raffigurante la nuvola di punti della Piazza S. Benedetto di Norcia.

⁷² Sacerdote, F., Tucci, G., “Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio”, 2007, p. 11.

⁷³ Russo, M., Remondino, F., Guidi, G., *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in *Archeologia e Calcolatori*, n.22, 2011, p.170.

Conosciuta più comunemente come tecnica *laser scanning*, essa deriva dal metodo della misurazione delle distanze per mezzo di onde elettromagnetiche, procedimento molto simile a quello utilizzato dai distanziometri delle stazioni totali. Questa tecnica prende il nome dalla sorgente che è alla base del processo di scansione, il raggio LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), un fascio luminoso che viene proiettato dallo strumento a grande distanza, con estrema direzionalità ed intensità, in grado, una volta intercettata la superficie da rilevare, di ritornare alla fonte da cui è stata emessa⁷⁴.

Tali strumenti sono paragonabili alle stazioni totali motorizzate ad elevata automazione, in quanto anch'essi sono dotati di uno strumento in grado di misurare punti in coordinate sferiche rispetto al centro strumentale. L'utilizzo della tecnologia laser però ribalta completamente la sequenza logico-operativa propria delle metodologie tradizionali legate al rilievo e da qui ne deriva una differenza sostanziale tra questi sistemi e i rilevamenti topografici effettuati con stazione totale. Durante il loro svolgimento il metodo consolidato prevede una fase preliminare di interpretazione dell'oggetto da rilevare che, per esempio nel caso delle stazioni totali dotate di cannocchiale per la collimazione, permette la scelta di quali punti misurare e quali invece scartare; la fase successiva sarà improntata sull'effettiva procedura di misurazione. Con la strumentazione laser invece il metodo è differente, in quanto il procedimento iniziale prevede l'acquisizione diretta ed indistinta di una quantità considerevole di punti, ovvero tutti quelli che sono intercettati dal raggio laser dello strumento. Solamente in un secondo momento, quando i dati verranno processati, si effettuerà un'operazione di filtraggio di queste informazioni catturate indistintamente in base agli obiettivi previsti dall'operatore per quel determinato rilievo.⁷⁵ La rilevazione dei punti inoltre non è controllata direttamente dall'operatore, ma egli potrà soltanto pianificare l'attività, conoscendo la finestra utile di scansione del laser (FOV, *Field of View*), il numero di scansioni e i punti precisi in cui verranno effettuate.⁷⁶ Il risultato finale permette quindi di ottenere un insieme di scansioni acquisite da differenti punti di vista, con un livello di dettaglio elevato, le quali necessitano di essere registrate a posteriori le une con le altre. Quest'ultimo procedimento verrà ampiamente descritto nel capitolo 7.

⁷⁴ Spanò, N., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, "*Sistemi a scansione. LiDAR Technology*", 2018, p.4-7.

⁷⁵ Ivi, p.3 e p.21.

⁷⁶ Bartolucci, D., "*Principi di laser scanning 3D*", D. Flaccovio Editore, Palermo 2009.

4.5.1 Tipologie di strumenti laser

Esistono differenti tipologie di sistemi a scansione laser e a tal proposito si è soliti differenziare i vari laser scanners in base ai principi operativi di funzionamento, da cui derivano le seguenti due grandi categorie:

- Triangulation based scanners
- Ranging scanners

4.5.1.1 Triangulation based scanners

Gli scanner triangolatori sono sistemi a scansione che possono raggiungere livelli di precisione ancora più elevati, con un grado di risoluzione fino al decimo di millimetro ed un'incertezza di misura di poche decine di micron. Per ovvie ragioni questi sistemi lavorano con un range operativo limitato in genere entro i due metri.⁷⁷ Esistono due soluzioni operative per quanto concerne il loro utilizzo:

- **Soluzione a camera singola.** Un trasmettitore invia un impulso laser che dopo essere stato riflesso da uno specchio colpisce l'oggetto. Lo specchio è fissato all'estremo di una base meccanica che ruota di un angolo variabile con passo stabilito, mentre all'altro estremo della base è posizionata una camera fissa CCD che lo riprende. La posizione del punto sulla superficie viene ricavata facilmente in quanto è noto il cateto relativo alla base meccanica e i due angoli adiacenti.
- **Soluzione a due camere.** A differenza del precedente procedimento in questo caso il ricevitore è collocato in posizione intermedia ed al posto dello specchio vi è una camera. Il raggio laser colpisce l'oggetto in un punto realizzando una scansione regolare mentre il segnale viene catturato dai sensori CCD delle camere poste agli estremi della base fissa. Per ricavare le coordinate del punto il principio è analogo all'intersezione in avanti da base nota in topografia.⁷⁸

⁷⁷ Russo M., et al., 2011, p.174-175.

⁷⁸ Spanò, N., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, "Sistemi a scansione. LiDAR Technology, 2018, p.19-20.

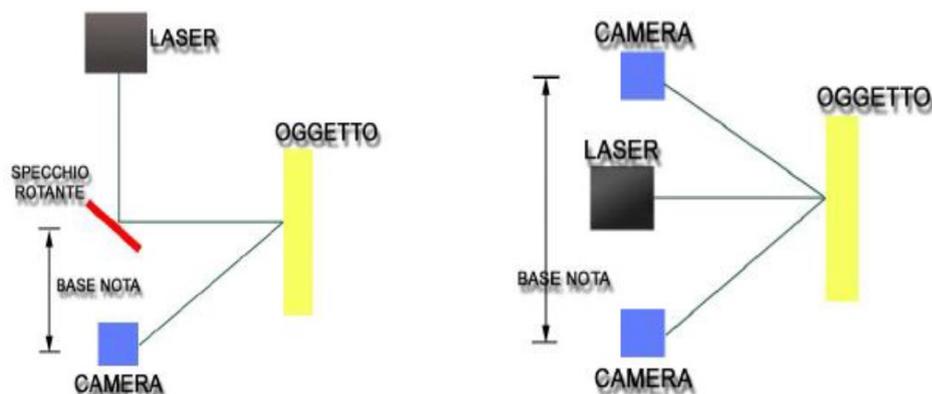


Figura 34: Schema che raffigura il metodo a camera singola prima e a camera doppia dopo per l'acquisizione delle coordinate spaziali di un punto in sistemi triangolatori.

Fonte: Spanò, N., 2018, pp.19-20.

4.5.1.2 Ranging scanners

I Ranging scanners, noti anche come sistemi distanziometrici, sono quelli maggiormente utilizzati nei rilievi architettonici e del territorio ed offrono una vasta gamma di applicazioni in base al tipo di rilievo da effettuare. Essi hanno un funzionamento simile alle stazioni totali tradizionali, ma con un maggiore livello di automazione. Ogni punto e le sue relative coordinate spaziali rispetto al centro strumentale vengono determinate mediante la lettura diretta di due angoli ed una distanza. Questi strumenti basano la misura di tale distanza sul principio del *Time of Flight* (TOF) oppure sul metodo della *comparazione di fase*. Il principio del TOF permette di misurare il tempo di volo che trascorre tra l'emissione del raggio laser, riflessa dall'oggetto, e il momento del ritorno al sensore. In sostanza quella che viene calcolata è la distanza tra il centro dello strumento e il punto della superficie dell'oggetto colpito dal raggio, in relazione al tempo che intercorre tra la sua emissione e ricezione. Per quanto riguarda invece il metodo della comparazione di fase, il raggio emesso è costituito da un'onda armonica modulata in ampiezza e frequenza che permette di ricavare indirettamente la distanza incognita. Il calcolo si ottiene, una volta nota la lunghezza d'onda dell'onda modulata, misurando la differenza di fase di quest'ultima sia alla partenza che al ritorno, il tutto mediante un comparatore di fase. Il range operativo di questi laser scanners è di media o lunga portata⁷⁹, con precisioni che vanno rispettivamente da un minimo di 2 mm ad un massimo di 2 cm⁸⁰.

⁷⁹ I laser scanners a media portata (60-80 cm/330 m) raggiungono una precisione compresa tra 2mm e 1cm, mentre i laser scanner a lunga portata (50-1000 m) raggiungono una precisione di 1-2 cm.

⁸⁰ Spanò, N., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, "Sistemi a scansioni. LiDAR Technology", 2018, p.14-17.

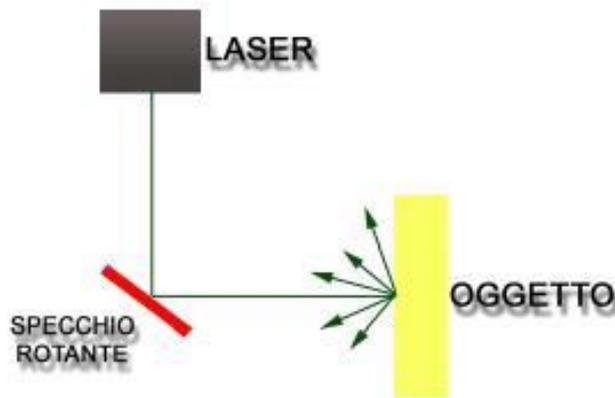


Figura 35: Schema che raffigura il metodo per l'acquisizione delle coordinate spaziali di un punto in sistemi distanziometrici.

Fonte: Spanò, N., 2018, p.16.

Come affermato in precedenza i sistemi distanziometrici sono quelli maggiormente utilizzati nei rilievi architettonici e del territorio ed offrono una vasta gamma di applicazioni in base al tipo di rilievo da effettuare, dalla scala architettonica a quella territoriale e urbana. A seconda delle diverse condizioni operative questi sistemi si differenziano nelle seguenti due categorie:

- **Sistemi a scansione mobile (laser scanner da aerei o elicotteri).** In questi sistemi durante l'operazione di misurazione delle coordinate di un punto, bisogna tenere in considerazione il fatto che lo strumento è in movimento. Perciò esso dovrà essere dotato di un ricevitore GPS e di una piattaforma inerziale, oltre che ovviamente di uno strumento LiDAR. La conoscenza delle posizioni relative tra i tre centri strumentali consentirà di identificare non solo il posizionamento del centro dello strumento di scansione ma anche l'effettiva direzione del raggio di misura, il tutto secondo il sistema di riferimento geocentrico WGS84. In questo modo anche il punto colpito dal raggio, una volta calcolata la distanza, potrà essere determinato nello stesso sistema di riferimento.⁸¹
- **Sistemi a scansione fissi (laser scanner terrestre).**
I sistemi a scansione fissi sono stati ideati per essere utilizzati sia in ambienti interni che esterni e numerosi sono i loro campi di applicazione: architettura, ingegneria, edilizia, pubblica sicurezza ed indagini forensi o progettazione di prodotti. La compattezza e leggerezza di questi strumenti, sommate alla tecnologia touchscreen, li rendono facilmente trasportabili ed intuitivi da utilizzare. Per misurare le distanze con

⁸¹ Sacerdote, F., et al., 2007, p. 18.

precisione millimetrica il laser scanner utilizza un raggio laser che viene riflesso nuovamente verso lo scanner una volta che raggiunge la superficie da rilevare. Il calcolo finale viene elaborato attraverso il cambiamento di fase tra il raggio inviato e quello ricevuto. Lo specchio integrato nel dispositivo dirige il raggio laser in direzione verticale sull'oggetto stesso, in modo che l'angolo possa essere codificato allo stesso tempo della misurazione della distanza. Durante il periodo della scansione il laser scanner ruota orizzontalmente di 360° e l'angolo orizzontale viene calcolato contemporaneamente alla misurazione della distanza. Al termine di questo processo sarà possibile quindi determinare con elevata precisione le coordinate 3D dell'oggetto analizzato, che saranno convertite da coordinate polari (d, α, β) a cartesiane (x, y, z) .

4.5.1.3 Sistemi MMS

Una terza tipologia di sistemi a scansione è inoltre rappresentata dagli MMS, *Mobile Mapping Systems*, i quali sono in grado di combinare strumenti di navigazione e di rilievo. L'azienda che ha investito maggiormente negli ultimi anni nello sviluppo di questa tecnologia è Google, che tramite *Street View* è riuscita ad acquisire i dati necessari a mappare la maggior parte delle città del pianeta, fornendo all'utente un'esperienza immersiva al loro interno, con un notevole incremento di vantaggi per la documentazione del patrimonio⁸². Per poter effettuare tali acquisizioni Google si è servita di differenti tipologie di veicoli, come per esempio macchine, biciclette, barche e slitte da neve, dotate di macchine fotografiche digitali in grado di acquisire immagini ad elevati passi di scatto⁸³, con tempi di esposizione brevi e con sistemi multicamera o panorami a 360°. Questi veicoli sono inoltre dotati di sensori di movimento per il rilevamento della posizione e di laser scanner.⁸⁴

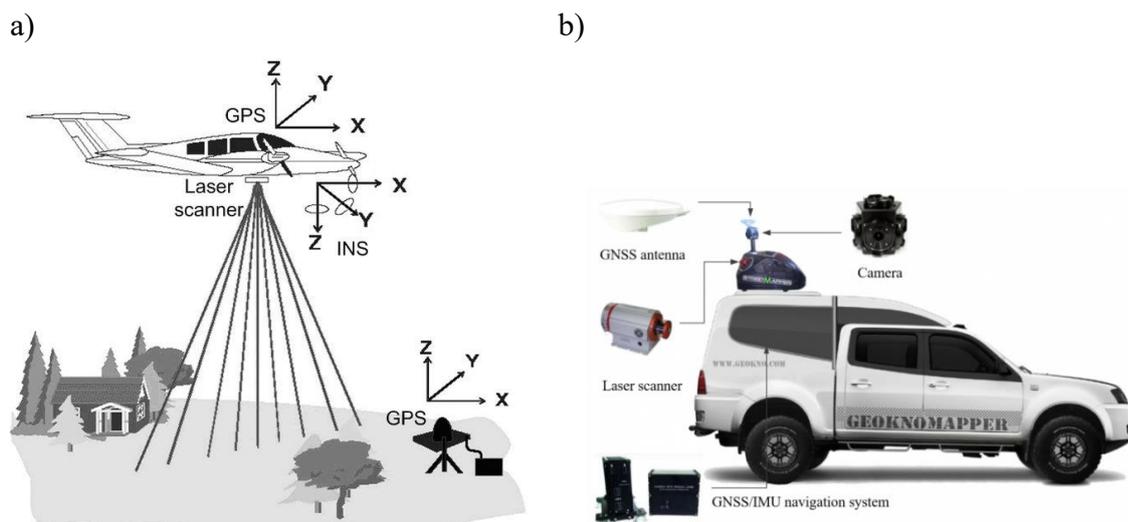


Figura 36: Rappresentazione di un rilievo fotogrammetrico aereo con relative componenti (a) ed esempio di un veicolo su strada utilizzato per mappare il territorio con sistemi LiDAR e GPS(b).

Fonte: K.I. Bang, *Alternative methodologies for LiDAR System calibration.*, PhD Thesis, 2010.

Specialmente negli ultimi anni i sistemi di navigazione mobile equipaggiati ai veicoli sono stati utilizzati per coprire vaste aree del territorio ed ottenere come output finali delle nuvole di punti dense, dall'elevato numero di dati geometrici e radiometrici. In tal senso l'utilizzo maggiore di questi strumenti è da riscontrarsi nei rilievi dei centri urbani, con particolare riferimento alle

⁸² Spanò, A., *Versatilità di metodi e tecniche della Geomatica per la documentazione del patrimonio costruito. Approcci sostenibili per la valutazione sismica*, in *Patrimonio architettonico e rischio sismico. Un percorso tra conoscenza e obiettivi di conservazione*, R. Ientile, M. Naretto, CELID, 2013, p.89.

⁸³ Si parla di 7-15 scatti al secondo per questi dispositivi.

⁸⁴ Spanò, A., *Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, "Sistemi a scansione. LiDAR Tecnologia"*, 2018, p.9-10-11.

città storiche, caratterizzate da un elevato livello di complessità e dal tessuto edilizio estremamente eterogeneo. Un rilievo per mezzo di sistemi MMS, se integrato con i dati provenienti da acquisizioni di altro tipo (sia terrestri che aeree), può contribuire in maniera consistente alla ricostruzione 3D del territorio, costituendo la prima risorsa di dati ed informazioni geometriche da cui gli approcci di tipo *3D City Modelling* possono attingere⁸⁵.

La tecnologia LiDAR appena descritta ha rivoluzionato il modo di svolgere e concepire il rilievo architettonico e del territorio. Negli ultimi anni inoltre sono notevolmente aumentati gli studi e i finanziamenti per migliorare ed implementare tale strumentazione. A tal proposito un esempio significativo è rappresentato dalla nuova tecnologia SLAM, una tecnica di rilevamento 3D mobile e portatile che permette all'operatore di acquisire scansioni in movimento.

4.5.2 La tecnologia SLAM

Negli ultimi anni, numerose ricerche connesse con gli MMS sono state effettuate nel tentativo di migliorare questi sistemi e trovare delle soluzioni ancora più performanti che potessero essere impiegate in particolare nei settori connessi al rilevamento del Cultural Heritage (CH). Per quanto questi sistemi multi-sensore basati sulla tecnologia LiDAR offrano, come spiegato in precedenza, l'opportunità di effettuare rilievi 3D di ampi e complessi spazi, spesso si rivelano essere una soluzione tecnologica costosa, formata da apparecchiature differenti e dalla difficile gestibilità. In tal senso la Geomatica offre continue soluzioni innovative a supporto di una documentazione multi-scala del patrimonio costruito, fornendo soluzioni integrate e personalizzate in base alle diverse esigenze che possono sorgere nei vari contesti di utilizzo, sia che si parli di spazi aperti o chiusi. Un approccio di questo tipo risulta fondamentale quando per esempio le aree oggetto delle operazioni di documentazione e monitoraggio si rivelano di difficile accesso, o semplicemente laddove la possibilità di utilizzare le consolidate tecniche di rilevamento 3D sarebbe limitata o insufficiente⁸⁶.

Per quanto riguarda la documentazione di complessi spazi legati al patrimonio costruito sono stati studiati, proposti e sperimentati negli anni diversi approcci basati su sistemi di misurazione *image-based* e *range-based*. Questi due differenti sistemi presentano caratteristiche e

⁸⁵ Sammartano, G., Spanò N., *Point clouds by SLAM-based Mobile Mapping Systems: accuracy and geometric contents validation in multi-sensor survey and stand-alone acquisition*, A. Appl Geomat, 2018, p.2, DOI: 10.1007/s12518-018-0221-7.

⁸⁶ Sammartano, G., et al., 2018, pp.1-2.

problematiche differenti dal punto di vista operativo: da un lato gli MMS basati su un sistema *range-based* presentano debolezze sia dal punto di vista della sostenibilità economica, sia per ciò che concerne la raccolta e l'associazione di informazioni radiometriche; dall'altro lato la ricostruzione fotogrammetrica basata su di un sistema *image-based*, legata all'orientamento della camera e alla corrispondenza delle immagini, risulta più competitiva sull'aspetto costi-benefici, ma non ancora totalmente affidabile dal punto di vista prestazionale, della calibrazione della fotocamera a basso costo, della sincronizzazione multi-camera ecc.⁸⁷ Tuttavia dall'utilizzo di queste tecniche e sensori si possono ottenere delle nuvole di punti dalle quali è possibile ricavare un modello multi-scala e multi-contenuto, in grado di velocizzare e agevolare lo studio delle geometrie, dei volumi e di tutte le componenti dell'oggetto rilevato.

In particolare, per quanto riguarda il settore dei sensori *range-based*, la più recente e performante tecnologia di *rapid mapping* ad alte prestazioni, con caratteristiche di portabilità e compattezza, è rappresentata da un sistema MMS portatile basato sull'algoritmo SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*), chiamato Scanner ZEB di GeoSLAM. Questo tipo di dispositivo è in grado di acquisire i dati dai sensori posizionati al suo interno al fine di riprodurre sotto forma di nuvola di punti l'ambiente in cui è inserito. Il sistema è composto da un registratore di dati provvisto di batteria, il quale viene collegato ad un dispositivo rotante impugnato dall'operatore e da un software per il processamento dei dati di output (Fig.37).



Figura 37: Sistema Zeb REVO RT.
Fonte: Sammartano, G., et al., 2019.

I dati vengono acquisiti per mezzo di un laser Hokuyo ULM-30LX, accoppiato ad un sensore IMU (*Inertial Measurement Unit*), giroscopi triassiali, accelerometri e magnetometri a tre assi.

⁸⁷ Sammartano, G., Spanò, A., Teppati Losè, L., *A fusion-based workflow for turning slam point clouds and fisheye data into texture-enhanced 3d models*, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W17, 295–302, 2019, p.1, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W17-295-2019.

Le informazioni relative alla posizione geografica non vengono ricavate tramite l'uso del GNSS, ma attraverso la stima della traiettoria calcolata dagli algoritmi SLAM. Discorso analogo per i dati RGB relativi al colore, i quali non vengono rilevati dai sensori dello strumento.

Durante l'operazione di rilievo il dispositivo allinea in maniera consecutiva i profili estratti dall'ambiente, i quali vengono proiettati in tempo reale su un dispositivo separato durante la camminata dell'operatore, il quale deve avere l'accortezza di terminare il rilievo nel punto esatto dal quale è partito (fondamentale per l'allineamento della nuvole di punti). Una prima valutazione dei risultati avviene in *real time*, nel momento in cui sta avendo luogo l'operazione di rilievo, ed una alla fine quando l'algoritmo SLAM elabora i primi dati grezzi. Non sempre assistiamo ad un allineamento corretto e ad una chiusura perfetta del percorso e ciò può derivare da diversi fattori:

- Ambienti poco riconoscibili e regolari;
- Presenza di oggetti in movimento durante la scansione (persone, macchine, porte o finestre che si aprono, ecc.);
- La scena e l'ambiente rilevato cambiano troppo velocemente con relativo posizionamento errato tra ambienti consecutivi;
- Errori dettati dall'inesperienza dell'operatore.

Quando invece le operazioni di scansione vengono eseguite perfettamente il risultato finale è composto da due differenti nuvole di punti: una rappresenta la ricostruzione 3D dell'ambiente rilevato e l'altra la traiettoria seguita dall'operatore per generarlo. Entrambi i dati possiedono informazioni relative al tempo di acquisizione, fattore che permette di verificare attraverso un range di colori per la traiettoria, la qualità delle registrazioni⁸⁸. Dal 2017 la casa produttrice GeoSLAM ha inoltre inserito all'interno del software per il processamento delle nuvole alcune funzionalità che permettono all'operatore di combinare più scansioni tra di loro. Questo accade per esempio in rilievi di spazi di notevole dimensione che obbligano l'operatore ad effettuare diverse scansioni in tempi diversi. Esse possono essere combinate tra loro e collocate spazialmente per mezzo di un processo di fusione in cui l'algoritmo SLAM ricalcola ciascuna scansione, senza alcuna trasformazione rigida. Questo permette di sfruttare le parti che si

⁸⁸ Sammartano, G., et al., 2018, p.4.

sovrappongono delle scansioni contigue nella successiva fase di allineamento, e questo è il motivo per cui si raccomanda sempre di avere il giusto livello di *overlapping* tra le scansioni⁸⁹.

In conclusione se da un lato si evidenziano vantaggi come la portabilità, manovrabilità, peso e accuratezza nel rilievo sia degli spazi interni che esterni di pochi centimetri (errori di 1-3 cm stimati dalla casa produttrice), dall'altro anche questo sistema presenta dei punti critici che necessitano di ulteriori studi e sperimentazioni per essere ovviati. Ciò è dimostrato dal fatto che il processo di associazione dei dati radiometrici sia ancora in fase di sviluppo e gli output finali mancano di dati completi RGB ad alta definizione. Pertanto si evince come sia necessaria l'integrazione di dati provenienti da altri metodi di acquisizione per aggiungere l'informazione ad esempio del colore. In seguito a queste considerazioni appare chiaro come ad oggi tali sistemi di mappatura mobile necessitano di essere integrati dai metodi di rilievo 3D consolidati, come la fotogrammetria terrestre e aerea e i sistemi a scansione laser terrestri, per ottenere la ricostruzione 3D ottimale di un manufatto o di un ambiente, sia esso interno o esterno.

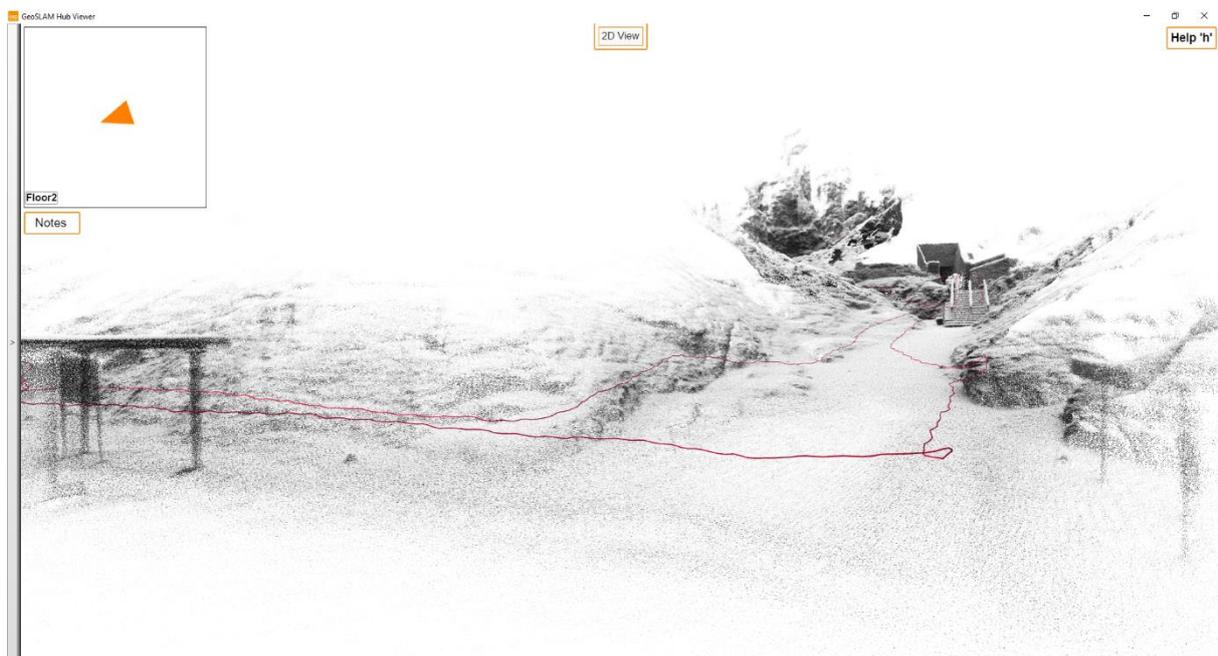


Figura 38: Scansione SLAM nella Valle dei Re (Kingdom Valley, Egitto).

Fonte: Team DIRECT Politecnico di Torino.

⁸⁹ Sammartano, G., et al., 2019, p.4.

4.5.3 Georeferenziazione delle scansioni

Uno degli errori più comuni e allo stesso tempo più grave che si possa commettere nell'approcciarsi per la prima volta ai sistemi laser scanners è rappresentato dalla convinzione che sia lo strumento a svolgere la maggior parte del lavoro. Tuttavia l'operazione di rilievo non è affatto così semplice ed immediata, in quanto all'operatore non è richiesta la sola supervisione dello strumento, ma anche e soprattutto una programmazione meticolosa delle fasi operative. La sola messa in stazione dello strumento e la scelta arbitraria dei punti da cui effettuare le varie scansioni non implica una corretta restituzione del rilievo, anzi se si segue un workflow di questo tipo il risultato sarà certamente scadente e costellato di errori. Si corre il rischio inoltre di dover ripetere le operazioni di rilievo con il conseguente aumento dei tempi e dei costi. Risulta perciò fondamentale per la corretta riuscita di un rilievo di questo tipo progettare a priori la fase di acquisizione dei dati.

Un corretto iter per la progettazione di una campagna di rilievo mediante laser scanner deve necessariamente considerare:

- la scelta esatta dell'area oggetto del rilievo in cui è presente l'oggetto;
- la determinazione della densità dei punti da rilevare (ampiezza del passo di scansione);
- l'individuazione dei punti di presa nei quali andrà posizionato lo strumento.

Per quanto riguarda il primo punto è evidente che aver sotto controllo la situazione inerente all'area in cui ci si trova ad operare, sapendo la collocazione esatta dell'oggetto, è di fondamentale importanza. L'operatore potrà valutare perciò in maniera ottimale come approcciarsi al rilievo di tale bene in rapporto al contesto, in particolare individuando: geometria dell'oggetto, geometrie limitrofe, eventuali ostacoli presenti nell'area, limiti di proprietà etc. Il secondo punto permette di decidere a priori quale sarà la qualità e la precisione della nuvola di punti alla fine del processo: più la densità dei punti è alta, maggiore sarà la qualità del dato di output in uscita. Infine l'ultimo e determinante passaggio è rappresentato dalla scelta delle stazioni in cui posizionare lo strumento: per ottenere un risultato accettabile e completo si richiede che sia acquisita l'intera superficie di interesse e che sia garantito almeno il 60% di sovrapposizione tra le scansioni adiacenti, con un minimo di tre target in comune.⁹⁰ All'inizio dello sviluppo della tecnologia LiDAR la sovrapposizione tra le scansioni minima da garantire era intorno al 30%, valore decisamente minore rispetto a quello richiesto oggi. In

⁹⁰ Il sovra-campionamento viene definito dal linguaggio tecnico "overlapping".

passato infatti era pressochè necessario l'utilizzo di molti target misurati per via topografica al fine di poter unire successivamente le scansioni secondo un unico sistema di riferimento. Al giorno d'oggi invece, grazie allo sviluppo dei software di registrazione delle nuvole, è possibile allineare le scansioni con strategie differenti, come quella denominata *per forma*, che permette di ridurre notevolmente l'uso di target misurati per via topografica⁹¹. La percentuale di sovrapposizione deve essere studiata per garantire, in fase di registrazione, la rototraslazione di una scansione rispetto all'altra in un unico sistema di riferimento.

Solitamente per eseguire un qualsiasi tipo di rilievo occorre effettuare molte scansioni al fine di acquisire informazioni da angolazioni differenti, necessarie per inquadrare l'oggetto del rilievo nella sua interezza e nel modo più completo possibile. Il risultato consisterà in una nuvola di punti di coordinate note che descrivono la superficie dell'oggetto scansionato, ai quali viene associato un valore di riflettività. A tal proposito in fase di rilievo vengono posizionati opportuni *marker* o *target* sulla superficie stessa dell'oggetto, in modo che da ogni punto di presa siano visibili almeno tre marker. Queste superfici opportunamente riflettenti vengono utilizzate per i seguenti scopi:

- i target possono essere individuati automaticamente sfruttandone il grado di riflettività alla lunghezza d'onda del laser utilizzato;
- i target sono entità rilevabili topograficamente e perciò utili per le successive operazioni di georeferenziazione del rilievo;
- i target possono limitare le zone di *overlap* tra le scansioni se correttamente distribuiti.⁹²

⁹¹ Spanò, A., Donadio, E., Chiabrando, F., *Modelli 3D densi tra esperienze didattiche e ricerche di soluzioni fruibili*, in *Polimia. Studi di archeologia n.8*, 2017, p.85.

⁹² Spanò, A., *Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, "Sistemi a scansione. Acquisizione"*, 2018.

5. INTEGRAZIONE GIS-(H)BIM

5.1 Panoramica sui sistemi GIS

L'uomo nel corso della storia ha sempre sentito il bisogno e la necessità di rappresentare il territorio che lo circondava, inizialmente per una questione di orientamento e dominio dello spazio, successivamente con l'intento di fornirne memoria ai posteri, tramandandone le caratteristiche principali. In questo scenario, dalla necessità di conoscere e dominare, sono nate le prime carte/mappe cartografiche.

In maniera analoga, il sistema GIS (*Geographic Information Systems*) in una delle numerose definizioni viene considerato come “un potente insieme di strumenti in grado di acquisire, immagazzinare, recuperare, trasformare, analizzare e riprodurre dati spaziali riferiti al territorio”⁹³. Il GIS rappresenta infatti un sistema, un modello per la gestione di dati geografici, in grado di rappresentare i fenomeni/oggetti del mondo reale sulla superficie terrestre, con lo scopo di produrre e aggiornare la cartografia numerica. In modo particolare l'acronimo GIS può essere così esplicitato⁹⁴:

- **Geographic.** Sistemi che si basano sulla rappresentazione del territorio realizzate grazie alla memorizzazione del posizionamento geografico degli elementi in essi contenuti (dati spazialmente referenziati);
- **Information.** I dati GIS racchiudono informazioni sotto diverse forme (mappe, immagini, tabelle, relazioni, interrogazioni, statistiche ecc.);
- **Systems.** Un GIS viene considerato come un vero e proprio sistema formato da diverse componenti (hardware, software, dati geografici, risorse umane ecc.), tutte indispensabili per il suo corretto funzionamento.

Da un punto di vista organizzativo quindi si può affermare che il GIS sia formato dall'insieme di persone, software e hardware. Infatti non si può identificare questo sistema solamente con

⁹³ Burrough, P.A., *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey*, No. 12, Oxford Science Publications, New York 1986.

⁹⁴ Rinaudo, F., *Dispense corso GIS e Modellazione per i Beni Culturali, Fondamenti di GIS*, 2017, p.6.

un software, ovvero un sistema operativo con un determinato linguaggio di programmazione in grado di gestire dati di tipo territoriale e spaziale. Il GIS infatti è prima di tutto un sistema pensato e ragionato da esseri umani che conoscono la natura dei dati coinvolti ed il tipo di analisi che intendono effettuare. Da questo si evince come lo scopo principale di questo strumento sia quello di fornire un supporto solido nel prendere determinate decisioni attraverso l'osservazione e l'analisi di un modello del reale. Il GIS diventa quindi un vero e proprio Sistema di Supporto alle Decisioni (DDS).

5.1.1 Le componenti del GIS

La definizione del modello dei dati geografici del GIS avviene a partire dalla cartografia numerica, dalla quale vengono scelti ed isolati i fenomeni/oggetti per mezzo dei quali si intende rappresentare una certa tematica. La rappresentazione del mondo reale avviene quindi con la traduzione dei fenomeni in entità che prendono comunemente il nome di *oggetti*, ai quali verranno assegnati degli attributi che ne descrivano le caratteristiche rilevanti. L'insieme di tali oggetti forma il modello spaziale dei dati. Un sistema di questo genere permette quindi di gestire e controllare le relazioni topologiche e ne permette la tematizzazione degli elementi spaziali con contenuti di diversa natura, gestendo il tutto secondo un sistema di riferimento prestabilito⁹⁵.

Per raggiungere gli scopi di cui si è parlato in precedenza è opportuno che tutti questi dati siano correttamente gestiti ed utilizzati. Da questa esigenza deriva la seguente classificazione dei sistemi GIS, i quali vengono considerati come composti da sei attività⁹⁶:

- **Organizzazione.** Capacità di organizzare un numero elevato di dati eterogenei. Le informazioni vengono organizzate secondo due categorie: informazioni spaziali (geografiche) ed informazioni alfanumeriche (attributi);
- **Visualizzazione.** Capacità di presentare graficamente ed in maniera corretta le informazioni ricavate, ad esempio attraverso la creazione di mappe tematiche rappresentanti situazioni complesse della realtà;

⁹⁵ Surace, L., *La Georeferenziazione delle informazioni territoriali*, in GeoforUS, Geography & Technology Network, 2010;

⁹⁶ Rinaudo, F., 2017, pp. 21-26.

- **Interrogazione.** Ad ogni oggetto della banca dati sono assegnate delle informazioni alfanumeriche e una piattaforma GIS deve permettere la richiesta di visualizzare tali dati. Queste richieste sono di tre tipi: interrogazione sugli attributi (conoscere le caratteristiche di un oggetto), interrogazione spaziale (ottenere informazioni su punti geografici dove avvengono determinate condizioni specificate dall'utente) e interrogazione topologica (domande su distanza, adiacenza, orientamento, contenimento);
- **Combinazione.** Il GIS deve poter garantire la combinazione di informazioni provenienti da fonti differenti e ciò permette di scoprire correlazioni o generare dati derivati. Vi sono due modalità di combinazioni: la prima riguarda la visualizzazione congiunta di tematismi differenti, mentre la seconda interessa la costruzione fisica di temi ottenuti dalla combinazione di altri temi;
- **Analisi.** Un sistema GIS deve essere in grado di fornire delle risposte anche sotto forma di analisi oltre che in maniera visiva, mettendo a disposizione strumenti statistici e di modellazione (ad esempio, a partire dai valori di una variabile rilevati in una serie di punti, si può ricavare una superficie tridimensionale per mezzo di metodi di interpolazione)
- **Predizione.** Rappresenta l'aspetto più complesso ed avanzato del GIS, dove la componente dell'operatore è fondamentale. Permette di fare delle previsioni su scenari futuri e risulta essenziale nel settore della pianificazione territoriale e urbanistica, dell'analisi ambientale, nella valutazione degli impatti, nella gestione di eventi eccezionali ecc.

5.1.2 Il GIS per la gestione delle emergenze

Sono ormai molti i campi della Geomatica che hanno un ruolo fondamentale in operazioni di *Disaster Management* e *Damage Assessment*, grazie soprattutto al fatto che in tal senso vengono utilizzati sistemi di analisi che partono dal contesto territoriale fino ad arrivare a descrivere, con un elevato grado di dettaglio, singoli elementi strutturali. Negli ultimi anni si è infatti assistito alla crescita di sistemi ad alta tecnologia sviluppati per consentire il libero accesso alle informazioni spaziali (geografiche e territoriali), innescando in tutti i paesi del mondo processi per la creazione di vere e proprie infrastrutture di dati geografici⁹⁷. Attraverso la disponibilità di server cartografici e piattaforme WEB-GIS, sono oggi accessibili alla collettività e ai singoli enti amministrativi e cartografici dati spaziali di diversa natura, i quali possono essere utilizzati per ottenere diversi risultati.

In tal senso il Programma Copernicus rappresenta un servizio d'informazione messo a disposizione dalla Comunità Europea per monitorare ed osservare la Terra, sulla base di dati satellitari ed acquisiti in situ. In particolare per la gestione delle emergenze viene messo a disposizione un particolare servizio chiamato EMS (*Emergency Management Service*), utilizzato in supporto alle operazioni di *Disaster Management*. Attraverso l'utilizzo di *Remote Sensing* e/o dati provenienti da rilievi aerei è possibile ottenere mappature rapide di grandi porzioni di territorio (anche e soprattutto in zone ad accessibilità limitata) e con un buon livello di dettaglio (LOD) a scala urbana⁹⁸.

Avere a disposizione dati e carte aggiornate può risultare determinante per la definizione di un contesto territoriale, anche e soprattutto nel caso che questo si trovi a fronteggiare una situazione di emergenza. In uno scenario come quello italiano, che negli ultimi anni è stato colpito da molti eventi catastrofici, in particolare di natura sismica, si sta sempre più sviluppando un'attività di supporto operativo che si basa sulle tecniche topografiche e sull'uso di piattaforme GIS. Per far fronte all'emergenza sono nate quindi delle nuove figure professionali, i topografi applicati al soccorso, figura di elevata specializzazione in grado di

⁹⁷ Spanò, A., 2013, p.86.

⁹⁸ Calantropio, A., Chiabrando, F., Sammartano, G., Spanò, A., Teppati Losè, L., *UAV strategies validation and remote sensing data for damage assessment in post-disaster scenarios*, in International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2018, 42 (3W4), pp. 121-128. DOI: [10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-121-2018](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-121-2018).

coniugare esperienze cartografiche con la realtà del soccorso tecnico urgente, garantendo un supporto decisionale in scenari complessi mediante la redazione di mappature tematiche⁹⁹.

Il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (CNVVF) è ormai da alcuni anni attivo su queste tematiche, rivolgendo molta attenzione alle possibilità offerte dai sistemi GIS in termini di risposta efficiente e tempestiva alle esigenze operative legate a situazioni di emergenza. In questo senso il CNVVF si è dotato di un servizio di *Topografia Applicata al Soccorso* (TAS) guidato da personale specializzato che ha il compito di ricostruire e mappare lo scenario attraverso i vari dati ed informazioni pervenuti direttamente dal cratere emergenziale. A partire dal sisma avvenuto in Abruzzo nel 2009 il TAS è stato in grado di redigere cartografia digitale e mappe tematiche utile a gestire innumerevoli situazioni critiche, fornendo un contributo essenziale per le operazioni sul campo¹⁰⁰. Tra i contributi principali del TAS troviamo:

- Gestione eventi sismici;
- Mappatura dello stato di fatto di fabbricati a seguito di un evento catastrofico;
- Mappatura delle aree inaccessibili o dalla viabilità interdetta;
- Ricerca dispersi e gestione delle fasi di perlustrazione;
- Mappatura dei percorsi effettuati dal personale VF (Vigili del Fuoco) in operazioni di ricerca dispersi;
- Mappatura di siti alluvionati;
- Geolocalizzazione di personale e mezzi VF sul territorio;
- Geolocalizzazione e ricostruzione tridimensionale delle rotte effettuate dagli aerei Canadair impegnati in operazioni di spegnimento incendi;
- Soccorso acquatico.

⁹⁹ Calantropio, A., *L'utilizzo dei Droni per la Sicurezza nei Cantieri e negli Interventi Tecnici in Emergenza Sismica*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città, Politecnico di Torino, 2017.

¹⁰⁰ Cuzzocrea, F., Priori, F., *Le tecniche topografiche applicate al soccorso*, in *GEOMedia* n°3-2014, pp.10-14.

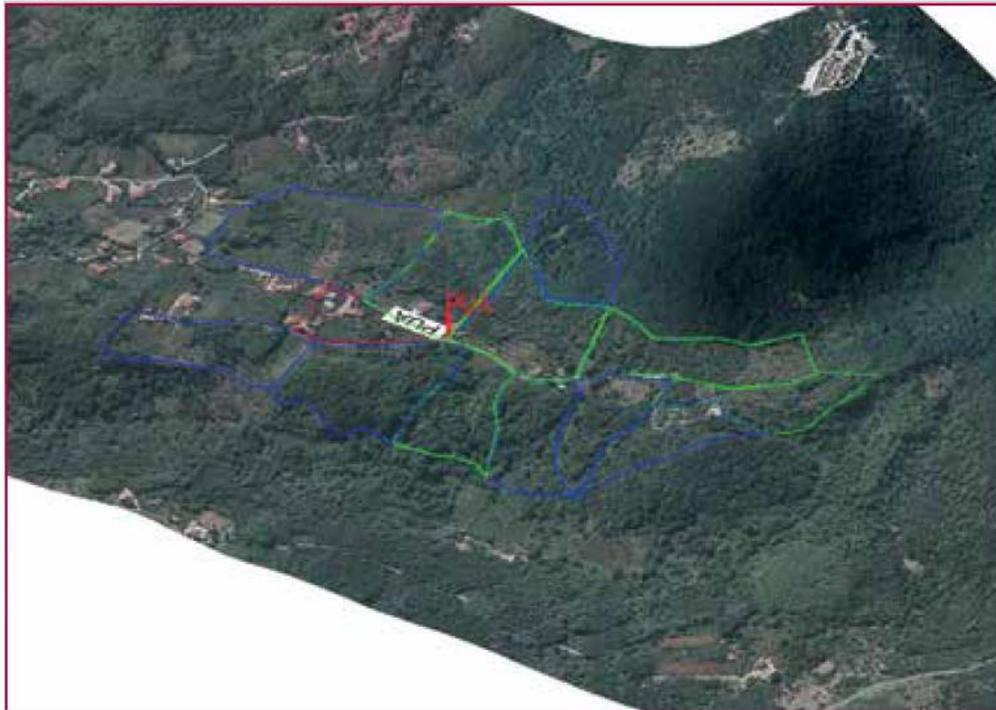


Figura 39: Esempio di elaborazione cartografica raffigurante la zonizzazione delle aree finalizzata alla ricerca di persone disperse.

Fonte: Cuzzocrea, F., 2014.

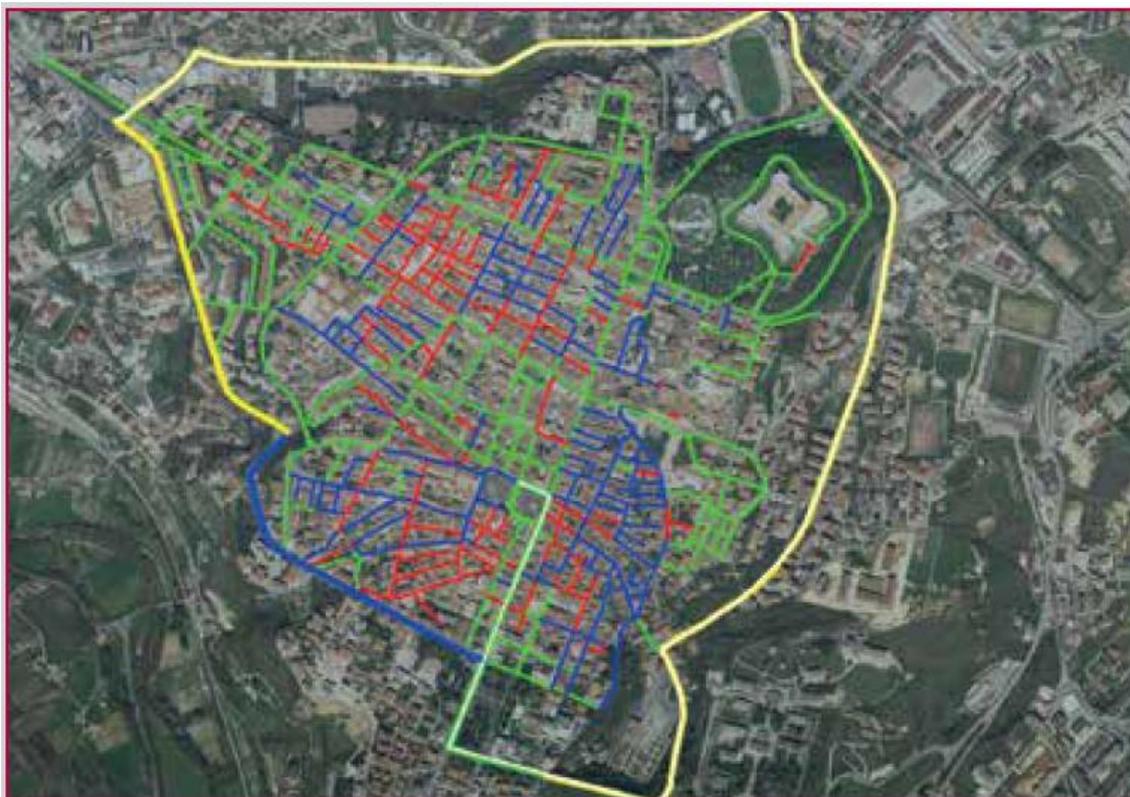


Figura 40: Esempio di elaborazione cartografica relativa alla viabilità del Centro dell'Aquila durante il terremoto del 2009.

Fonte: Cuzzocrea, F., 2014.



Figura 41: Esempio di elaborazione cartografica di un tracciato utile per la localizzazione di persone disperse mediante analisi delle coperture delle celle per la telefonia mobile.

Fonte: Cuzzocrea, F., 2014.

Come accennato in precedenza, il GIS sta offrendo un grande contributo per la gestione di eventi catastrofici come ad esempio quelli di natura sismica. In circa 2.500 anni di storia, l'Italia è stata colpita da oltre 30.000 terremoti di media e forte intensità superiore al IV-V grado della scala Mercalli, e da circa 560 eventi di intensità uguale o superiore all'VIII grado Mercalli. Se pensiamo solo al XX secolo, 7 terremoti hanno avuto una magnitudo uguale o superiore a 6.5 (X e XI grado Mercalli)¹⁰¹. I sistemi GIS possono quindi fornire un supporto fondamentale ai vari organi istituzionali per quanto riguarda le operazioni di *Disaster Management* e *Damage Assessment* legate ad eventi di questo tipo.

Il Dipartimento della Protezione Civile in tal senso utilizza questi sistemi ormai da anni, come avvenuto per esempio per gli eventi sismici del 2016-2017 che hanno colpito il Centro Italia. In quella particolare occasione è stata immediatamente attivata la Di.Coma.C. (*Direzione di Comando e Controllo*) al fine di coordinare e gestire al meglio le attività di emergenza, garantendo assistenza alla popolazione, la ricognizione per quantificare i danni all'edificato e al Patrimonio Culturale in generale, la ricerca di soluzioni abitative nuove o alternative e il ripristino della viabilità¹⁰². Avvenimenti come questo hanno permesso di sperimentare

¹⁰¹ I dati qui riportati sono tratti dalla Sezione *Rischio Sismico-Emergenze* del Sito della Protezione Civile. Fonte: <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/emergenze>.

¹⁰² Esri Italia, *L'impegno della Protezione Civile a un anno dal terremoto in Centro Italia*, 2020. Fonte: <https://www.esriitalia.it/case-history/public-safety/374-protezione-civile-cartografare-l-emergenza>.

dispositivi GIS con l'obiettivo di permettere la libera circolazione e fruizione delle informazioni, sia tra gli addetti ai lavori che tra la popolazione, che per mezzo di navigatori sul web possono avere accesso a tali dati. La Protezione Civile, attraverso il suo sito web ufficiale, ha recentemente realizzato una serie di mappe interattive fruibili online, ovvero un *dataset* di dati cartografici costantemente aggiornati che forniscono dei report sulla situazione dei territori colpiti dal sisma. Le principali tematiche affrontate vengono ora riportate nel seguente elenco:

- Dati sulla popolazione dei comuni colpiti dai sismi del 2016-2017;
- Soluzioni abitative in emergenza e localizzazione dei Container abitativi;
- Attività di ripristino della viabilità;
- Caratteristiche dei territori colpiti dagli eventi sismici del 2016-2017;
- Immagini aeree del prima e dopo i terremoti in Centro Italia del 2016-2017.

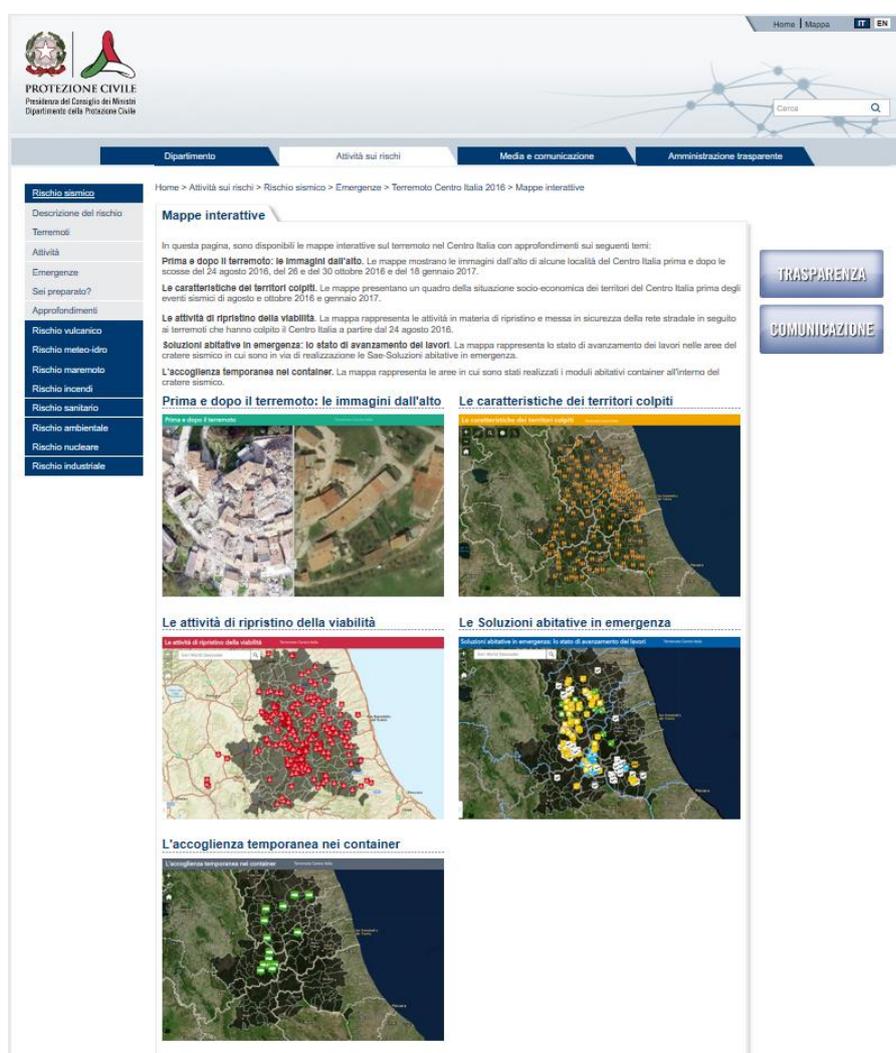


Figura 42: Mappe interattive e cartografia online messa a disposizione sul sito della Protezione Civile a seguito degli eventi sismici del 2016-2017.

Fonte: <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/emergenze/centro-italia-2016/mappe-interattive>.

5.2 HBIM: il BIM applicato al patrimonio storico

Negli ultimi anni stiamo assistendo alla sperimentazione di un approccio di tipo BIM applicato al patrimonio esistente, e per delineare tale particolare ambito di intervento si ricorre all'acronimo HBIM. Questo termine è stato coniato nel 2009 dal Prof.re Maurice Murphy del Politecnico di Dublino, ed il suo significato appare qualche anno più tardi in un articolo da lui pubblicato sulla rivista *INSPIR Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*:

“Historic Building Information Modelling (HBIM) is a novel solution whereby interactive parametric objects representing architectural elements are constructed from historic data, these elements (including detail behind the scan surface) are accurately mapped onto a point cloud or image based survey¹⁰³”.

Da questa definizione appare evidente il fatto che il BIM, tipicamente utilizzato per la realizzazione di progetti ex-novo, ha ormai ampliato il suo tipico raggio d'azione andando ad esplorare anche il mercato dell'esistente. La nuova sfida infatti è rappresentata dalla possibilità di poter modellare organismi edilizi già presenti sul territorio generando un modello digitale parametrico contenente informazioni di vario genere.

Come descritto nei paragrafi precedenti il BIM è stato introdotto per agevolare il processo edilizio e la gestione delle commesse da parte dei professionisti, senza tralasciare il contributo fondamentale fornito da tale processo nella semplificazione dello scambio di dati durante l'iter progettuale. Il suo successo è riconosciuto a livello internazionale, tuttavia resta il fatto che questo metodo in costante evoluzione è stato pensato fondamentalmente per la progettazione del nuovo. Tale aspetto rappresenta una grande limitazione del BIM, soprattutto in un periodo storico in cui il tema della salvaguardia del patrimonio storico e costruito ha assunto grande importanza. Sulla scia di questi limiti e nel tentativo un giorno di superarli completamente, assistiamo oggi a continue sperimentazioni di approcci BIM sul patrimonio esistente, con

¹⁰³ Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S., *Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*. ISPRS J. Photogram. Remote Sensing, 2013, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006.

l'obiettivo non solo di documentare lo stato dell'arte, ma anche in ottica di una manutenzione e progettazione futura degli edifici.

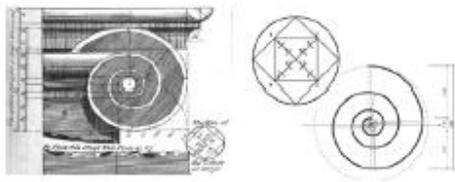
In tale scenario nella UNI 11337:2017 sono stati definiti specifici LOD dedicati al restauro e al recupero degli edifici esistenti. In particolare nella classificazione in lettere che va dalla A alla F è stato recentemente aggiunto il LOD G, il quale esprime la virtualizzazione aggiornata dell'elemento in questione. Tale modello in particolare terrà traccia del dato temporale degli interventi eseguiti sulla base di una stratigrafia storica che tiene in considerazione: datazione delle parti e dei componenti, periodo e date di manutenzione/sostituzione, soggetto manutentore e tipologia di intervento effettuato¹⁰⁴.

5.2.1 Dalla modellazione geometrica all'informazione

Analizzandolo più nel dettaglio, l'HBIM rappresenta un procedimento tecnico per mezzo del quale si costruisce dapprima la geometria di un oggetto a seguito di un accurato rilievo metrico, e solo successivamente ad esso verranno associati gli attributi e le informazioni utili a descriverlo accuratamente (Reverse Engineering).

Il rilievo rappresenta una fase fondamentale per la restituzione grafica di un oggetto esistente, sia esso un edificio o un singolo elemento. Per ottenere quindi un modello digitale che sia il più possibile fedele alla realtà si usano oggi strumentazioni altamente tecnologiche che garantiscono una precisione centimetrica/millimetrica, a seconda del caso, come i laser scanner terrestri e la fotogrammetria aerea e terrestre. Queste tecniche forniscono dei dati sotto forma di nuvole di punti, dalle quali, dopo essere state opportunamente trattate, si procede all'estrazione delle geometrie utili alla creazione di modelli parametrici a cui poi aggiungere valori semantici. Modelli intelligenti di questo tipo, ricchi di informazioni, andranno a formare delle vere e proprie librerie di oggetti, sempre aggiornabili e utili a rappresentare i differenti elementi e tecniche costruttive del patrimonio esistente. HBIM quindi non significa semplicemente applicare il Building Information Modelling a edifici già costruiti, ma applicare un metodo per ottenere un rilievo 3D, ottenuto tramite tecnologie che consentono di generare nuvole di punti dense.

¹⁰⁴ Balzani, M., *BIM, PIM, AIM e il progetto sul patrimonio esistente*, Architetti.com, articolo, 22 Giugno 2017, Web Dic. 2019, Fonte: <https://www.architetti.com/bim-pim-aim-progetto-patrimonio-esistente.html>.



(a) Pattern Book Geometry



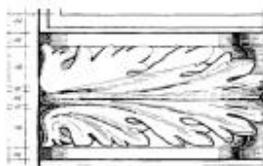
(b) Evolution of Scroll



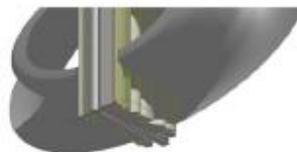
(c) Variation in Scroll



(d) Ionic Capital



(a) Pattern Book geometry

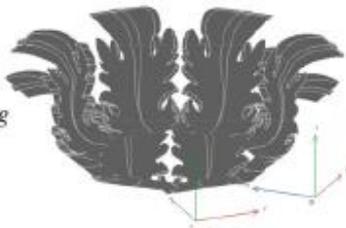


(b) Solid Operation



(c) Leaf Generation

(d) looping



(e) Corinthian capital

Figura 43: Ordini architettonici e loro rappresentazione in ambiente BIM.
Fonte: Murphy, M., et al., 2013.

5.2.2 Scan to BIM

L'ultima generazione di tecniche BIM applicate al patrimonio costruito sono conosciute come "scan to BIM", un particolare approccio che consiste nella creazione di Building Information Model locali, la cui geometria viene ricavata senza ricorrere a librerie di oggetti prestabilite ma creandone di nuove.

Come già accennato nel paragrafo precedente il passaggio da rilievi di tipo bidimensionale a quelli di tipo tridimensionale ha contribuito enormemente allo sviluppo di tecniche come questa. La generazione di nuvole di punti e la loro successiva elaborazione per mezzo di appositi software di modellazione tridimensionale, in grado di importare direttamente le nuvole al loro interno, hanno reso possibile la generazione di building information models caratterizzati da un alto livello di precisione, ed arricchiti da informazioni metriche, grafiche e geospaziali¹⁰⁵. Ogni punto all'interno della nuvola infatti possiede delle coordinate puntuali rispetto ad un sistema di riferimento comune, fattore che permette di georiferire correttamente nello spazio il modello così creato.



Figura 44: Rappresentazione della Cappella del Castello del Valentino generata attraverso la sovrapposizione di una nuvola di punti sparsa, densa e di una texture.

Fonte: Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, 2018, Studenti: Avena Marco, Coroama Andreea, Debeaunay Diane, Giannone Alessia, Scolamiero Vittorio.

Ma il fattore che rende tale tecnica innovativa è rappresentato dal fatto che i nuovi software che utilizzano un approccio "scan to BIM" permettono al progettista di avere a disposizione appositi tool in grado di individuare automaticamente all'interno di una nuvola di punti superfici facilmente individuabili quali muri, finestre, porte, solai, tetti ecc. Tale approccio sottolinea ancora una volta l'importanza da attribuire alla fase di rilievo 3D, la cui buona riuscita

¹⁰⁵ Negri, R., *Scan to BIM: dalle nuvole di punti al modello digitale (prima parte)*, Bimportale, articolo, 10 Maggio 2019. Web Dic. 2019, Fonte: <https://www.bimportale.com/scan-to-bim-dalle-nuvole-punti-al-modello-digitale-parte>.

permetterà di avere a disposizione dati precisi ed affidabili sui quali impostare la successiva fase di modellazione.

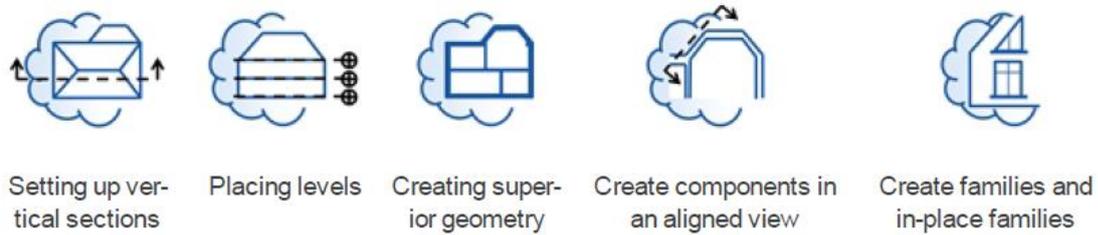


Figura 45: Tipico workflow Scan-to BIM relativo al plugin PointSense for Revit prodotto dalla FARO.
Fonte: Manual PointSense for Revit 18.5, FARO Technologies, Inc.

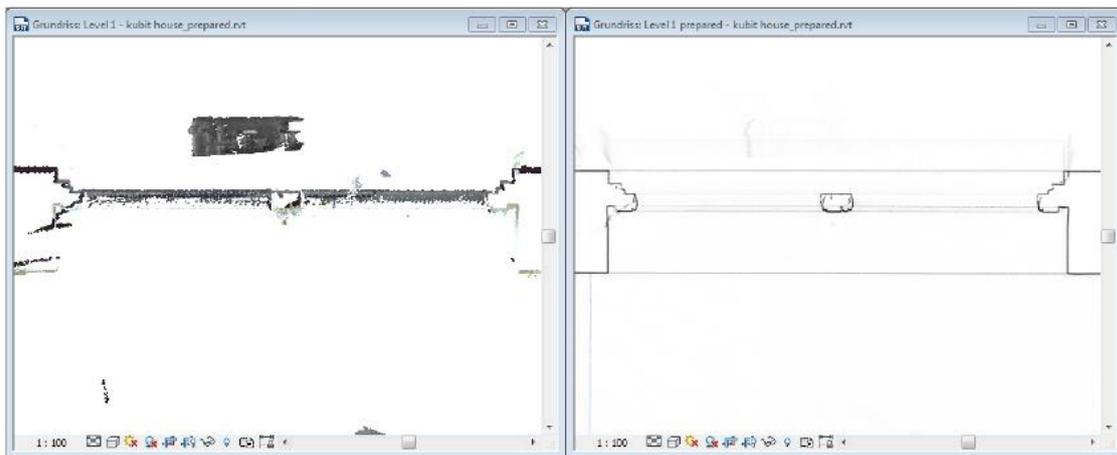


Figura 46: Vista in sezione di una nuvola di punti che individua un muro ospitante un serramento all'interno del software Revit (sinistra) e relativa generazione di un oggetto muro e di una finestra attraverso il plugin PointSense for Revit (destra).
Fonte: Manual PointSense for Revit 18.5, FARO Technologies, Inc.

5.2.3 Potenzialità e sviluppi futuri

Nonostante si stiano studiando forme e soluzioni differenti per migliorare questo processo al momento in cui questa tesi viene scritta non esiste ancora una tecnica o un software in grado di renderlo automatico al 100%. La modellazione tridimensionale infatti avviene sulla base di una nuvola di punti, che deve essere analizzata, studiata e filtrata per poter individuare gli elementi e i riferimenti che possano essere d'aiuto nel riconoscimento dei principali componenti di un organismo edilizio.

Tuttavia la tecnologia Scan-to BIM presenta notevoli vantaggi ed il suo utilizzo nelle opere di rilievo e nell'ambito della riqualificazione/restauro è destinato ad aumentare. Rispetto a rilievi di tipo tradizionale il primo vantaggio è rappresentato dalla riduzione dei tempi di acquisizione dei dati e dal loro elevato livello di precisione. Un secondo vantaggio è da individuarsi nella possibilità di avere a disposizione, grazie al concetto di *reverse engineering*, un unico modello ricco di informazioni (metriche, compositive, forma, geometrie, colore ecc.), facilmente gestibile e condivisibile. Infine un terzo vantaggio è relativo ai costi, in quanto l'alto livello di accuratezza dei dati acquisiti e la riduzione dei tempi delle campagne di rilievo, permettono di ammortizzare gli elevati costi della strumentazione utilizzata durante il rilievo e per la generazione del modello.

In ultima analisi risulta interessante notare come questa metodologia sia destinata ad essere utilizzata anche in campi diversi dal restauro e dalla documentazione del patrimonio esistente. Non mancano infatti esperimenti volti ad applicare tali tecniche innovative in altri contesti, ad esempio in attività di monitoraggio delle infrastrutture esistenti, le quali necessitano di operazioni molto accurate di rilevazione del loro stato di degrado e usura al fine di organizzare opportuni interventi manutentivi¹⁰⁶.

¹⁰⁶ Negri, R., 2019. Fonte: <https://www.bimportale.com/scan-to-bim-dalle-nuvole-punti-al-modello-digitale-seconda-parte>.

5.3 CIM: verso un BIM a scala urbana



Figura 47: Rappresentazione di una Smart City del XXI secolo.

Fonte: www.adelaide.edu.au.

Nel primo capitolo di questa tesi si è introdotto il concetto di Smart City ed è stato dimostrato come attraverso l'utilizzo corretto delle più innovative tecnologie messe a disposizione sul mercato, si possa proporre un'importante alternativa alla gestione e allo sviluppo sostenibile delle città. Il concetto di città intelligente deriva sostanzialmente da un tentativo di reagire alle sempre più crescenti e proibitive sfide che i centri urbani sono costretti ad affrontare: disuguaglianze economiche, degrado ambientale ed inquinamento, crescita della popolazione, mancanza o inadeguatezza delle infrastrutture, gestione delle emergenze. Utilizzare e mettere al servizio della città le migliori strumentazioni in campo tecnologico significa migliorare l'efficienza operativa dei servizi messi a disposizione della popolazione e fornire quindi un supporto alle problematiche sopra elencate.

Alla luce di una sempre maggiore complessità urbana e consapevoli del costante sviluppo delle ICT a supporto della gestione delle città, i sistemi e le infrastrutture che le compongono necessitano di essere ripensati per soddisfare le nuove esigenze in termini di progettazione, pianificazione e restauro. A tal proposito, in un prossimo futuro, uno degli strumenti innovativi

che potrebbe aiutare le città ad affrontare le continue sfide poste dall'urbanizzazione è rappresentato dal BIM. Strumenti come il *Building Information Modelling* sono in grado di creare un'infrastruttura di dati in cui sistemi differenti possono comunicare tra di loro, permettendo a tali informazioni di poter coesistere in un sistema decisionale centralizzato¹⁰⁷. Il BIM infatti permette la gestione digitale, in un unico modello, di dati e parametri appartenenti a differenti settori: dati storici, architettonici, strutturali, impiantistici, energetici, economici, ambientali ecc.

Tuttavia ormai da molti anni le Amministrazioni e gli organismi territoriali utilizzano solitamente i sistemi GIS, che rappresentano una prassi consolidata, per la gestione di scenari urbani e territoriali. In uno scenario di questo tipo differenti studi sono stati recentemente condotti per estendere il concetto di BIM, tipicamente legato ad un singolo edificio, alla scala urbana, sfruttando l'apporto dato dalle tecnologie ICT basate sull'interoperabilità. Nasce così il concetto di CIM (*City Information Modelling*) che può essere definito in prima istanza come un modello parametrico di città formato dall'integrazione di dati ed elementi provenienti da sistemi BIM e dati geografici e territoriali propri dei sistemi GIS. Tale integrazione rappresenta ora una grande criticità e necessita ancora di molti studi per trovare soluzioni concrete in modo da garantire una completa interoperabilità tra i due sistemi.



Figura 48: Integrazione BIM e GIS per la generazione di un City Information Model.

¹⁰⁷ Pagani, R., Chiesa, G., *Urban data. Tecnologie e metodi per la città algoritmica*, Ricerche di tecnologie per l'architettura FRANCO ANGELI, Milano, 2016, p.244.

5.3.1 La dicotomia GIS-(H)BIM

Il Patrimonio Culturale e Paesaggistico risulta essere variegato e molto complesso, tanto che necessita di accurati studi ed analisi per essere compreso in tutti i suoi aspetti ed essere così descritto nel modo più corretto possibile. Gli attuali e crescenti interessi maturati in materia di tutela e salvaguardia del patrimonio hanno poi portato alla necessità di integrare dati 3D nel consueto scenario a 2.5 dimensioni dell'informazione spaziale¹⁰⁸, per poter avere a disposizione una lettura d'insieme fluida del territorio, con la possibilità di effettuare analisi dalla media scala cartografica fino ad arrivare a letture a scala urbana o del singolo edificio.

Nello scenario appena descritto emerge chiaramente la necessità di un incontro tra diversi sistemi e piattaforme di archiviazione di dati e di rappresentazione: da un lato troviamo i sistemi GIS, che come abbiamo detto in precedenza permettono di indagare lo spazio a scale territoriali e urbane, e dall'altro i più recenti sistemi BIM legati prettamente alla scala dell'edificio. L'obiettivo è quello di comprendere quale sia il processo da adottare per armonizzare tra loro le diverse strutture di dati e garantire l'interoperabilità tra le due piattaforme. Il raggiungimento di tale obiettivo permetterebbe infatti di dare vita ad un unico grande *database* condiviso che possa consentire analisi multi-scala del patrimonio costruito.

La natura complessa dell'armonizzazione tra questi due sistemi deriva principalmente da tre fattori:

- Utilizzo di standard differenti;
- Gestione di informazioni di natura diversa;
- Differenti livelli di dettaglio e scale di rappresentazione.

Ognuno di essi contribuisce fortemente nell'alimentare notevoli problemi di interoperabilità geometrica e semantica tra i due sistemi¹⁰⁹. In particolare il primo punto, legato agli standard impiegati, è quello che garantirebbe la perfetta armonizzazione dei dati e l'utilizzo congiunto di entrambi i processi. I flussi di lavoro legati al settore AEC, come ampiamente trattato nel capitolo 3, utilizzano solitamente lo standard aperto IFC, associato alla scala dell'edificio. Le informazioni e i dati così condivisi si basano sul concetto di LOD inteso come livello di

¹⁰⁸ Colucci, E., Abbate, E., Mantello, F., Sammartano, G., Spanò, N., *Approcci GIS ed HBIM integrati per l'analisi del patrimonio paesaggistico*, in XXIII Conferenza Nazionale ASITA, 12-14 novembre 2019, Trieste pp.285-286.

¹⁰⁹ Colucci, E., 2019.

sviluppo (*Level of Development*): non ci si riferisce quindi al livello di dettaglio (scala di rappresentazione) ma piuttosto i LOD sono utilizzati per gestire e monitorare l'intero iter di progettazione nelle sue diverse fasi e l'affidabilità delle informazioni che vengono associate agli elementi del modello. Per quanto riguarda invece i dati territoriali e urbani, e più precisamente quando si fa riferimento a GIS 3D a scala urbana, i principali standard utilizzati sono Inspire e CityGML (*Geography Markup Language*).

In particolare CityGML è uno standard GIS che è stato sviluppato per la prima volta nel 2002 dal gruppo SIG3D (*Special Interest Group 3D*), per essere poi utilizzato nel 2008 dagli OGC (*Open Geospatial Consortium*) per strutturare gli standard utili alla modellazione e scambio di modelli 3D delle città e del territorio. Questa struttura è anch'essa basata sui LOD, che però non sono da confondere con quelli legati al BIM di cui abbiamo parlato in precedenza, ma in questo caso vengono intesi come *Level of Detail*. Questo concetto di LOD è stato applicato al GIS per indicare la quantità di dettagli acquisiti per la ricostruzione 3D del territorio, sia in termini di dati geometrici che semantici (attributi), definendo diversi modi di rappresentare un oggetto reale¹¹⁰. Lo standard CityGML definisce quindi cinque classi di rappresentazione, concentrandosi particolarmente sull'edificato, proponendo una scala di dettaglio gerarchica che aumenta progressivamente di complessità.



Figura 49: I cinque LODs relativi agli OGC CityGML.
Fonte: Biljecki, F., 2017.

¹¹⁰ Biljecki, F., *Level of Detail in 3D City Models*, doctoral dissertation at Delft University of Technology, 2017, p.3.

- **LOD0.** Non sono presenti rappresentazioni volumetriche e vengono indicate soltanto le impronte a terra degli edifici per mezzo di linee e poligoni;
- **LOD1.** Semplice modello 3D creato dall'estrusione di un modello LOD0;
- **LOD2.** Modello 3D con in aggiunta una forma semplificata del tetto, dove è data inoltre la possibilità di assegnare ulteriori classi agli elementi (tetti, muri ecc.);
- **LOD3.** Modello architettonico dettagliato con la presenza anche di porte e finestre;
- **LOD4.** Modello simile al precedente a cui vengono integrati elementi di dettaglio interni quali arredi, finiture ecc.



Figura 50: Esempi di 3D City Models realizzati in differenti LOD (Level of Detail). Partendo dall'alto a sinistra: Ettenheim (Germany), Punggol (Singapore), New York City, (United States), Chongqing (Cina), National Chiao Tung University, Hsinchu (Taiwan), Adelaide (Australia).

Fonte: Biljecki, F., 2017.

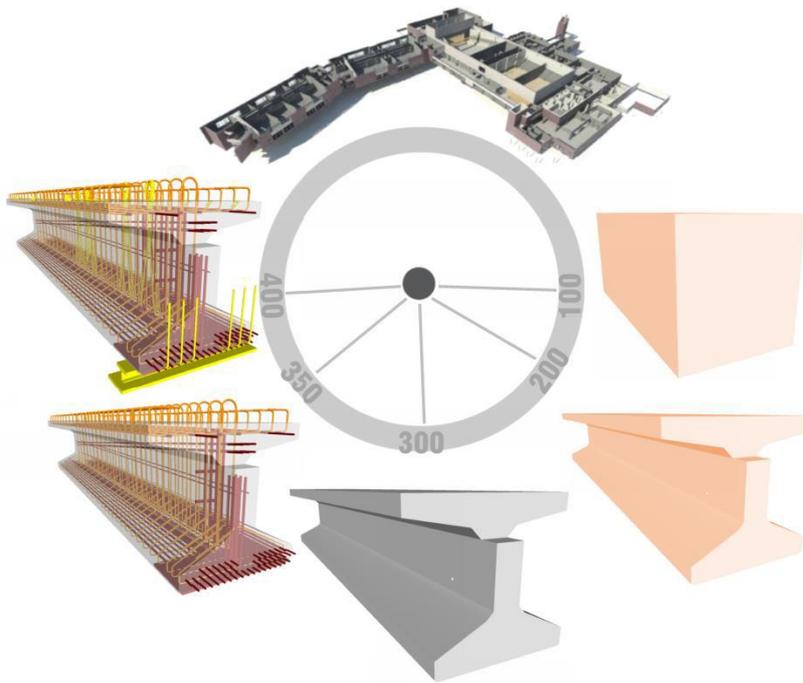


Figura 51: LOD (Level of Development) in un tipico processo BIM. In particolare passaggio dal dimensionamento dell'ingombro di una trave, fino ad arrivare all'elaborazione di As Built e conseguente inserimento nel progetto.

Fonte:
www.bimforum.org.

Numerosi studi ad oggi sono stati svolti nel tentativo di trovare una soluzione che garantisca l'interoperabilità tra banche dati BIM e GIS. Uno dei primi approcci in tal senso ha visto la creazione dei già sopracitati OGC, che in modo particolare hanno studiato l'interoperabilità CAD-GIS-BIM, definendo i requisiti necessari a garantire lo scambio di risorse tra ambienti BIM e GIS al fine di mettere a disposizione building information models sia nello standard IFC che in quello CityGML¹¹¹. Tuttavia molti studi e ricerche devono essere ancora condotti per garantire una completa interoperabilità tra le piattaforme. Risultano infatti ancora irrisolte problematiche relative al come trattare i dati nelle integrazioni tra modelli HBIM e GIS¹¹² e di come garantire una corretta georeferenziazione di un modello (H)BIM inserito in un ambiente GIS 3D.

Sebbene queste ed altre ricerche si stiano svolgendo nel tentativo di colmare queste differenze, ad oggi una formula in grado di far dialogare perfettamente questi standard differenti non è stata ancora sviluppata. L'interrogativo che ci si pone è quello di come poter integrare in un unico modello 3D l'elevata quantità di dati, ricavati e prodotti con standard differenti, utili a rappresentare un intero e complesso nucleo urbano con un livello di dettaglio che garantisca analisi multi-scala (dalla scala territoriale a quella architettonica).

¹¹¹ De Ruvo, V., 2019.

¹¹² Tobiàs, P. (2016), *BIM, GIS and semantic models of cultural heritage buildings*, Geoinformatics FCE CTU, 15(2): 27-41.

5.3.2 Il legame esistente tra BIM e CIM

Una prima risposta a questi interrogativi è stata fornita dall'introduzione del CIM, grazie al quale si tenta di compiere un passo in avanti verso un modello digitale in grado di gestire e coordinare dati provenienti da sistemi BIM e da sistemi legati all'analisi del territorio (GIS). A tal proposito non verranno trattate in questo paragrafo le modalità di come le due discipline collaborino e di come avvengano tecnicamente l'elaborazione e lo scambio dei dati, aspetti questi che verranno ampiamente ripresi nella parte operativa del capitolo 8. Arrivati a questo punto della trattazione è sufficiente affermare che questo modello viene generato a partire da differenti LODs a seconda della tipologia di dati che si vuole ottenere, e da esso si potranno ricavare ed estrapolare informazioni eterogenee in funzione dei diversi utenti¹¹³.

Per quanto riguarda i possibili benefici derivanti dall'utilizzo congiunto del BIM e del CIM si fa ora riferimento allo studio svolto dai Dipartimenti di Ingegneria Civile di Minas Gerais (Brasile) e di Porto (Portogallo) in merito al miglioramento dei servizi pubblici e della qualità di vita dei cittadini all'interno di una Smart City¹¹⁴. Questa ricerca è stata condotta a partire da un'analisi preliminare che ha dimostrato come la crescita della popolazione mondiale ha comportato l'aumento delle infrastrutture e la conseguente modifica intensiva dell'ambiente da parte dell'uomo. Per queste ragioni è stata attribuita molta importanza al concetto di sostenibilità, fondamentale per la salvaguardia dell'ambiente e per lo sviluppo urbano futuro. A tal proposito è stata poi analizzata la Norma ISO 37120:2018 (Sustainable development of communities – Indicators for city services and quality of life) che ha permesso di dimostrare come i dati derivanti dal Building Information Modelling e dal City Information Modelling possono essere utilizzati per condurre le città verso l'obiettivo di uno sviluppo sostenibile condiviso.

¹¹³ Pagani, R., 2016, p.245.

¹¹⁴ Dantas, H.S., Sousa, J.M.M.S., Melo, H.C., *The importance of City Information Modeling (CIM) for cities' sustainability*, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 225 012074, 2019.

Tabella 5: Numero degli Indicatori della ISO 37120:2018 classificati per Temi.

Fonte: H.S. Dantas, J.M.M.S. Sousa, H.C. Melo, *The importance of City Information Modeling (CIM) for cities' sustainability*, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 225 012074, 2019, p.4.

Theme	Indicators		Indicators by data origin		
	Core	Supporting	BIM	CIM	Other
Economy	3	4	0	0	7
Education	4	3	0	0	7
Energy	4	3	1	6	0
Environment	3	5	0	7	1
Finance	1	3	0	0	4
Fire and emergency response	3	3	0	2	4
Governance	2	4	0	0	6
Health	4	3	0	0	6
Recreation	0	2	0	2	0
Safety	2	3	0	4	1
Shelter	1	2	0	0	3
Solid waste	3	7	3	7	0
Telecommunication and innovation	2	1	0	2	1
Transportation	4	5	0	4	5
Urban planning	1	3	0	3	1
Wastewater	5	0	0	5	0
Water and sanitation	4	3	5	2	0
Total	46	54	9	44	47

In particolare la Norma ISO 37120:2018 stabilisce degli indicatori univoci per poter perseguire tale obiettivo, nonché le modalità con cui essi devono essere misurati. Tali indicatori inoltre vengono classificati a seconda che siano fondamentali per il raggiungimento degli obiettivi indicati dalla Norma, *Core Indicators*, o che fungano da supporto per i primi, *Supporting Indicators*. Ogni indicatore è stato inoltre strutturato attorno a delle macrotematiche rappresentanti i principali settori di sviluppo sostenibile e di governance dei centri urbani ricavati dagli International Standard. Come dimostra la Tabella 8, l'obiettivo principale di questa ricerca è stato quello di valutare la fattibilità e l'impatto dell'utilizzo degli strumenti BIM e CIM nella gestione della città, verificandone il grado di soddisfacimento rispetto ai vari indicatori e cercando di comprendere la tipologia di dati ricavabili da questi modelli digitali.

In conclusione da questo studio emerge come i modelli derivanti dal BIM e dal CIM possono contribuire a fornire dati utili per soddisfare 53 indicatori su 100 e consentiranno l'osservazione dello sviluppo delle Smart Cities in tempo reale, mettendo a disposizione dati eterogenei estremamente precisi e facilmente scambiabili. In questo modo tutte queste informazioni saranno disponibili direttamente nel modello digitale ed utilizzabili in settori e per scopi differenti, favorendo un processo decisionale più snello ed efficiente¹¹⁵.

5.3.3 Potenzialità e sviluppi futuri

Ragionando in ottica futura, verso un mondo popolato sempre più da Smart Cities, si propone di seguito una panoramica dei possibili vantaggi economici, sociali ed ambientali derivanti dall'integrazione tra BIM e CIM¹¹⁶:

- **Centralizzazione delle informazioni.** Chiunque si interfacci con un progetto BIM o CIM ha la possibilità di reperire informazioni sia sui singoli edifici che dell'intero agglomerato urbano, a seconda del campo d'interesse dei fruitori. L'intero processo avviene su un'unica piattaforma che può essere inoltre utilizzata per verificare e testare nuove proposte e scenari.
- **Aumento della collaborazione/cooperazione.** L'utilizzo di dati ed informazioni provenienti dall'integrazione di questi due modelli promuove un approccio collaborativo e di interscambio tra gli attori coinvolti in un progetto, consentendo non solo la progettazione coordinata di singoli edifici, ma anche di interi quartieri o città.
- **Diminuzione del rischio.** Quando si progettano infrastrutture pubbliche (ponti, strade, edifici ecc.) i rischi risultano significativi. In tal senso la modellazione di scenari ed ambienti in cui verranno inseriti i nuovi edifici, attraverso modelli BIM e CIM, permette di testare e verificare la fattibilità del progetto sia prima che durante il processo di costruzione. Per mezzo di un processo di questo tipo qualsiasi tipo di errore, incidente, o catastrofe può quindi essere segnalata prima che possa effettivamente accadere.
- **Responsabilizzazione dei cittadini.** Le possibilità del coinvolgimento attivo dei cittadini offerte da strumenti BIM e CIM non sono state ancora esplorate del tutto.

¹¹⁵ Dantas, H.S., et al., 2019, p.7.

¹¹⁶ Maxwell, L., *From BIM to CIM: why building and city information modelling are essential to the development of Smart Cities*, articolo in Bimcommunity.com, 16 Luglio 2018. Fonte: <https://www.bimcommunity.com/news/load/917/from-bim-to-cim-why-building-and-city-information-modelling-are-essential-to-the-development-of-smart-cities>.

Tuttavia l'apertura e il libero accesso ad informazioni, tipicamente in mano agli addetti ai lavori, permetterà il completo coinvolgimento della popolazione, rendendola attiva nella progettazione e trasformazioni degli spazi della città. In tal senso esempi di iniziative legate alla progettazione partecipata (approccio *crowdsourcing*) sono stati già realizzati in ambito GIS, attraverso la creazione di app e mappe virtuali che permettano ai cittadini di interagire direttamente con informazioni spaziali. Attraverso pochi e semplici passaggi si può adattare virtualmente lo spazio che ci circonda sperimentando varie soluzioni. In ottica futura, prevedendo il contributo fornito anche dalla tecnologia BIM, a tali strumenti potranno essere aggiunti ulteriori dati, informazioni e possibilità.

- **Aumento della produttività, dell'efficienza e dei risultati.** La centralizzazione delle informazioni, la condivisione delle risorse e la standardizzazione delle procedure e dei parametri di riferimento sono tutti fattori che contribuiscono a rendere il processo edilizio più snello ed efficace, riducendo inoltre drasticamente rischi ed errori. La condivisione di dati e la crescente cooperazione non solo permettono una riduzione di tempi e denaro, ma anche un'ottimizzazione dei risultati ottenuti ed un miglioramento dei servizi offerti.
- **Creazione di città sostenibili.** Come detto in precedenza l'obiettivo principale delle Smart Cities è quello di utilizzare tutte le risorse in loro possesso per migliorare la qualità della vita e il livello di sicurezza dei centri urbani. Modelli come quelli offerti dal BIM e dal CIM mettono a disposizione tutti gli strumenti per raggiungere questi obiettivi. Ad esempio è possibile simulare l'impatto energetico degli edifici di un intero quartiere e proporre di conseguenza soluzioni per ridurre la domanda di energia, garantendo perciò un migliore controllo e gestione delle risorse.
- **Gestione delle emergenze.** In ultima analisi questi modelli virtuali possono essere utilizzati sia per documentare e gestire le emergenze, sia per ottimizzare le procedure operative che seguono un evento catastrofico.

5.4 BIG Data e tecniche di rilievo 3D per un modello parametrico di città

All'interno delle realtà urbane con il termine *BIG Data* si è soliti fare riferimento ad una quantità smisurata di informazioni che descrivono l'ambiente in cui siamo soliti vivere. Questi dati riguardano i più svariati aspetti legati ad una città (popolazione, edifici, ambiente, trasporti ecc.) e nella maggior parte dei casi sono in grado di essere generati in tempo reale grazie ad appositi sensori presenti sul territorio. Tale processo si sta sviluppando lentamente, ma nonostante ciò risulta essere in costante crescita, e questo viene reso in gran parte possibile dal fatto che le città si stanno lentamente digitalizzando¹¹⁷.

Un sistema di questo tipo è alla base del concetto di *Smart City*, dove la disponibilità e la produzione continua di dati digitali vivono fasi di costante aggiornamento. Ne sono un esempio i sensori permanenti posti al di sopra dei centri abitati che producono dati relativi all'inquinamento acustico, temperatura, livello delle acque sotterranee, traffico e molti altri; gli smartphones e i social media inoltre trasmettono dati in tempo reale e forniscono informazioni legate ai nostri movimenti e a come usufruiamo dello spazio della città. Vi sono infine apparecchi fotografici che rivelano in diretta incidenti di vario tipo, come quelli stradali, che permettono ai soccorritori di avere la situazione chiara prima di scegliere il modo migliore per intervenire. Di fondamentale importanza risulta perciò essere da un lato la fase di studio e processamento di questo continuo flusso di dati per mano dei vari esperti del settore, mentre dall'altro il posizionamento dei vari sensori deve risultare riconoscibile in un sistema di riferimento comune, per rendere la fase di decodifica snella e rapida. Per garantire tutto ciò la *Smart City* deve dotarsi di tutto un apparato di supporto tecnologico, che consiste in mappe 3D del contesto urbano, mappe interattive di vario genere, disegni esecutivi digitali relativi alle infrastrutture editabili ed aggiornati; il tutto realizzato alle scale di dettaglio opportune a decifrare i vari elaborati (LOD). Una mappatura 3D di un agglomerato urbano per poter essere utile agli obiettivi di cui sopra dovrà quindi, oltre a filtrare i dati veramente necessari, servirsi dell'esperienza dei professionisti del settore come architetti, geomatici, ingegneri e tecnici, i quali sono in grado di utilizzare i giusti software e la strumentazione di precisione necessaria¹¹⁸.

A tal proposito i rilievi da cui si ricavano le mappature urbane di cui sopra risultano essere altamente specializzati e le tecnologie utilizzate sono in continuo sviluppo, come è stato

¹¹⁷ Batty, M., *Big Data and the City*, articolo in *Built Environment*, vol.42, n. 3, Ottobre 2016, p. 321-326.

¹¹⁸ Lemmens, M., *Point Clouds and Smart Cities. The Need of 3D Geodata and Geomatics Specialists.*, in *Gim-International Magazine*, 25 Ottobre 2018, Web. 18 Nov. 2019.

ampiamente descritto nel capitolo 4. Per la definizione di un modello digitale di questo tipo, negli ultimi anni si sta diffondendo l'utilizzo di sistemi in grado di effettuare rilievi aerei che integrano la tecnologia LiDAR e la tecnica fotogrammetrica (fig.52). Gli elevati costi per rilievi di questo tipo e la risoluzione limitata delle immagini acquisite, per via delle quote a cui questi mezzi attrezzati possono volare, hanno poi portato allo sviluppo di sistemi più compatti, più economici e a volo autonomo chiamati UAVs. Si tratta di droni che, per mezzo di camere ad alta risoluzione e metodi fotogrammetrici innovativi, permettono l'acquisizione di tutti quei dati utili per la modellazione geometrica del territorio. Essi però non sono in grado di sostituire un rilievo aereo di tipo LiDAR (in grado di acquisire dati su porzioni di territorio e città di grandi dimensioni), ma possono essere di grande aiuto nel rilievo di territori meno vasti e di piccoli centri urbani. Tuttavia le restrizioni normative relative al sorvolo dei centri abitati¹¹⁹ rappresentano un fattore problematico rilevante, che pone ad oggi molti limiti d'impiego di queste innovative tecniche di rilievo del territorio. Ad integrare queste prime acquisizioni subentrano infatti, per migliorare la qualità dell'output finale e superare i limiti di cui si è accennato, anche altre tecniche di rilievo, quali per esempio i Mobile Mapping System (MMS), sistemi a scansione LIDAR terrestri e la fotogrammetria digitale, senza ovviamente dimenticare le tecniche di rilievo metrico tradizionale proprie della Geomatica.

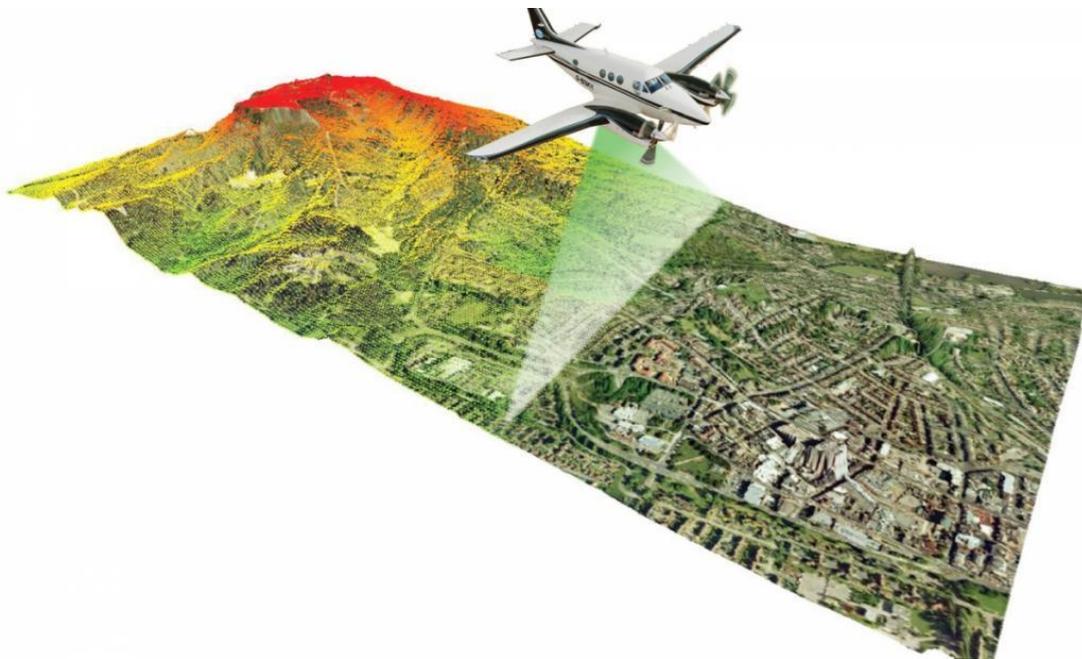


Figura 52: Immagine che mostra un aereo utilizzato per rilievi territoriali che integrano tecnologia LiDAR e tecniche fotogrammetriche.
Fonte: www.consulcad.it 26102019jgg.

¹¹⁹ In tal senso il "Regolamento Mezzi Aerei a Pilotaggio Remoto" emanato da ENAC (*Ente Nazionale Aviazione Civile*) non permettono di sorvolare, sia in operazioni "critiche" che "non critiche", aree in cui siano presenti assembramenti di persone e ciò esclude quindi i centri abitati. Fonte: De Meis, G., 2018.

Gestire una città per mezzo di dati dall'elevato livello di affidabilità, acquisiti grazie alle innovative tecniche di rilievo 3D proprie della Geomatica, e georeferenziati consente una maggiore accuratezza nell'identificazione delle cause di molte problematiche, consentendo tra le altre cose di valutare, nel minor tempo possibile, le soluzioni migliori da adottare in situazioni di emergenza. Le informazioni ricavate da questo tipo di rilievi vanno quindi a sommarsi alla già elevata quantità di risorse digitali che le ICT mettono ormai a disposizione delle città, andando così ad implementare il grande contenitore rappresentato dai *BIG Data*. La combinazione di questi dati può contribuire a creare un *dataset* complesso in grado di racchiudere al suo interno un numero assai elevato ed eterogeneo di informazioni, utili a riconoscere e mettere in risalto aspetti diversi della realtà che si intende analizzare. Tale processo si sta sviluppando di pari passo con il graduale passaggio verso una completa digitalizzazione della città, una trasformazione lenta ma in continua crescita che permetterà in un prossimo futuro di migliorare la pianificazione e la gestione dello sviluppo urbano.

6. CASO STUDIO: LA CITTA' DI NORCIA

6.1 Breve inquadramento storico

Anticamente conosciuta con il nome di *Nursia*, Norcia è un comune italiano di 4815 abitanti della provincia di Perugia. La città è situata nel cuore della Valnerina, sulla via che da Spoleto conduce ad Ascoli Piceno, più precisamente nella parte occidentale della pianura di Santa Scolastica a circa 600 m s.l.m., un territorio di origine tettonica inserito nel comprensorio del Parco Nazionale dei Monti Sibillini culminante nei quasi 2500m del Monte Vettore¹²⁰.



Figura 53: Pianta di Norsia (Norcia), inizio XVII secolo.

Fonte: Archivio di Stato di Roma, coll. 1, cart. 48, f. 56, bobina 18, sequenza 80.

¹²⁰ Salvatorelli, L., *San Benedetto e l'Italia del suo tempo*, Gius. Laterza & Figli, Editori-Bari, 1983.

Le prime notizie che testimoniano la presenza dell'uomo sul territorio risalgono al periodo etrusco, quando i Sabini si insediarono e diedero vita al villaggio chiamato Northia, che divenne presto una colonia etrusca. Intorno al 300 a.C. i Romani sconfissero i Sabini e si impossessarono del villaggio, che divenne prima prefettura e poi comune romano nel 268 a.C. Nell'epoca dell'Imperatore Vespasiano di origini sabine, nella seconda metà del I secolo



Figura 54: Immagine raffigurante la Porta Romana di Norcia, una delle sette porte d'ingresso alla città.

Fonte: www.proloconorcia.it.

d.C., la città prese il nome di *Nursia Valeria*, quando la sua gloria derivava in particolare dai prodotti della campagna nursina, dal suo clima rigido (da cui deriva l'epiteto virgiliano di "frigida") e per aver dato i natali a personaggi illustri quali il generale repubblicano Sertorio (a cui oggi è intitolata la via principale di Norcia, Corso Sertorio) e la madre dell'Imperatore Vespasiano, Vespasia Polla. Nel periodo romano la città conobbe un periodo di vasto splendore, diventando prima prefettura e poi municipio (II secolo a.C.)¹²¹. Nonostante sia la vicina Spoleto ad aver conservato le maggiori testimonianze di tale periodo, le parti superstiti di un edificio sottostante la Basilica di S.Benedetto, i resti del tempio pagano dedicato alla Dea romana Fortuna Argentea al di sotto della Fortezza della Castellina e la presenza di un edificio di epoca romana nei pressi di Porta Massari, permettono di affermare che il ricordo di tale epoca è molto vivo anche nella città nursina¹²².

Il territorio nursino fin dalla metà del II secolo d.C. in avanti è legato alla Cristianità in maniera indelebile, in quanto diventa sede di diocesi (fino al VII secolo, quando fu aggregata a Spoleto) ma soprattutto perché vide, verso la fine del V secolo, la nascita del suo cittadino più illustre, il monaco San Benedetto da Norcia e di sua sorella Santa Scolastica. In particolare San Benedetto verrà ricordato come colui che riformò radicalmente il Cristianesimo e fondò l'ordine dei Benedettini¹²³. A lui la città sarà per sempre riconoscente, non solo per fattori legati alla

¹²¹ Pro Loco di Norcia, "Vetusta Nursia". *La storia della città di Norcia, dalle origini fino ad oggi*, Web Dic. 2019, Fonte: <https://www.proloconorcia.it/norcia>.

¹²² Antonelli, G., *Umbria*, Tuttitalia Enciclopedia dell'Italia antica e moderna, Edizioni Sadea, Sansoni Firenze, 1964.

¹²³ Ivi, p. 236.

religione e alla spiritualità, ma soprattutto poiché insieme ai suoi monaci riuscì a bonificare le terre aride e selvatiche delle campagne circostanti fino a renderle dei campi fertili, il tutto grazie alla progettazione e costruzione di un sistema di canali d'irrigazione.

Tra il 500 e l'Anno Mille lo stretto legame esistente tra il Cristianesimo e la città di Norcia si infittì ancora di più, quando divenne una città guelfa ed entrò a far parte dello Stato Pontificio. Questo periodo fu il preludio all'indipendenza della città ottenuta intorno all'anno 1200, quando Norcia divenne libero comune e si dotò per la prima volta di solide mura a difesa della città, un monumento imponente che risulta ancora oggi un simbolo distintivo della città e capace di resistere al tempo e ai numerosi terremoti che si sono verificati nella zona. Il Cristianesimo nel frattempo continua ad espandersi nel territorio, un'area questa connessa da sempre con la vita di Santi illustri (S.Benedetto e Santa Scolastica) che si caratterizza per un'attività costruttiva intensa di chiese ed edifici religiosi. Risalgono al Trecento e alla prima metà del Quattrocento i lavori per la costruzione di chiese a navata unica, con semplici prospetti in pietra locale e animati da ampi portoni e rosoni, come nel caso della Basilica di San Benedetto e la Chiesa di San Francesco a Norcia¹²⁴.



Figura 55: Cartolina storica raffigurante Piazza Vittorio Emanuele a Norcia, dove si distinguono il Municipio, la basilica di S.Benedetto e la statua del Santo.

Fonte: Collezione privata Giampaolo Naticchioni.

La città di Norcia crebbe notevolmente e si rinnovò molto dal punto di vista artistico nel periodo in cui era dominata dal potere papale. Questo periodo iniziò quando il Pontefice Giulio III decise nel 1506 di mettere fine all'indipendenza politica di Norcia e nominò un suo commissario da mettere a capo della città. A tal proposito il Papa proprio in quel periodo ritenne

¹²⁴ Ivi, p.242.

opportuno provvedere alla realizzazione della “Castellina”, una vera e propria fortezza che si sarebbe affacciata sulla piazza principale della città e che avrebbe ospitato il governatore apostolico incaricato. Per la realizzazione di tale complesso fu incaricato nel 1554 l’architetto Jacopo Barozzi da Vignola¹²⁵.

Questa fu soltanto la prima delle tante opere realizzate nel periodo compreso tra il secolo XVI e XVII. Lo stretto legame con lo Stato Pontificio giocò un ruolo determinante in questo senso e come conseguenza diretta si assistette al rinnovamento completo dell’intero comune con la costruzione di moltissime opere pubbliche tutt’ora in parte esistenti: chiese, parrocchie, conventi, monasteri, ospedali, confraternite, oratori, collegi delle arti, osterie, alloggi, scuole pubbliche, un teatro, un’attività musicale e persino un’accademia letteraria. Ma gran parte delle opere appena citate, insieme ad un patrimonio storico artistico di immenso valore tramandato nei secoli, fu distrutto dai terremoti devastanti del XVIII secolo (1703 e 1730)¹²⁶. La ricostruzione della città fu molto lenta anche per il fatto che molti dei superstiti decisero di abbandonare la loro terra natia, tanto bella e ricca di risorse quanto terribilmente esposta a calamità naturali dall’effetto devastante. La città verrà colpita nei secoli a venire, fino ad arrivare ai giorni nostri, da molti altri eventi sismici di notevole portata cui verrà dedicata una parte specifica di approfondimento con il proseguo della trattazione.

A tal proposito la storia del comune norcino è stata da sempre legata a questi fenomeni nel corso della sua storia, a cui deve principalmente il disegno attuale del borgo. L’Umbria viene infatti considerata una regione sismica per tre quarti del suo territorio e a testimonianza di quanto è stato appena detto nella sua storia si contano 2403 terremoti nel periodo compreso tra il 374 a.C. e il 2018.

¹²⁵ Gigliozzi, M.T., *Norcina città sismica. La basilica di San Benedetto paradigma di rinascite.*, di M.T. Gigliozzi, Campisano Editore, Roma, 2019.

¹²⁶ Pro Loco di Norcia, 2019.

6.2 La fortezza della “Castellina”



Figura 56: La fortezza della Castellina in Piazza S.Benedetto a Norcia.

Fonte: www.mapio.net.

Il Museo Civico Diocesano “La Castellina” occupa l’intera area occidentale della piazza di San Benedetto a Norcia e rappresenta uno dei monumenti storici più importanti della città. Prima di assumere la funzione di museo, l’imponente fortezza era stata progettata nel 1554 da Jacopo Barozzi da Vignola, su richiesta del Papa Giulio III, sull’area che un tempo ospitava l’antica chiesa di S.Maria Argentea, che fu demolita e riedificata a fianco della fortezza (dove risiede ancora oggi)¹²⁷. La Castellina fu realizzata per divenire la residenza fortificata per i governatori apostolici, in quanto l’allora obiettivo dello Stato della Chiesa era prima di tutto quello di mostrare il proprio potere e controllare i territori periferici, ragion per cui una tale costruzione risultava necessaria¹²⁸.

L’importanza di Norcia all’interno dello Stato Pontificio è testimoniata dal fatto che nel 1569 la città venne scelta come la sede di un’importante prefettura, la cosiddetta “Prefettura della Montagna”, che trovò la sua sede proprio all’interno della Castellina. Durante il XIII secolo subì numerosi interventi di restauro a causa dei frequenti terremoti che colpirono la città

¹²⁷ Antonelli, G., 1964, p.254.

¹²⁸ MiBACT, *Museo civico e diocesano di Norcia*, Web Dic. 2019, Fonte: https://www.beniculturali.it/mibac/opencms/MiBAC/sito-MiBAC/Luogo/MibacUnif/Luoghi-della-Cultura/visualizza_asset.html?id=150471&pagename=57.

nursina, fin quando nel 1860 divenne la sede degli uffici del Comune. Soltanto nel 1979 assunse la funzione di sede del museo diocesano.¹²⁹

Il complesso progettato dal Vignola presenta una pianta simmetrica quadrata, protetta ai quattro angoli da torri con scarpate sghembe (per consentire la reciproca visibilità) e massicci muri a sperone. I volumi sono molto semplici e sono interrotti solamente da una sporgente cornice mediana che sembra legare l'intera fabbrica¹³⁰. In passato sul lato ovest a protezione della fortezza vi erano murature merlate che si estendevano fino alla cinta di mura della città, ora non più presenti. I bastioni rappresentavano le principali strutture di difesa per l'edificio, dalle cui feritoie era possibile difendersi dagli attacchi esterni. Una volta attraversato il portale d'ingresso decorato a bugnato si accede al cortile interno, composto da un quadriportico a dodici archi. Sul cortile si affacciano tutte le porte che permettono di arrivare ai locali del complesso ubicati al piano terra: la sala delle udienze, la Cancelleria Civile e Criminale e la sala delle torture da dove era possibile giungere fino alle mura cittadine attraverso un passaggio sotterraneo. Al piano primo si trovavano le sale di rappresentanza, la cappella e l'abitazione del Prefetto e della sua famiglia; mentre nei sotterranei erano collocate le prigioni e le scuderie¹³¹.

A differenza di altri importanti monumenti della città, che sono crollati o hanno subito importanti danni (Basilica di S.Benedetto, Palazzo Comunale, Chiesa di S.Maria Argentea, Chiesa di S. Lorenzo, Chiesa di S. Francesco ecc.), la fortezza ha sempre resistito ai frequenti sismi che l'hanno colpita nel corso della sua esistenza. Come è stato già accennato essa ha subito vari interventi di restauro, tra cui i più recenti di cui si ha testimonianza risalgono a seguito degli eventi sismici del 1979 e 2016. Nel 2017 infine la Regione Umbria ha finanziato opere di tutela e ristrutturazione per la messa in sicurezza del tetto della Castellina. Dopo il sisma del 1979 al piano nobile del complesso è stato collocato il Museo Civico e Diocesano, che conserva opere ed oggetti risalenti al periodo compreso tra il XII e il XIII secolo (sculture, terracotte, arredi sacri, dipinti di proprietà ecclesiastica e comunale), oltre che ospitare la "Collezione Massenzi", una delle maggiori raccolte archeologiche private dell'Umbria donata alla città dal Cavaliere Evelino Massenzi (composta da oggetti, vasi etruschi e greci risalenti al VII-VI secolo a.C.)¹³².

¹²⁹ Ibidem.

¹³⁰ Antonelli, G., 1964, p.254.

¹³¹ Pro Loco di Norcia, *La Castellina, la fortezza delle ecclesiastici*, 11 Marzo 2019, Web Dic. 2019, Fonte:

<https://www.proloconorcias.it/la-castellina-norcias>.

¹³² Ibidem.

6.3 Il terremoto

La penisola italiana è stata ripetutamente colpita da fenomeni sismici di grave portata durante il corso della storia. Questo è dovuto alla sua particolare posizione geografica ai margini di due placche tettoniche continentali. Da questo punto di vista la storia di questo paese ha sempre mostrato come il popolo italiano colpito da queste catastrofi si sia sempre risollevato con grande tenacia e le periodiche ricostruzioni ne rappresentano l'esempio eclatante. Le regioni del Centro Italia in modo particolare si sono trovate a convivere da sempre con numerosi, intensi e spesso distruttivi eventi sismici, i quali hanno condizionato fortemente la cultura, l'economia e la fede di quelle popolazioni¹³³.

6.3.1 I terremoti storici di Norcia

Ponendo la lente di ingrandimento sopra la città di Norcia, il fil rouge che affiora costantemente nel corso dei secoli e che nel bene o nel male è entrato a far parte della sua identità, è rappresentato dall'azione distruttiva e allo stesso tempo ricostruttiva dell'evento sismico.¹³⁴ Viene ora proposta una breve indagine ma esplicativa dei principali terremoti che nel corso della storia hanno colpito il comune nursino. A tal proposito gli eventi sismici storici presi in considerazione sono quelli che hanno registrato le conseguenze peggiori, relativi al 1328, 1703, 1730 e 1859. Tali dati saranno tratti da un fondamentale lavoro di studio e raccolta dei terremoti avvenuti nella regione Umbria pubblicato nel 2013 da Paola Pagana¹³⁵.

Il terremoto del 1328

Il primo terremoto di cui si ha testimonianza risale al 1328, quando all'alba del 4 Dicembre le ripetute scosse provocarono la distruzione della quasi totalità dell'edificato. Tra le testimonianze dell'avvenimento, quella che ci fornisce maggiori dettagli appartiene a Moshe ben Daniel, un ebreo che viveva a Ripatransone, il quale percepì le scosse ed ascoltò diversi racconti da cittadini scappati da Norcia rifugiati nella sua città:

¹³³ Galgano, M., postfazione a *Norcia città sismica. La basilica di San Benedetto paradigma di rinascite.*, di Gigliozzi, M.T., Campisano Editore, Roma, 2019.

¹³⁴ Gigliozzi, M.T., 2019.

¹³⁵ Pagana, P., *Sismicità storica in Umbria. Ricostruzione e studio dei principali terremoti verificatisi a partire dal III secolo a.C.*, 2013, Web Dic. 2019, Fonte: <http://www.binapg.it/wp-content/uploads/2013/11/Sismicità-storica-in-Umbria-e-legislazione-in-materia-di-terremoti.modifica-7-novembreottobre-.20135-copy.pdf>.

“Un terremoto devastante, come mai ci fu dai tempi di Uzzjau, Re di Giuda. Era il primo giorno del mese di Tevet dell’anno 5089 dalla creazione [4 dicembre, 1328]. Ci trovavamo nella città di La Ripa [Ripatransone], appartenente alla regione delle Marche, quando si scatenò un devastante terremoto. Sul far del mattino, prima del sorgere dell’alba, il terremoto si scatenò, le fondamenta delle pareti tremarono dall’impatto del sisma ed i pavimenti delle case vibrarono come una capanna. [...] In quel dì. Lo stesso terremoto manifestava la sua intensità nella città di Norcia, regione di avvocati [Arquata], nelle vicinanze di Aspoliti [Spoleto] e l’immagine era difficile. [...] In quei giorni giunsero dalla città di Norcia, rivoltata in un attimo, alcuni e riferirono quanto i loro occhi avevano visto: case caddero, cortili rovinarono e mura cittadine crollarono completamente”¹³⁶.

L’uomo appare notevolmente provato e colpito da questa situazione tanto che, scrive ancora Paola Pagana, si recherà di persona a Norcia nei giorni successivi per appuntare su un libro di preghiere le sue impressioni e documentare lo stato in cui verteva la città, in cui nel frattempo erano già iniziate le prime opere di ricostruzione.

Il terremoto del 1703

Il terremoto fu definito come uno dei terremoti più devastanti della storia, per danni provocati e per l’estensione geografica. Circa duemila persone morirono in Umbria, delle quali 800 nella sola Norcia. Tra i danni all’edificato si registrò il crollo del tetto della Chiesa di S.Maria, di parte della residenza del prefetto chiamata “Castellina” progettata dall’architetto Jacopo Barozzi da Vignola, i magazzini pubblici e il Monte di Pietà, mentre la Chiesa più iconica e simbolo della città di S.Benedetto subì anch’essa gravi lesioni. Per quanto riguarda l’edificato residenziale in tutti i quattro rioni in cui era divisa la città si riscontrarono notevoli danni, e in modo particolare il rione di San Giovanni fu quasi totalmente raso al suolo.

Questo terremoto non ebbe solo gravi effetti sul tessuto edilizio ma causò anche una pesante crisi economica tanto che le risorse non erano sufficienti per le opere di ricostruzione. Il Papa Clemente XI inviò nei luoghi colpiti dal sisma l’architetto Bufalini per valutare i danni e stimare la rimozione delle macerie: solo a Norcia la cifra ammontava a circa seimila scudi, una somma decisamente alta per l’epoca. Alla fine si decise di intervenire solamente nelle zone colpite maggiormente, tanto che cinque anni dopo a Norcia soltanto un quarto della città era stata ricostruita

¹³⁶ Moshe ben Daniel, *Libro di Preghiere*, traduzione in Chiaverini, Saverini 2003, pp.36-37, nota 14.

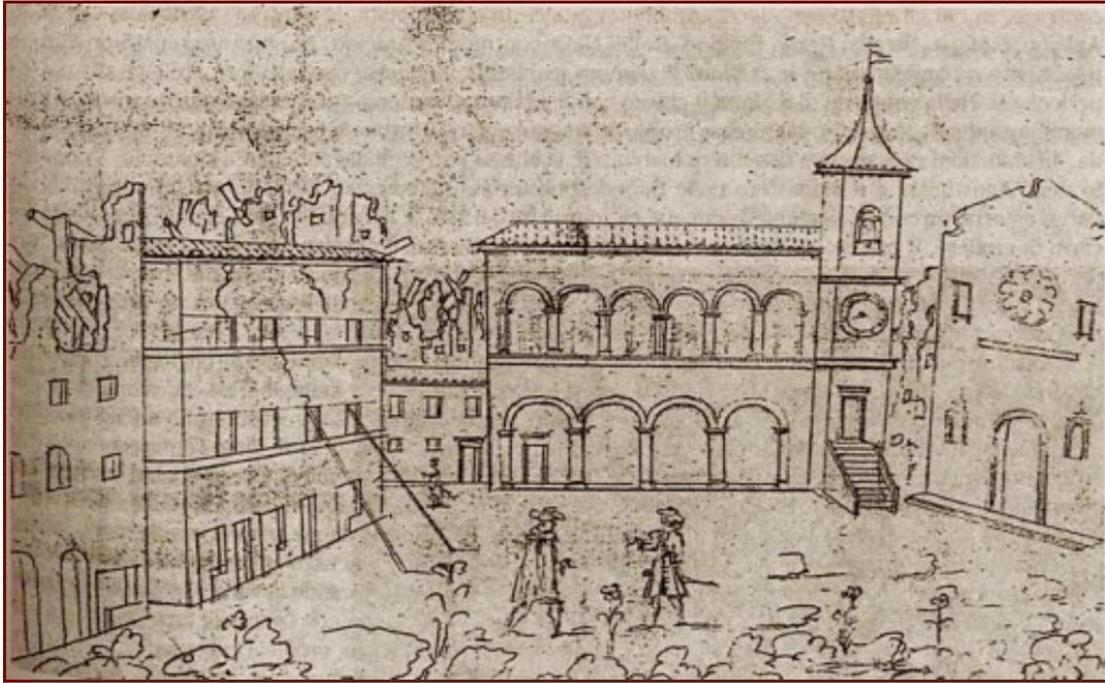


Figura 57: Rappresentazione dei danni a seguito del terremoto del 1703 sugli edifici di Piazza S. Benedetto. Disegno a matita di un autore anonimo
Fonte: Archivio Storico Comunale, Norcia.

Il terremoto del 1730

Il terremoto che durò dal 12 al 27 Maggio 1730 viene tristemente ricordato non solo per l'impeto con cui si verificò e i danni che causò, ma anche perché avvenne nel momento in cui si stava svolgendo il conclave per l'elezione del nuovo pontefice che avrebbe preso il posto di Papa Benedetto XIII.

Il terremoto fu di una forza inaudita e Norcia fu una delle città maggiormente colpite insieme alla città di Cascia. Il patrimonio ecclesiastico è quello che subì i danni più ingenti: crollò il campanile della Chiesa di San Benedetto distruggendo parte del complesso sottostante; danni notevoli li subirono anche i monasteri di S. Chiara, S. Lucia, SS. Trinità, S. Caterina, S. Antonio, S. Pace e la Castellina in cui abitava il prefetto.

La situazione sia a Norcia che nella altre città colpite dal sisma era veramente drammatica e il tutto era complicato dal fatto che in quei momenti era in corso il Conclave per l'elezione del nuovo Papa, fattore che rallentava l'invio di aiuti. Queste città non erano ancora riuscite a risollevarsi completamente dalla crisi scatenata dai terremoti precedenti del 1703 e 1709, che si vedevano costretti nuovamente ad affrontare momenti di angoscia. La popolazione fu costretta ad abbandonare le proprie abitazioni per un tempo indefinito, ed alloggiare in tende allestite per l'occasione. I morti furono circa duecento e si contavano altrettanti feriti.

Il terremoto del 1859

Qualche giorno prima del 22 Agosto 1859 nel territorio nursino si verificarono alcune scosse di assestamento; solo in seguito si capì che fossero il preludio di un evento catastrofico in cui persero la vita 101 persone, mentre per gli edifici si può affermare che nulla fosse rimasto in piedi.

La popolazione di Norcia ha sempre saputo convivere con questa triste realtà ed ha saputo continuamente rialzarsi con l'obiettivo di riprendersi quello che il sisma aveva portato loro via. Fu così infatti che la commissione allora incaricata di rilevare i danni fece un'attenta analisi dal punto di vista sia ingegneristico che geologico, riscontrando numerose irregolarità costruttive negli edifici più recenti, utilizzo di cementi scadenti e in molti casi le murature delle abitazioni erano troppo sottili. Sulla base di questo rapporto fu varata una prima legge edilizia, divisa in 33 articoli, volta a fornire le norme corrette per la ricostruzione in un territorio a forte tendenza sismica nonché a vigilare sull'utilizzo di materiale di ottima qualità. A causa di divergenze politiche la legge incontrò l'opposizione dell'allora Consiglio Comunale che ritardò la sua entrata in vigore e questo comportò una ricostruzione degli edifici approssimativa e inadeguata. La Legge divenne effettiva solamente in un secondo momento, il 15 Maggio 1860, data che segna un traguardo storico in quanto il Regolamento Edilizio approvato a Norcia rappresenta il primo esempio di pianificazione post-sismica.

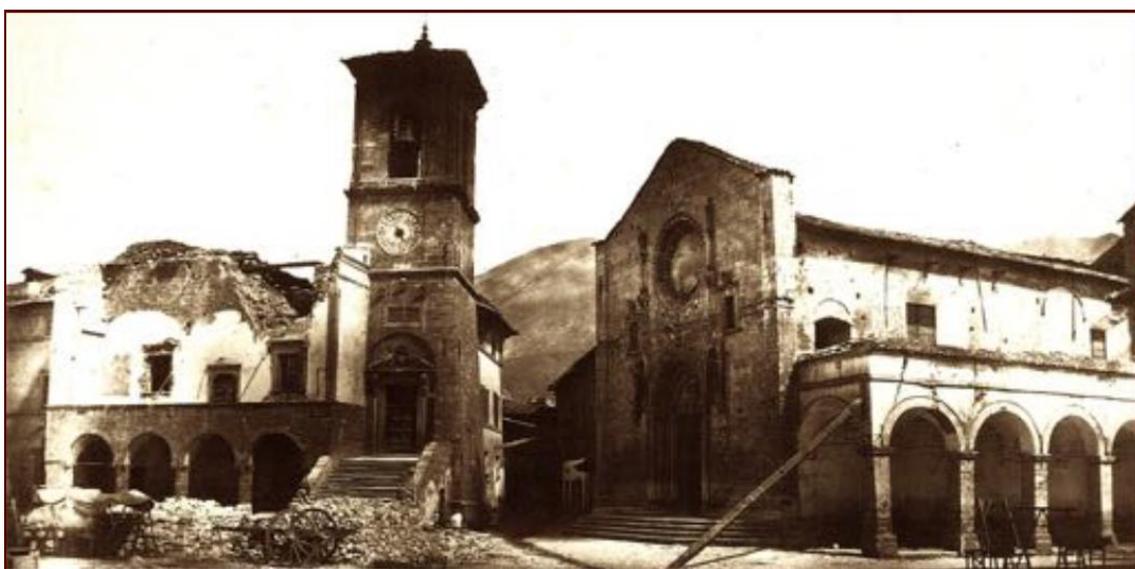


Figura 58: Immagine che raffigura il Palazzo Comunale di Norcia e la Chiesa di S. Benedetto dopo il terremoto del 22 Agosto 1859.

Fonte: Foto di R. Macpherson (Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, *Fondo Becchetti*, Cartella A).

6.3.2 I terremoti del 2016-2017 a Norcia

La sequenza sismica denominata dall'INGV (*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*). “Amatrice-Visso-Norcia” (AVN) rappresenta il terremoto più forte registrato in Italia negli ultimi 30 anni, che ha visto il verificarsi di molteplici eventi di magnitudo sopra il 5.0. La sequenza sismica è iniziata il 24 Agosto 2016 con due terremoti di Mw 6.0 e Mw 5.4 nella zona di Amatrice (RI) ed è proseguita a distanza di due mesi, il 26 Ottobre, con altre due forti scosse di Mw 5.4 e Mw 5.9 nell'area compresa tra i comuni di Visso (MC), Castel S. Angelo sul Nera (MC), Norcia (PG) e Arquata del Tronto (AP). Infine il 30 Ottobre 2016 si è verificato l'evento sismico più forte della sequenza con effetti devastanti, che registrò una magnitudo di 6.5. L'epicentro fu rilevato nei pressi di Norcia e successivamente il terremoto si è esteso velocemente colpendo un vasto settore dell'Italia centrale, interessando quattro regioni: Umbria, Abruzzo, Marche e Lazio¹³⁷.

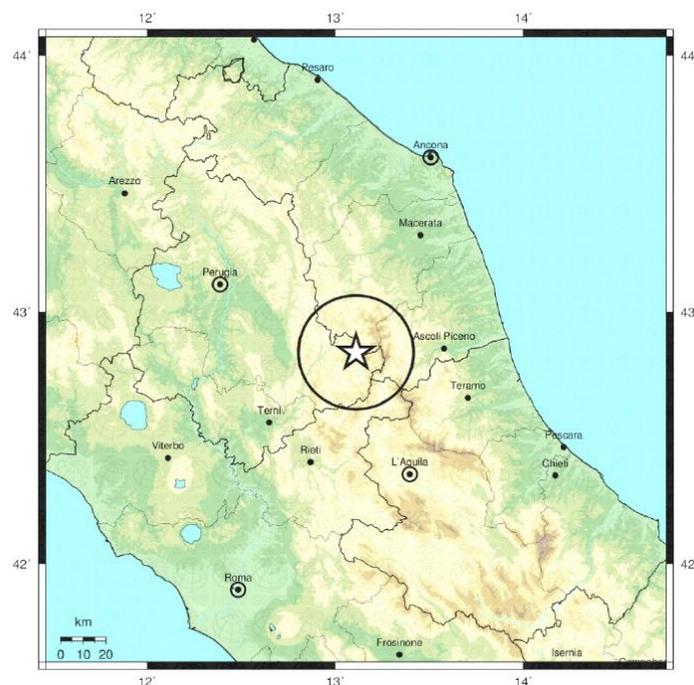
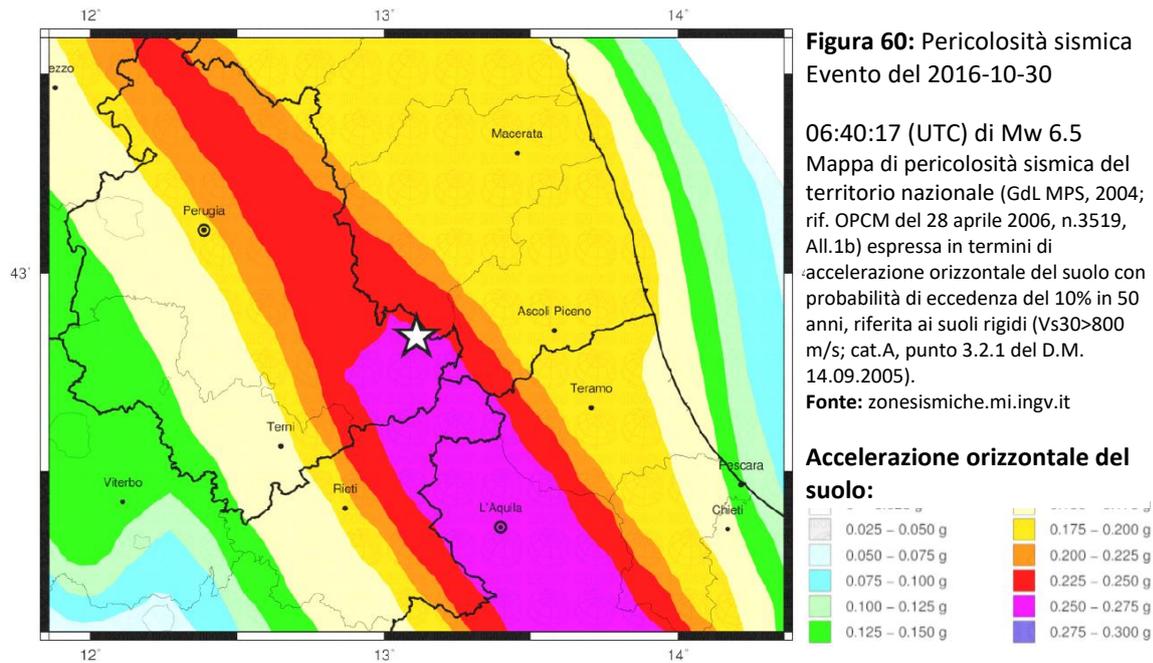


Figura 59: Mappa dell'evento sismico del 30 Ottobre 2016 delle ore 06:40:17 UTC e relativa localizzazione epicentrale.

Fonte: INGV - Relazione di dettaglio: Perugia Mw 6.5 del 2016-10-30, 06:40:17 UTC; versione del 2016-10-30 ore 11:27:08 UTC.

¹³⁷ Bollettino Sismico Italiano (BSI) - Gruppo di Lavoro Sequenza Centro Italia (2019). Rapporto Bollettino Sismico Italiano sulla revisione dei giorni 24-26 agosto; 26-27 ottobre; 30 ottobre-1 novembre 2016.



A distanza di pochi mesi, il 18 Gennaio 2017, l'INGV ha registrato ulteriori tre eventi sismici di $M_w > 5$. Tali eventi si collocano tra la parte meridionale della sequenza sismica iniziata il giorno 24 Agosto 2016 di $M_w 6$, di cui si è detto in precedenza, e la parte nord-orientale della zona interessata dal terremoto del 2009 (terremoto dell'Aquila). L'epicentro di tali eventi sismici si colloca tra le località di Montereale, Capitignano e Campotosto (Aq).

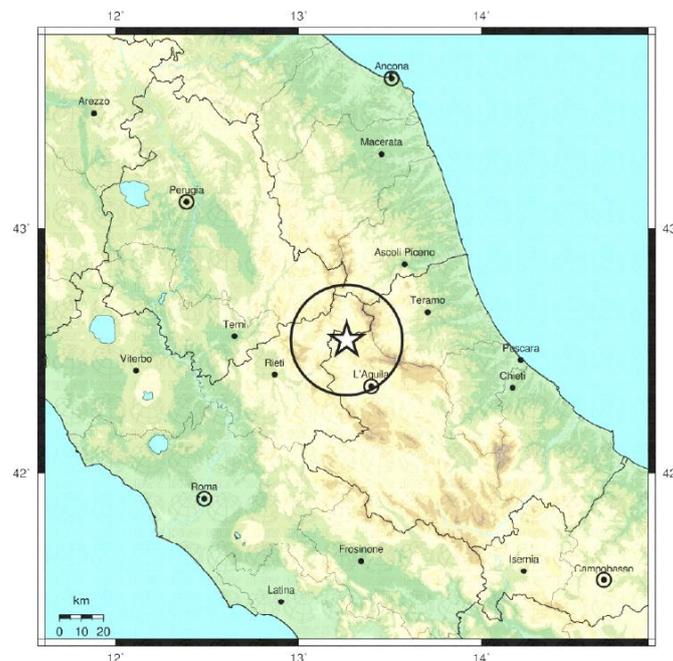
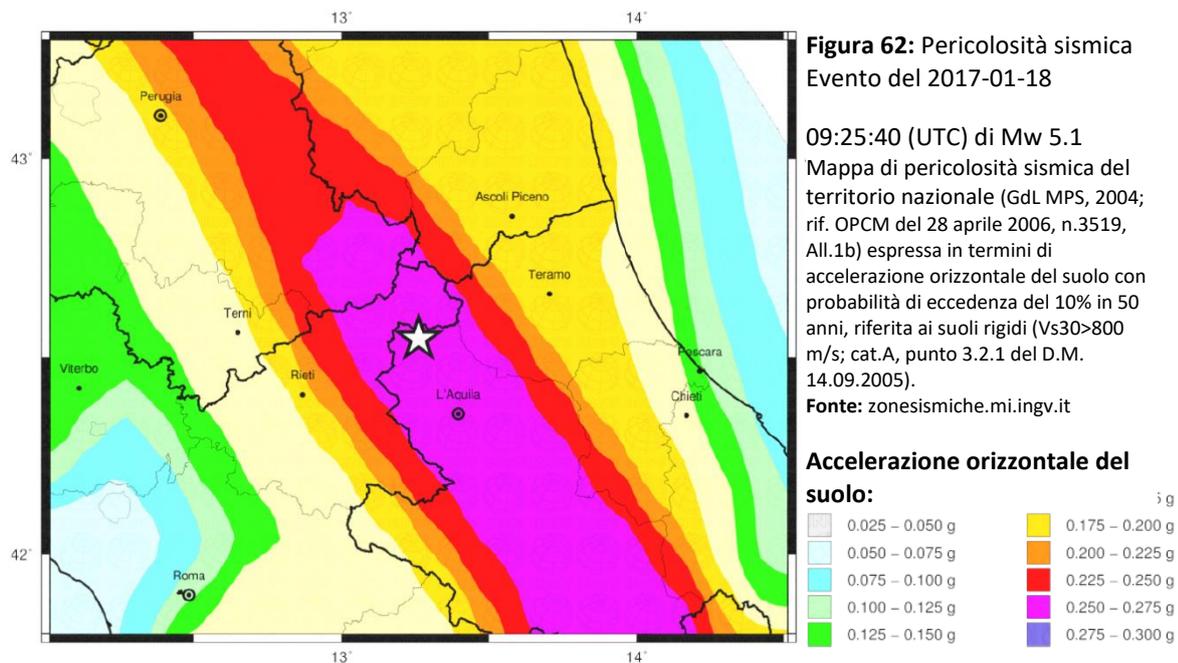


Figura 61: Mappa dell'evento sismico del 18 Gennaio 2017 delle ore 09:25:40 UTC e relativa localizzazione epicentrale.

Fonte: INGV – Relazione automatica: L'Aquila-Mw:5.14 del 2017-01-18 09:25:40 UTC; versione del 2017-01-18, 10:16:01 UTC.



“Il 30 ottobre 2016 sono rimasto scioccato nello scoprire sul mio cellulare le foto del crollo della basilica di San Benedetto a Norcia. [...] Pochi giorni prima ero stato personalmente a Norcia, nella basilica già allora chiusa, per esaminare i danni del terremoto del 24 agosto. I Benedettini avevano subito iniziato a riadattare un vecchio monastero fuori Norcia per trasferirvisi. La maggior parte della popolazione si accampò sui prati circostanti per paura di ulteriori scosse. Non solo avevano perso la casa, ma alcuni anche il reddito, perché legato al turismo, ovviamente non più praticabile. [...] I Benedettini cercarono di aiutare la popolazione al meglio delle loro possibilità”¹³⁸.

Con queste parole l’Abate Primate emerito dell’Ordine dei Benedettini Notker Wolf OSB fornisce una breve descrizione di quale fosse la situazione della città di Norcia a poche ore dal tragico evento. Gli effetti sono stati devastanti e disastrosi, per una città che è stata una volta ancora messa in ginocchio. Tra i danni più rilevanti vi è il crollo quasi totale della iconica basilica di San Benedetto e la Chiesa di S. Maria Argentea. L’apparato edilizio antico del centro storico e quello adiacente alle mura sono quelli che hanno subito i danni maggiori e per questa ragione sono stati subito messi in sicurezza, mentre l’area al di fuori dalle mura meridionali della città è divenuta uno “spazio per l’emergenza”, destinato ad ospitare la popolazione sfollata in provvisorie casette di legno.

¹³⁸ Wolf OSB, P.N., estratto da prefazione a *Norcia città sismica. La basilica di San Benedetto paradigma di rinascite.*, di M.T. Gigliozzi, Campisano Editore, Roma, 2019.

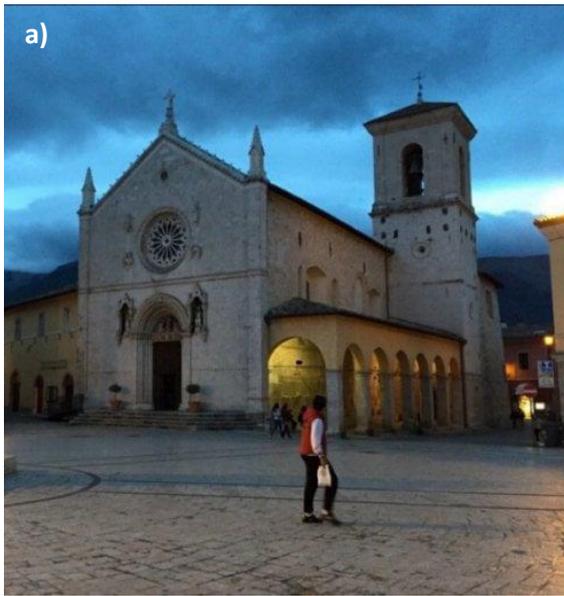


Figura 63: Serie di immagini raffiguranti scorci della città di Norcia pre e post sisma del 2016: Basilica di S. Benedetto (a)(b)(c), crolli di edifici nella “Zona Rossa” (d)(e), Chiesa di S. Maria Argentea (f)(g).

6.3.3 Il nuovo PRG propedeutico alla ripianificazione di Norcia

Il caso della città di Norcia è molto singolare, in quanto risulta chiaro come tutta la sua storia sia legata fortemente agli eventi sismici che l'hanno colpita, alcuni di bassa entità, altri invece dagli effetti devastanti. Negli anni si sono succeduti numerosi eventi catastrofici di questo tipo, sono cambiate le Amministrazioni, tuttavia dal punto di vista normativo è sempre stato difficile dotare la città di linee guida in grado di dirigere correttamente il suo sviluppo. Bisogna aspettare fino al 2019 per assistere all'adozione da parte dell'Amministrazione Comunale di un lungimirante e corposo Piano Regolatore, nella sua parte strutturale, operativa di base e prima fase¹³⁹. Il percorso per la pianificazione del comune norcino è stato un processo lungo e difficoltoso che parte all'inizio degli anni Duemila quando il dibattito è stato aperto ed affrontato dalle varie Amministrazioni che si sono succedute. Il percorso di pianificazione di Norcia si è dovuto bruscamente interrompere a seguito del sisma del 2016 per ovvi motivi di forza maggiore e si sono dovuti aspettare altri tre anni per dotare la città di un effettivo PRG. La versione di quest'ultimo, avvenuta dopo quattro rielaborazioni, risulta fortemente segnata nelle sue linee guida dagli eventi sismici che negli ultimi anni hanno investito la comunità norcina, i cui effetti devastanti hanno inciso fortemente sull'assetto territoriale e insediativo di Norcia, oltre che segnato una ferita profonda nella vita degli abitanti. Il nuovo PRG di cui si è dotata la città individua quindi le linee guida per attuare politiche di valorizzazione e rilancio del territorio, da cui ne derivano gli indirizzi generali che regolano in modo particolare le strategie di ricostruzione/messa in sicurezza del patrimonio edificato della città.

Il nuovo PRG non avrà l'obiettivo di ripristinare "com'era e dov'era" lo stato dei luoghi precedente al terremoto, ma dovrà perseguire un obiettivo ancora più grande, ovvero quello di creare "un nuovo assetto frutto di equilibri e dinamiche (tra abitanti e luoghi) profondamente mutate e modelli di sviluppo e di insediamento completamente rinnovati"¹⁴⁰.

Al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati per questo lavoro di tesi si è deciso di analizzare e prendere in considerazione soltanto alcune delle strategie di valorizzazione adottate nel PRG, soffermandosi in particolare su quelle legate agli eventi sismici e alle conseguenti misure di tutela, prevenzione e riduzione della vulnerabilità del tessuto edilizio cittadino. Tutti questi dati ed informazioni costituiranno lo scheletro su cui si formerà il modello Urban BIM della città di

¹³⁹ Si fa riferimento alla seduta del Consiglio Comunale di Norcia che il 19 Aprile 2019 ha deliberato l'adozione di un Piano Regolatore che la città aspettava da ormai vent'anni. Fonte: www.comune.norcia.pg.it.

¹⁴⁰ *Nuovo PRG – Parte Strutturale*, Aprile 2019, p. 39.

Norcia, che potrà essere usato come strumento di supporto a tali politiche di valorizzazione e tutela del territorio.

A tal proposito all'interno del Piano Regolatore è stata adottato un *Manifesto per la Ricostruzione*, il quale riassume i principi fondamentali da porre alla base del Piano che dovranno da qui in avanti ispirare e guidare tutte le iniziative di sviluppo della città. Il Manifesto è composto dalle seguenti parti¹⁴¹:

- **Prima parte.** Dieci Politiche Territoriali di valorizzazione e rilancio (PT), una sorta di manifesto-guida per l'intero Piano Regolatore, da cui derivano degli Indirizzi Generali;
- **Parte seconda.** Elenco degli Indici Generali contenenti le strategie per attuare le politiche del punto precedente (IG);
- **Parte terza.** All'interno degli IG vengono a loro volta individuati degli Obiettivi di Piano (OP), ovvero azioni per mezzo delle quali si concretizzano le suddette strategie¹⁴².

Tabella 6: Manifesto per la ricostruzione di Norcia, estratto dal Nuovo PRG di Norcia PT.01.

PT.01

Norcia Città Sicura

La sicurezza. Essenziale per il nostro patrimonio immobiliare. Il terremoto nella nostra terra non è un caso, né un incidente di percorso e né tanto meno qualcosa da nascondere a noi stessi. Dobbiamo ricostruire con la consapevolezza che le nostre case, chiese ed edifici pubblici, dovranno poterci difendere dal terremoto. Dovremmo poter dire: a Norcia, si è sicuri! Per poterlo fare, dobbiamo spendere quanto più diligentemente possibile le risorse economiche che ci verranno messe a disposizione; attivare virtuosi processi di conoscenza delle caratteristiche sismiche dei nostri suoli anche al di là degli strumenti e delle norme ora disponibili. Dobbiamo spingere tutti, istituzioni, professionisti, imprese e cittadini, ciascuno per le proprie competenze, verso un processo di responsabilizzazione all'uso delle nuove tecniche e tecnologie di ricostruzione e monitoraggio. E dobbiamo comunque attrezzarci con spazi che, qualora dovessero servirci, possano facilmente accogliere attività e necessità legate dell'emergenza. Si può fare. Lo dobbiamo fare!

¹⁴¹ Ivi, pp. 80-87.

¹⁴² Per visionare il documento completo relativo al *Manifesto per la Ricostruzione* consultare l'Allegato A.

Tabella 7: Manifesto per la ricostruzione di Norcia, estratto dal Nuovo PRG di Norcia PT.08.

PT.08 **Norcia Città Smart**

Una città “intelligente” per una comunità “smart”. Il cittadino al centro del sistema dei servizi. Una città nuova dovrà essere anche innovativa. La capacità di innovare nel solco della tradizione dovrà essere caratteristica fondamentale del sistema dei servizi alla persona, aziendali, pubblici e turistici. Con la fibra aumenteranno le opportunità di connessione tra P.A. e cittadini. Avremo una smart grid al servizio della quotidianità, attraverso la quale poter disporre di sistemi di domotica in tutti gli edifici, di servizi di ricarica di automobili e “device” diffusi sul territorio. Tutte le nostre case dovranno essere predisposte per l’ingresso e la distribuzione della fibra e favorire l’interconnessione, mediante canalizzazioni interne. Efficientamento energetico, qualità dell’aria, qualità delle acque, monitoraggio delle strutture, videosorveglianza, BigData, mobilità dolce, fibra e 5G, sono temi che dovranno essere presi in considerazione da ogni tecnico in coerenza con il più ampio concetto di città smart.

Tabella 8: Manifesto per la ricostruzione di Norcia, estratto dal Nuovo PRG di Norcia IG.01.

IG.nn	Indirizzi Generali	Op.n.nn	Obiettivi di Piano
IG.01	<p>→ Ridurre i rischi naturali per la città e il territorio</p> <p>La riduzione dei rischi naturali dell’ambiente urbano e del territorio è un obiettivo primario per il DP del nuovo PRG di Norcia, insieme con gli obiettivi di sviluppo sostenibile, e si inserisce in un contesto di sempre maggiore consapevolezza delle importanti fragilità cui il Comune è sottoposto. Prima fra queste, anche a causa dei ripetuti eventi cui il territorio è stato colpito, quella relativa al rischio sismico.</p>	Op.1.1.	Definire le previsioni di crescita e sviluppo urbano in coerenza con gli strumenti di prevenzione multirischi.
		Op.1.2.	Rafforzare la capacità di tenuta del capoluogo, delle frazioni e del territorio agli eventi sismici.
		Op.1.3.	Incrementare le dotazioni di aree per usi di protezione civile nelle prossimità degli abitati, in coordinamento con il sistema delle infrastrutture e delle funzioni urbane.
		Op.1.4.	Favorire interventi di rafforzamento sismico sulle parti di insediamento che interessano le connessioni strategiche.
		Op.1.5.	Definire un programma per le zone instabili per il territorio.

Tabella 9: Manifesto per la ricostruzione di Norcia, estratto dal Nuovo PRG di Norcia IG.03.

IG.03	<p>→ Tutelare e valorizzare le risorse ambientali e paesaggistiche di Norcia - Il sistema insediativo di impianto storico</p> <p>Gli obiettivi definiti dal DP per il sistema insediativo e il patrimonio storico-culturale, integrano gli obiettivi di ricostruzione, ripristino, consolidamento e riduzione della vulnerabilità del patrimonio stesso, sia alla scala edilizia che urbana e territoriale, con quelli di valorizzazione e rifunionalizzazione per lo sviluppo.</p>	Op.3.1.	Salvaguardare e valorizzare la struttura insediativa storica del territorio, con particolare riferimento ai tessuti storici del capoluogo e delle frazioni, e al rapporto tra beni architettonici e storico-identitari e paesaggio.
		Op.3.2.	Riqualificare e consolidare e le forme insediative presenti nello spazio rurale, con particolare attenzione ai Beni culturali ed edilizia rurale tipica, tenendo conto delle diverse situazioni ambientali in cui ricadono.
		Op.3.3.	Recuperare e rifunionalizzare il patrimonio edilizio rurale esistente, con riferimento alle opportunità in termini di ampliamento e cambio d’uso consentite dal T.U.
		Op.3.4.	Promuovere la riqualificazione di aree ed edifici con particolari situazioni insediative nello spazio rurale che, per ubicazione, caratteri morfologici e ambientali e attività svolte, necessitano di attenzione dal punto di vista paesaggistico-ambientale.

Per proseguire e portare avanti tali obiettivi, e più in generale i piani strategici per lo sviluppo della città, è necessario che questi vengano affidati ad una serie di Azioni Strategiche (AS), opportunamente studiate e pianificate di modo che si possano tradurre in operazioni concrete tutte le PT che si decide di adottare. Di seguito viene mostrato lo schema generale del processo appena descritto su cui si basa in linea generale il Manifesto, partendo dalla fase di individuazione delle Politiche Territoriali fino al raggiungimento di veri e propri Progetti Strategici a sostegno dello sviluppo della città.

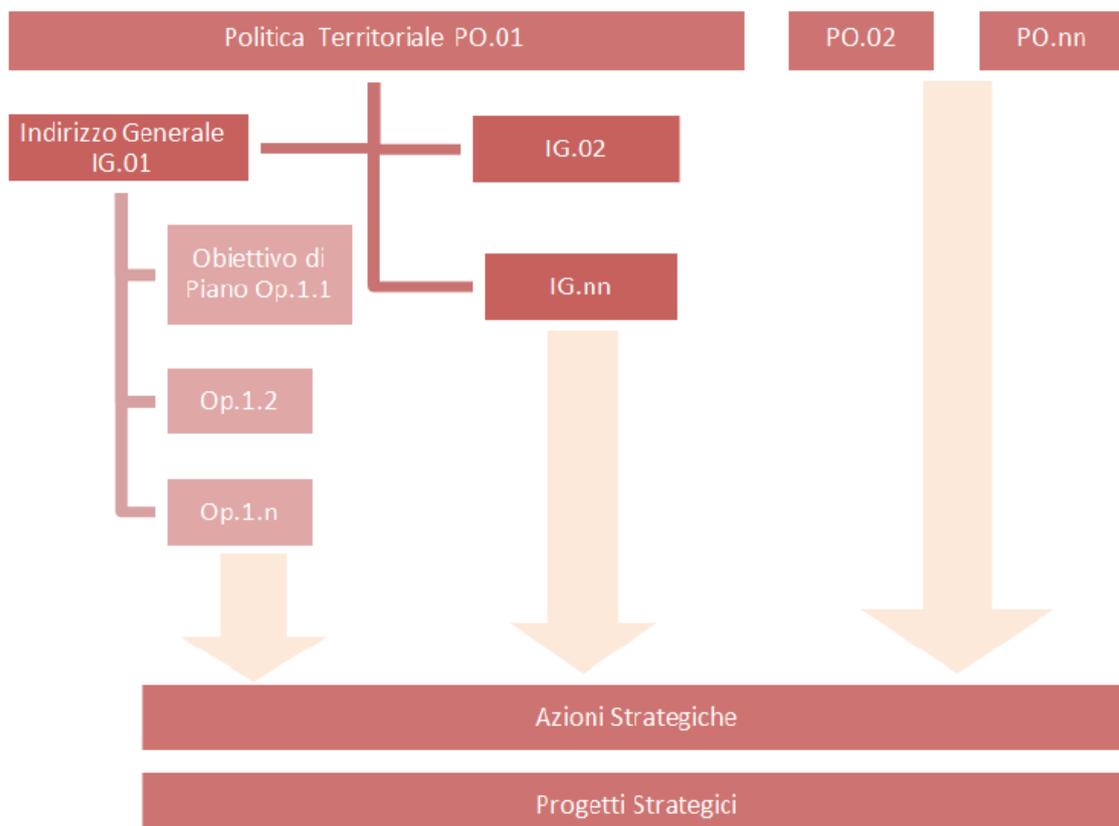


Figura 64: Schema generale attuativo del Nuovo PRG di Norcia.
Fonte: Nuovo PRG – Parte Strutturale, Aprile 2019

7. CAMPAGNE DI RILIEVO 3D ED ELABORAZIONE DEI DATI

7.1 Le campagne di rilievo 3D

In data 17 Luglio 2018 ho preso parte insieme al Team studentesco DIRECT (DISaster RCovery Team) del Politecnico di Torino alla prima delle due campagne di rilievo in Centro Italia, con la finalità di studiare e documentare lo stato di fatto delle zone colpite dai violenti sismi del 2016-2017. Le operazioni di rilievo sono durate cinque giorni, tempo necessario per svolgere nella maniera più opportuna i vari sopralluoghi e rilievi 3D nelle città oggetto di analisi: Accumoli (RI), Pescara del Tronto (AP), Amatrice (RI), Varoni (RI) e Norcia (PG). Focalizzandoci principalmente sulla città di Norcia, oggetto di questo caso studio, la prima campagna ha riguardato la mappatura completa della città e le chiese di S.Francesco e S.Maria Argentea. Nella seconda campagna, avvenuta a Settembre 2018, lo studio per l'acquisizione dei dati si è focalizzato sulla fortezza della Castellina, sulla Piazza S.Benedetto, sulla chiesa di S.Lorenzo e sulle Mura. In modo particolare questa tesi prenderà in esame, oltre ai dati relativi al rilievo dell'intera città, la Zona Rossa e l'area della piazza S.Benedetto, con focus particolare sulla Castellina.

Per la generazione di un modello 3D completo, preciso ed affidabile deve sempre esserci alla base un rilievo metrico scrupoloso e ben organizzato, che permetta l'acquisizione di tutti quei dati ed informazioni utili alla rappresentazione di un manufatto. In questo particolare caso, per il rilievo della città di Norcia e della fortezza della Castellina, sono state utilizzate diverse tecniche di rilievo: rilievo topografico da terra (con Stazione Totale e GPS/GNSS), fotogrammetria aerea (UAVs) e tecniche LiDAR (Laser Scanner terrestre). Questo tipo di approccio al rilievo viene definito multisensore, in quanto a seconda degli strumenti utilizzati si possono ottenere dati ed informazioni che progressivamente aumentano il loro livello di dettaglio, a seconda della scala a cui si intende fare riferimento. In una situazione in cui ci si trova a dover rilevare un'intera città, in un contesto storico come quello in questione e con l'obiettivo di creare un modello urbano multiscala, un approccio multisensore permette di ottenere i risultati migliori.

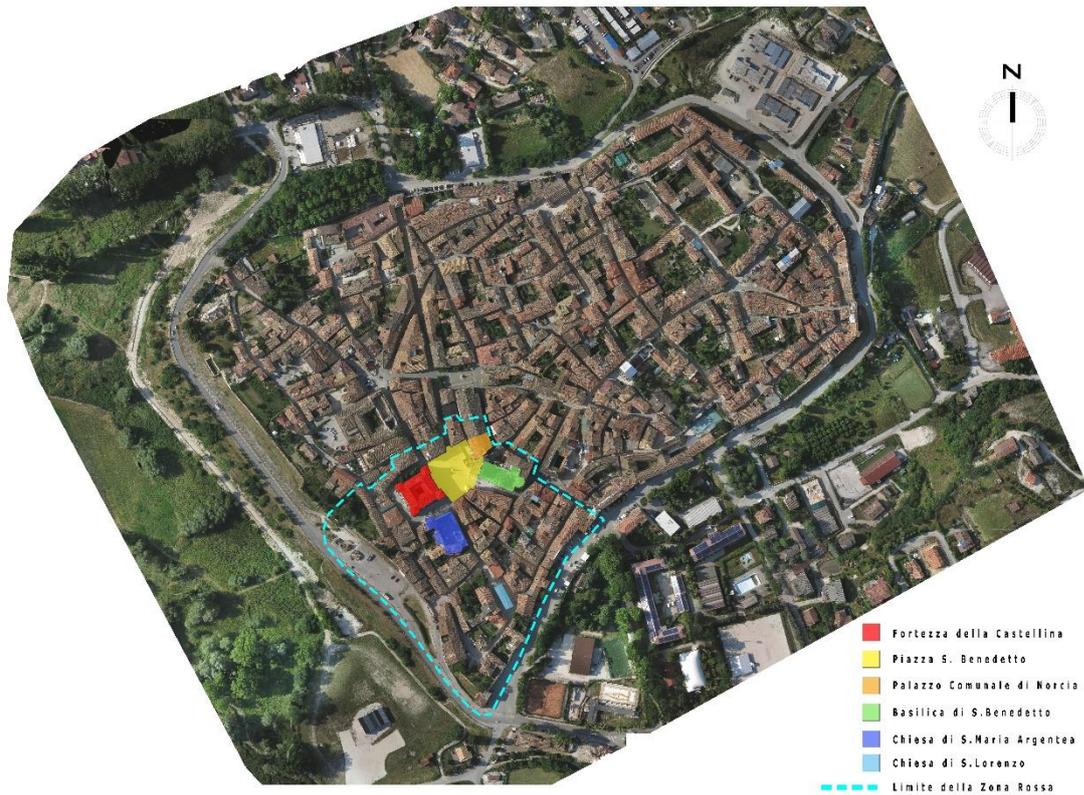


Figura 65: Ortofoto della città di Norcia effettuata dal drone UAV eBee dove vengono evidenziati i confini della Zona Rossa e i principali monumenti storici presenti al suo interno.



Figura 66: Immagine scattata dal drone Spark DJI raffigurante la fortezza della Castellina di Norcia.
Fonte: Team DIRECT Politecnico di Torino.

7.1.1 Inquadramento GPS/GNSS

La prima operazione che è stata eseguita prende il nome di “rilievo di inquadramento” dove si prevede l’istituzione e la misurazione di una rete topografica tramite stazione GNSS. La rete di inquadramento è costituita da un numero limitato di punti (vertici), opportunamente disposti sul territorio, chiamati in questo caso: NOR100, NOR200, NOR300, NOR400, NOR500.



Figura 67: Rete di inquadramento della Piazza S. Benedetto di Norcia.

Per quanto riguarda il rilievo della Castellina ogni vertice è stato materializzato a terra tramite appositi chiodi in acciaio con rondella, in modo da poterli riutilizzare in campagne di rilievo successive senza perdere il riferimento. A tal proposito si procede anche alla stesura delle monografie dei vertici, fase che prevede la trascrizione di tutte le informazioni utili all’identificazione del punto. In queste schede oltre all’inquadramento territoriale del vertice, corredato da apposite foto, è buona prassi indicare la sua tipologia materica, l’operatore, lo strumento utilizzato per il rilievo, l’altezza strumentale, data operazioni, ora di inizio e fine operazioni. Una volta materializzati i vertici, per rilevamento del NOR200, del NOR300 e la conseguente georeferenziazione dell’intera poligonale della piazza e del castello, sono stati posizionati, per un certo periodo di tempo, dei ricevitori GPS/GNSS Leica muniti di antenne

geodetiche multicostellazione. Per garantire poi un collegamento tra le varie stazioni della rete è stata opportunamente realizzata una poligonale attraverso l'utilizzo della Stazione Totale e di prismi circolari montati su treppiedi, adottando la modalità del centramento forzato.

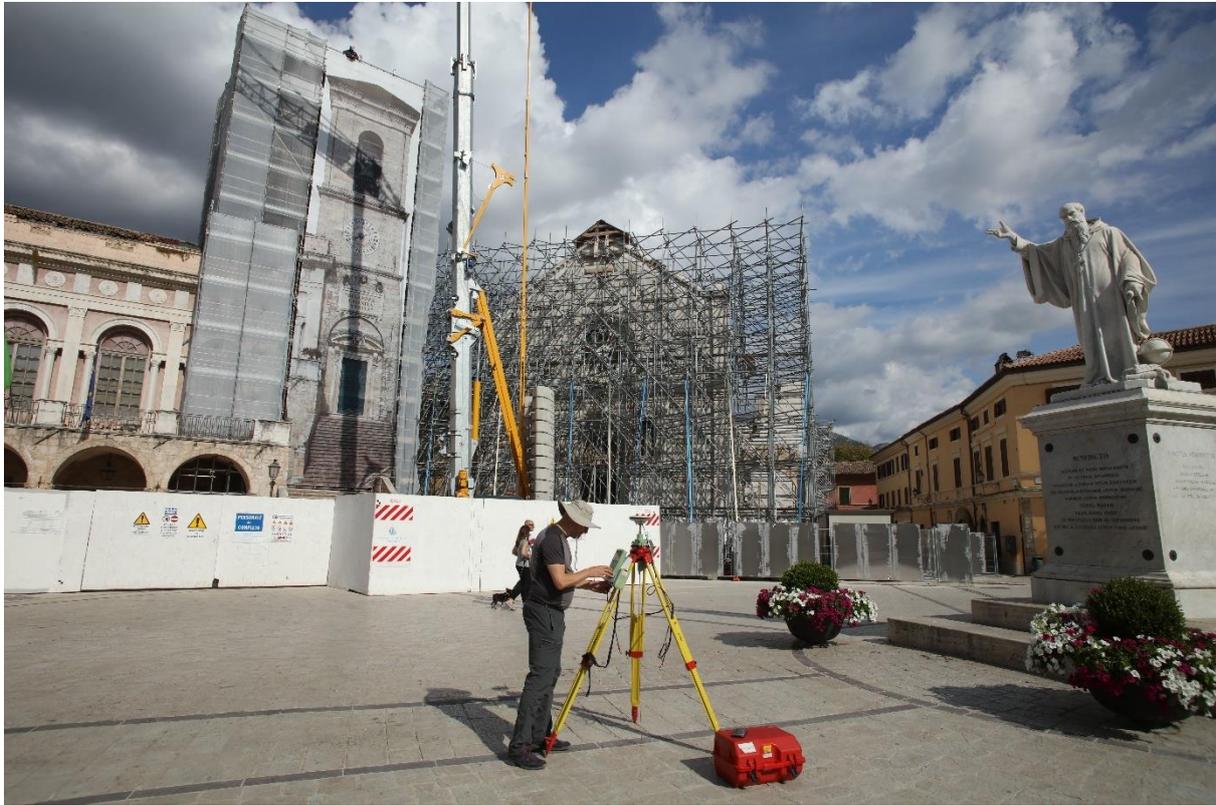


Figura 68: Ricevitore satellitare GPS/GNSS in fase di acquisizione del vertice NOR300 nella piazza S.Benedetto.
Fonte: Team DIRECT Politecnico di Torino.

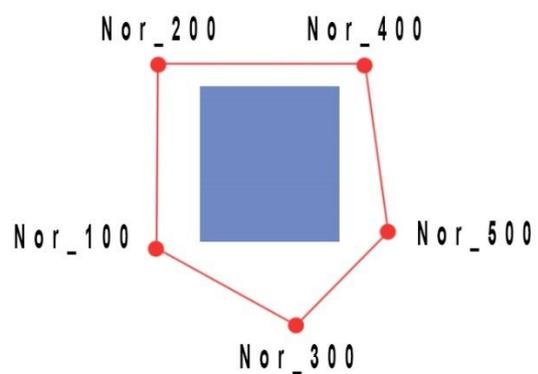


Figura 69: Schema della rete di inquadramento realizzata per il rilievo della fortezza della Castellina.
Fonte: Team DIRECT Politecnico di Torino.

7.1.2 Rilievo celerimetrico con Stazione Totale

In questa seconda fase sono stati posizionati sulle superfici dell'oggetto da rilevare (la fortezza della Castellina), a terra nella piazza e sugli edifici che su di essa si affacciano una serie di punti materializzati mediante target. Sono stati impiegati appositi target a scacchiera di forma quadrata, facilmente riconoscibili sia per la fase di collimazione con Stazione Totale (al fine di ottenere le coordinate legate al sistema GNSS) che per quella della registrazione delle scansioni laser. Una volta che i target sono stati posizionati in maniera omogenea nell'area oggetto di rilievo, si è proceduto a misurarli mediante l'utilizzo della Stazione Totale.

Una volta terminata la procedura della messa in stazione dello strumento, il rilievo dei punti di controllo è avvenuto mediante misure topografiche di dettaglio utilizzando il metodo celerimetrico, orientando cioè la stazione su di un vertice noto (della rete di inquadramento). Il rilievo celerimetrico di dettaglio ha come obiettivo principale quello di associare le coordinate dei singoli punti collimati e misurati alla rete di inquadramento generale, permettendo quindi di georeferire in un unico sistema di riferimento tutte le misure effettuate durante il rilievo.



Figura 70: Fase di collimazione dei target con Stazione Totale ed esempio di target posizionati sulle facciate dell'edificio della Zona Rossa.

Fonte: Team DIRECT Politecnico di Torino.

7.1.3 Rilievo fotogrammetrico da UAV

Per quanto riguarda le operazioni di rilievo dell'intero agglomerato urbano di Norcia si è optato per un rilievo aerofotogrammetrico tramite UAV *eBee*, al fine di riconoscere l'orografia del territorio e le falde dei tetti degli edifici. In un secondo momento ci si è invece focalizzati sul rilievo di dettaglio di alcune parti della città, individuate nella Piazza di S.Benedetto. Particolare attenzione è stata riservata alla fortezza della Castellina, monumento simbolo della città, che ha subito alcuni danni ma non tali da causarne il crollo. Il rilievo aerofotogrammetrico di dettaglio è stato eseguito mediante l'utilizzo del drone *Spark* della *DJI*.

La prima operazione effettuata in questa fase ha riguardato il posizionamento sul terreno da rilevare di appositi target, per permettere la visibilità di un segnale a distanza. Su di essi viene solitamente disegnato un simbolo circolare o più comunemente a scacchiera, in modo che il suo riconoscimento sia facilitato anche da lunghe distanze, come nel caso dei droni. Nel caso della campagna di Norcia si è optato per l'utilizzo di due tipologie di target:

- **Target 50x50 cm:** posizionati a terra e di forma quadrata, sono utili per essere riconosciuti facilmente da lunghe distanze. Sono stati utilizzati per il rilevamento dell'intera città di Norcia ed il loro posizionamento è stato studiato in modo essere visibile dalla camera del drone (*eBee*) e coprire l'intera area urbana.
- **Target 10x10 cm:** anch'essi di forma quadrata ma dalle dimensioni più ridotte, sono stati utilizzati per il rilievo di dettaglio descritto in precedenza (Stazione Totale), per il rilievo da drone (*Spark DJI*) e per la registrazione delle scansioni laser (di cui si parlerà in seguito). Sono stati posizionati lungo le facciate della Castellina, nella piazza S.Benedetto e sulle facciate degli edifici che si affacciano su di essa.



Figura 71: Target utilizzati per il rilievo aerofotogrammetrico del drone *eBee*.

Fonte: Team DIRECT Politecnico di Torino.

Per quanto riguarda le operazioni preliminari al volo *eBee*, dopo aver posizionato i target sul terreno si è proceduto a ricavarne la corretta posizione tramite stazione GNSS. Per fare ciò è stato utilizzato il servizio *Leica Smartnet Italpos*, il quale mette a disposizione degli operatori una rete di stazioni permanenti GNSS a copertura nazionale da utilizzare come supporto in caso di necessità durante le operazioni di rilievo. Una volta selezionata la stazione di riferimento di coordinate note (*master*), un operatore ha avuto il compito di posizionarsi per circa 10-15 secondi sopra ciascun target con la stazione ricevente (*rover*). Il corretto posizionamento di ogni stazione ricevente è garantito dalla correzione in tempo reale fornita dalla stazione di riferimento precedentemente impostata (tramite il servizio *Smartnet Italpos*), la quale effettua tali rettifiche inviando un messaggio NRT (*Nearest*) al *rover*. Tale procedura garantisce quindi precisione ed omogeneità delle misure all'interno dell'intera area coperta dalla rete.

Il drone utilizzato in questa fase è l'*eBee Classic*, è un particolare tipo UAV ad ala fissa ed elica orizzontale posteriore realizzato quasi interamente in *elapor* (polipropilene espanso), un materiale duttile, leggero ma allo stesso tempo resistente agli urti. Il corpo centrale ospita il motore elettrico ultra silenzioso, la batteria al litio, un antenna radio, un elica nella parte posteriore e una camera; le ali invece vengono aggiunte alla struttura centrale mediante appositi dispositivi in carbonio. Per avviare il motore occorre scuoterlo tre volte, quindi, una volta verificata l'assenza di ostacoli nell'area circostante, è possibile lanciarlo in aria imprimendogli manualmente una forza semiverticale nella direzione del vento se presente. Una volta in volo è

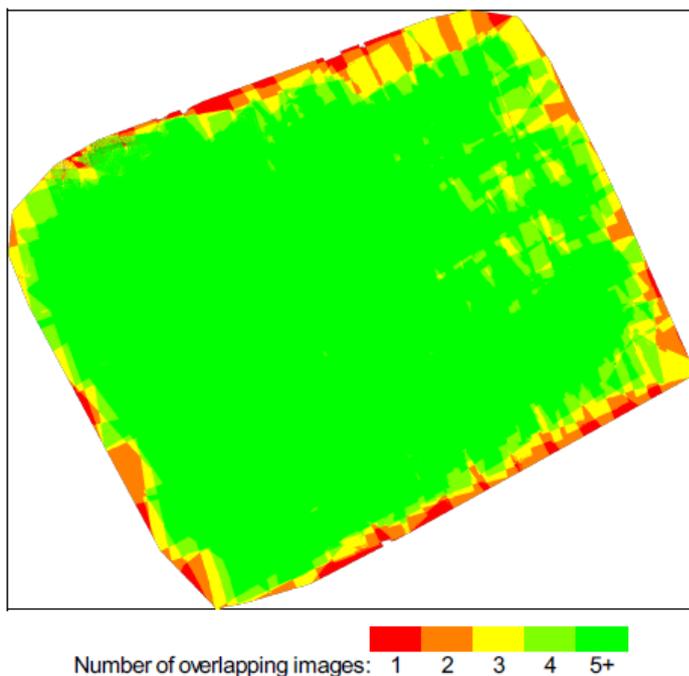


Figura 72: Overlapping dei fotogrammi scattati dal drone eBee.
Fonte: Report volo *eBee* di Norcia, Team DIRECT Politecnico di Torino

possibile controllare la rotta, precedentemente impostata, grazie ad un computer, in attesa che il mezzo atterri nella zona in cui è decollato, in un'area libera di almeno 40x40 m. Ovviamente, come in tutti gli APR (*Aeromobili a Pilotaggio Remoto*), si ha la possibilità di un controllo diretto del drone, per mezzo di radiocomandi manuali, nel caso si verificassero situazioni di emergenza.

Uno degli aspetti fondamentali per la buona riuscita di un rilievo di questo tipo è quindi legata alla pianificazione del volo. Il sistema utilizza un software

chiamato *eMotion 2* per pianificare e controllare il volo, il quale permette in una fase preliminare di impostare sia la cartografia di background sulla quale verrà definita la regione che si desidera rilevare con l'*eBee* (per la cartografia di base è consentita l'importazione di files .kml, cartografie personalizzate, mappe di Google Earth), ma soprattutto il DTM utile per definire le quote di volo. Una volta poi che è stato impostato il GSD, *Ground Sampling Distance*, (fino a 1.5 cm/0.6 pollici per pixel) e l'*overlap* dei fotogrammi, il software calcola automaticamente il piano di volo, determinando la quota di volo migliore e mostrando a schermo la traiettoria che il drone seguirà. Il mantenimento della rotta predefinita è assicurata dalla presenza a bordo di un ricevitore GNSS. Per assicurare il corretto svolgimento della missione *eMotion 2* offre una modalità di volo virtuale che simula la forza e la direzione del vento, consentendo eventualmente all'operatore di apportare modifiche al piano di volo prima del lancio. Tramite il drone *eBee* sono state scattati 207 fotogrammi per inquadrare tutta la città nursina.

Caratteristiche tecniche¹⁴³:

- Peso: 0.69 Kg o 1,52 lb (inclusi camera e batteria)
- Apertura alare: 96 cm (37.8 in)
- Materiale: schiuma EPP, carbonio, materiale composito
- Motore: elettrico, poco rumoroso, brushless
- Antenna radio: 2.4 GHz
- Range antenna radio: 3 km nominali (fino a 8 km)
- Camera: Canon Power Shot S110
- Velocità max.: 40-90 km/h (11-25 m/s o 25-56 mph)
- Res. Vento: fino a 45 km/h (12 m/s o 28 mph)
- Autonomia di volo: 50 minuti
- Max copertura volo: 12 km² (4.6 mi²)



Figura 73: Immagine raffigurante il drone UAV eBee Classic dell'azienda SenseFly.
Fonte: www.sensefly.com.

Per ciò che concerne la pianificazione del volo *eBee* sulla città di Norcia sono stati inseriti alcuni input nel software per la risoluzione del volo:

- Stazione di partenza e area da sorvolare;
- Risoluzione al suolo 4.3 cm/pixel;
- Overlapping fotogrammi (longitudinale e laterale) 80%;
- ATO (Above the Take-off Altitude) circa 120m dalla stazione di partenza.

¹⁴³ Le informazioni e i dati tecnici dello strumento sono consultabili al sito internet della casa costruttrice: www.sensefly.com.

Una volta inseriti questi dati il software ha così potuto pianificare la durata del volo (20 minuti), il raggio d'azione (0.708 km²) e il numero di strisciate. Le acquisizioni dei fotogrammi sono state effettuate utilizzando una macchina fotografica Canon Power Shot S110.

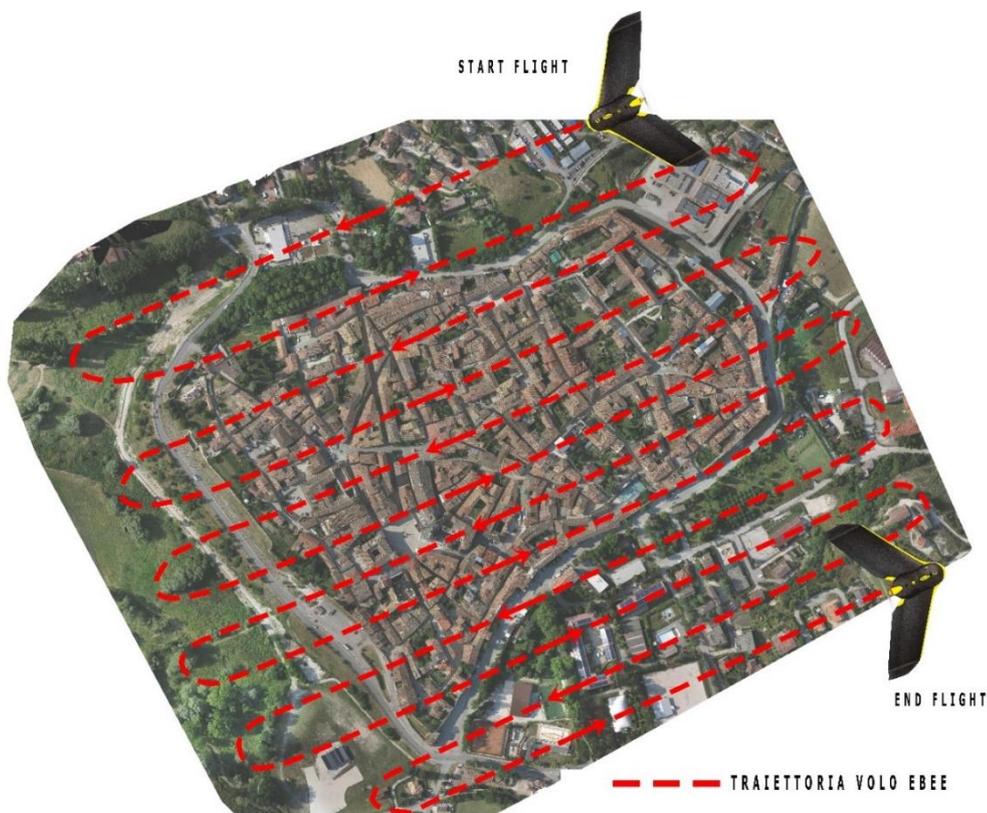


Figura 74: Simulazione del piano di volo eBee realizzato per il rilievo della città di Norcia.



Figura 75: Fase di lancio del drone eBee.
Fonte: Team DIRECT Politecnico di Torino.

Lo *Spark* della DJI è un minidrone multirottore dalle dimensioni e dal peso ridotti, dotato di funzioni intelligenti per il controllo del volo, stabilizzazione meccanica ed alta risoluzione di immagini e video. L'ossatura principale è rappresentata da un telaio, al quale viene montata la scocca centrale che racchiude al suo interno: una centralina elettronica, una batteria, una camera e una gimbal a 2 assi. I motori sono posizionati all'estremità dei quattro bracci che compongono il telaio e permettono di fornire la potenza meccanica necessaria a far alzare il mezzo. Questa potenza viene trasferita alle eliche (di plastica o in fibra di carbonio) che a loro volta la trasformano nel movimento di un fluido, in questo caso l'aria, per generare la spinta necessaria a far alzare il drone¹⁴⁴. Lo *Spark* nello specifico è dotato di quattro motori con altrettante eliche, e per questo motivo appartiene alla famiglia dei droni quadricottero. Il volo può essere controllato direttamente tramite il proprio Smartphone scaricando l'App fornita da DJI e collegando il dispositivo mobile al drone tramite Wi-fi, oppure per mezzo di un radiocomando ospitante il proprio Smartphone, anche in questo caso entrambi gli strumenti devono essere associati al velivolo. In questo caso, la buona riuscita delle operazioni dipende unicamente dall'esperienza del pilota, in quanto non vi è la possibilità di programmare il volo con lo *Spark*, come accadeva invece nell'esempio precedente¹⁴⁵.

Caratteristiche tecniche:

- Peso: 300 g
- Dimensioni: 143 x 143 x 55 mm
- Velocità max.: 50 km/h (in modalità Sport e senza vento)
- Autonomia di volo: 16 minuti (a 20 km/h costanti e senza vento)
- Temperatura operativa: 0 - 40° C
- Pot. Trasmettitore: 2.4 GHz
- Camera: CMOS 1/2.3" (12MP)
- Max. risoluzione immagine: 3968 x 2976 pixel
- Sistema di pos. satellitare: GPS/GLONASS
- Max. distanza trasmissione Wi-fi: 100 m (distanza), 50 m (altezza) senza ostacoli.



Figura 76: Immagine raffigurante il minidrone Spark dell'azienda DJI.
Fonte: www.dji.com.

¹⁴⁴ G.De Meis, *Manuale sull'impiego dei droni.*, 2. ed., Phasar Edizioni, 2018, p.12.

¹⁴⁵ Le informazioni e i dati tecnici dello strumento sono consultabili al sito internet della casa costruttrice: www.dji.com.

Tramite il drone *Spark* sono stati scattati 666 fotogrammi e, al fine di inquadrare nel miglior modo possibile il complesso della Castellina e la piazza S.Benedetto su cui la fortezza si affaccia, sono stati effettuati i seguenti voli:

- 1 volo nadirale sulla piazza;
- 2 voli con inclinazione 45° della camera sulla piazza (uno trasversale e uno longitudinale);
- 1 volo orbitale sulla piazza;
- 1 volo nadirale sulla Castellina;
- 2 voli orbitali sulla Castellina (uno per documentare fronti esterni e uno per il chiostro interno).

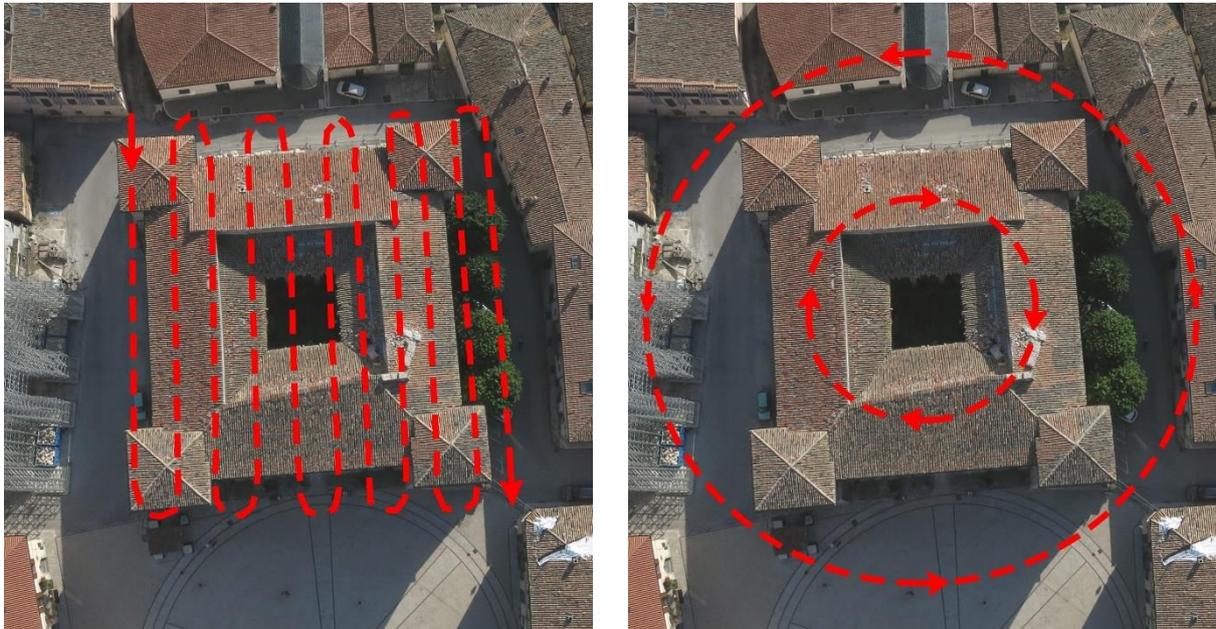


Figura 77: Esempio di rilievo fotogrammetrico con il drone Spark DJI della fortezza della Castellina. In particolare volo nadirale (sinistra) e voli orbitali (destra).

7.1.4 Rilievo LiDAR

Il rilievo topografico iniziale è stato successivamente integrato tramite un rilievo di tipo LiDAR. Per effettuarlo è stato utilizzato lo strumento FARO Focus 3D 120, dotato di un sensore attivo a differenza di fase. Nel caso specifico sono state effettuate 21 scansioni, di cui tredici utili per l'acquisizione dei dati relativi alla Piazza e agli edifici che si affacciano su di essa e otto collocate attorno al complesso della Castellina (Fig.78).



Figura 78: Posizionamento dei laser scanner da cui sono state eseguite le scansioni.

Il laser scanner FARO Focus 3D 120 è un prodotto della FARO, azienda leader nella produzione di sistemi portatili di misura, documentazione e imaging, è stato progettato specificatamente per essere utilizzato sia in ambienti interni che esterni e numerosi sono i suoi campi di applicazione: architettura, ingegneria, edilizia, pubblica sicurezza ed indagini forensi o progettazione di prodotti. Il suo essere compatto e leggero sommato al display touchscreen, rendono questo strumento facilmente trasportabile ed intuitivo da utilizzare. Viene definito come un multisensore, in quanto all'interno dello scanner sono alloggiati una bussola per orientare le scansioni, un sensore di altezza ed un compensatore biassiale.

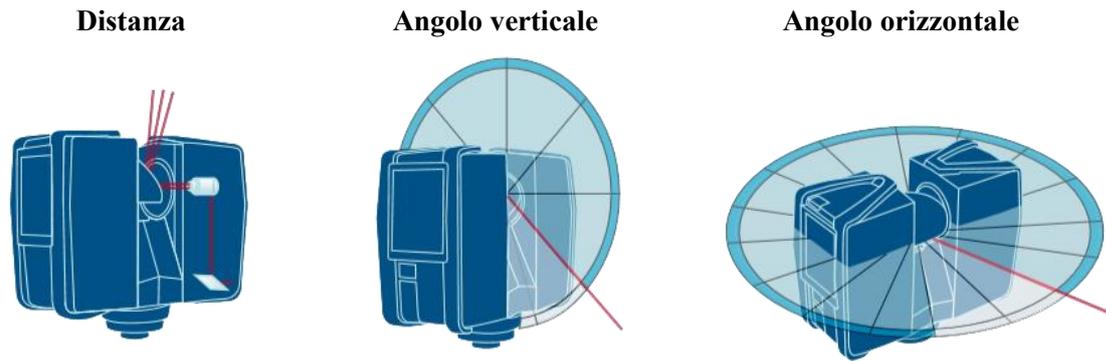


Figura 79: Schema che illustra il metodo di misurazione del Laser Scanner FARO modello CAM2 FocusS 350.

Fonte: Laser scanner brochure reperita al sito www.faro.com.

Caratteristiche tecniche:

- Precisione distanza fino a ± 1 mm
- Raggio da 0,6 m a 350 m
- IP Classe 54
- Compensazione in loco
- Registrazione in loco (con CAM2 SCENE)
- Riscansione di target distanti con una risoluzione più elevata
- Funzione di crittografia digitale
- Opzione di riacquisizione dell'immagine
- Scomparto per gli accessori
- Sovrapposizione di colore per foto HD fino a 165 megapixel.



Figura 80: Immagine raffigurante lo strumento Laser Scanner FARO modello Focus 3D 120.

Fonte: www.faro.com.

7.1.5 Rilievo SLAM

Per quanto riguarda l'ultima attività di rilievo eseguita nella Zona Rossa di Norcia è stata utilizzata la tecnologia SLAM e più precisamente lo strumento Zeb Revo RT (*Real Time*) prodotto dalla GeoSLAM. Come è già stato ampiamente spiegato nel capitolo 4 tale strumento fa parte dei dispositivi portatili *range based*, ed è stato adottato per rilevare i fronti degli edifici della Zona Rossa che risultavano difficilmente individuabili dai rilievi aerofotogrammetrici da drone o da laser scanner. La possibilità di integrare i dati acquisiti da queste differenti tecniche di rilievo permette infatti di affinare l'accuratezza di in rilievo finale, fornendo un modello 3D integrato della realtà. In modo particolare lo strumento Zeb Revo RT, a differenza degli altri strumenti, fornisce una procedura di acquisizione più rapida, in quanto permette l'acquisizione di dati 3D semplicemente camminando con lo strumento ben saldo in mano. Durante il percorso questo sensore acquisisce nuvole di punti dell'ambiente circostante grazie all'algoritmo SLAM, senza dover ricorrere ad alcun tipo di supporto GNSS. Durante la fase di acquisizione l'operatore è in grado di monitorare la situazione in *real time* attraverso un tablet connesso tramite Wi-Fi allo strumento, il quale mostra un anteprima del percorso effettuato e degli ambienti rilevati. La fotocamera integrata allo strumento permette inoltre di acquisire dei video durante il percorso.

Caratteristiche tecniche:

- Dimensioni dello scanner: 86 x 113 x 287 mm
- Velocità di rotazione della testa: 0.5 Hz
- Velocità della linea dello scanner: 100 Hz
- Durata della batteria: 4h
- Distanza massima: Indoor 30 m, Outdoor 15-20 m
- Risoluzione scanner: orizzontale 0.625°, verticale 1.8°
- Acquisizione punti: 43.200 punti/secondo
- Accuratezza relativa: 1-3 cm



Figura 81: Sistema Zeb Revo RT.
Fonte: www.geoslam.com.

La vera e propria fase di acquisizione è la più delicata dell'intero processo, in quanto all'operatore è richiesto di iniziare e terminare il percorso di scansione nello stesso punto, in modo da generare un *loop* chiuso. Il rispetto di tale procedura permette di facilitare le acquisizioni da parte dello strumento e di ridurre possibili errori di deriva lungo la traiettoria. L'attività di scansione ha seguito un percorso stabilito all'interno del tessuto edilizio della Zona Rossa, ma data la complessità e la vastità dell'area è stato opportuno dividere il rilievo in differenti missioni di scansione, in modo da non gravare sulla pesantezza dei file di output e ridurre gli errori di deriva della traiettoria¹⁴⁶. Tutte le missioni sono state eseguite con un campo visivo prossimo ai 360° ed una distanza di scansione interna pari a 30m (situazione ideale), rilevando circa 43000 punti al secondo. Durante la fase di acquisizione è stato possibile monitorare dal tablet connesso allo strumento la generazione in *real time* della nuvola di punti dell'ambiente rilevato, fase in cui lo strumento tenta di correggere eventuali errori di acquisizione e traiettoria. In ogni caso è possibile riprocessare in un secondo momento le scansioni tramite il software dedicato GeoSLAM¹⁴⁷. In ultima analisi, al fine di garantire un'ottima qualità dei dati di output, sono state rispettate le seguenti indicazioni operative: individuare eventuali zone critiche e zone d'ombra, assicurarsi di non trovare ostacoli lungo il percorso e mantenere un passo lento durante le fasi di acquisizione.



Figura 82: Esempio di nuvole di punti generate dallo strumento Zeb Revo RT relativo ad una parte della Zona Rossa di Norcia (tre missioni di scansioni unite) – 3DReshaper.

¹⁴⁶ Di Filippo, A., Sanchez Aparicio, L.J.,; Barba, S., Martin-Jimenez, J.A., Mora, R., Aguilera, D.G., *Use of a Wearable Mobile Laser System in Seamless Indoor 3D Mapping of a Complex Historical Site*, 2018, in *Remote Sensing*, 2018.

¹⁴⁷ Chiabrando, F., Della Coletta, C., Sammartano, G., Spanò, A., Spreafico, A., *"TORINO 1911" project: A contribution of a SLAM-based survey to extensive 3D heritage modeling*, in *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-225-2018.

7.2 Elaborazione nuvole di punti LiDAR

Per l'elaborazione dei dati acquisiti tramite il rilievo LiDAR è stato utilizzato il software *Scene*, prodotto dalla FARO. Questo programma è stato creato per la gestione e l'elaborazione di nuvole di punti 3D ottenute con un laser scanner, e a tal proposito mette a disposizione diversi comandi e strumenti: allineamento delle scansioni (registrazione), misurazioni, visualizzazione 3D, filtro automatico di oggetti e marker, esportazione della nuvola di punti in vari formati. In modo particolare la fase di allineamento delle scansioni risulta essere quella più delicata in quanto da essa dipende la qualità dell'output finale. Durante il rilievo infatti sono state eseguite differenti scansioni, ognuna delle quali riferita ad un sistema di riferimento locale. Per tale ragione nel momento in cui esse vengono importate all'interno del software *Scene* risultano fra loro indipendenti e prive di relazioni geometriche la procedura di registrazione delle scansioni è avvenuta secondo quattro fasi:

- Caricamento delle scansioni;
- Applicazione del colore alle scansioni (radiometria);
- Allineamento per forma (*Cloud to Cloud*);
- Allineamento per target.

Dopo una prima fase di importazione delle scansioni si è proceduto a creare apposite cartelle all'interno delle quali sono state divise le scansioni: all'interno della cartella "Piazza_1" sono state inserite le scansioni relative alla piazza S.Benedetto, mentre all'interno della cartella "Piazza_2" quelle relative alla fortezza della Castellina. La fase successiva ha riguardato l'applicazione della radiometria, la quale ha permesso una comprensione rapida degli elementi presenti nella scena e ha facilitato la successiva fase dell'allineamento per forma. Per quanto riguarda la vera e propria fase di allineamento, il primo procedimento da effettuare è l'allineamento per forma, da applicare ad entrambi i gruppi di scansioni create. In tal senso la prima operazione è stata quella di avvicinare e collegare manualmente tra loro le nuvole, restituendo il loro legame geometrico e sfruttando i punti e gli elementi in comune tra le varie scansioni. In questo modo è stato possibile avviare un primo allineamento automatico per forma, detto anche *Cloud to Cloud*, che utilizza algoritmi ICP. Questa fase è soggetta ad alcune approssimazioni (errori di registrazione). Per quanto riguarda l'allineamento per forma della piazza di S.Benedetto l'errore medio tra le tredici scansioni utilizzate è stato di 2.6 mm, mentre tra le otto scansioni riguardanti il complesso della Castellina è stato di 2.9 mm. I valori raggiunti si sono dimostrati ottimi ed in linea con i risultati attesi.

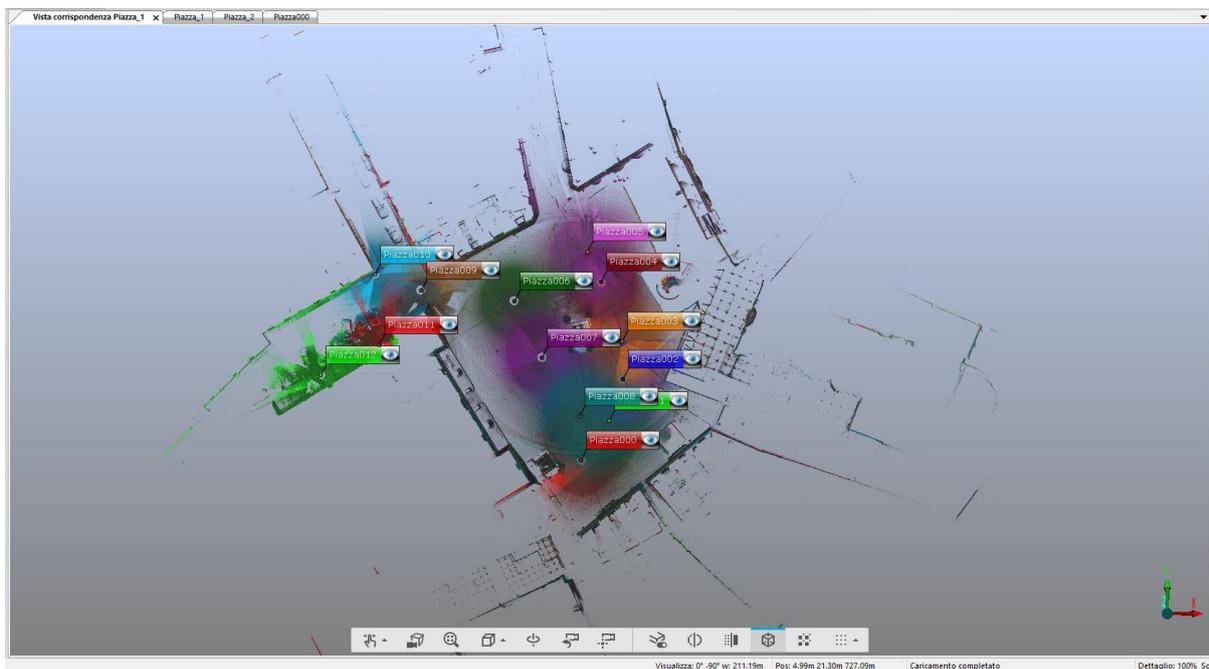


Figura 83: Avvicinamento manuale delle scansioni della piazza S.Benedetto di Norcia – FARO Scene.

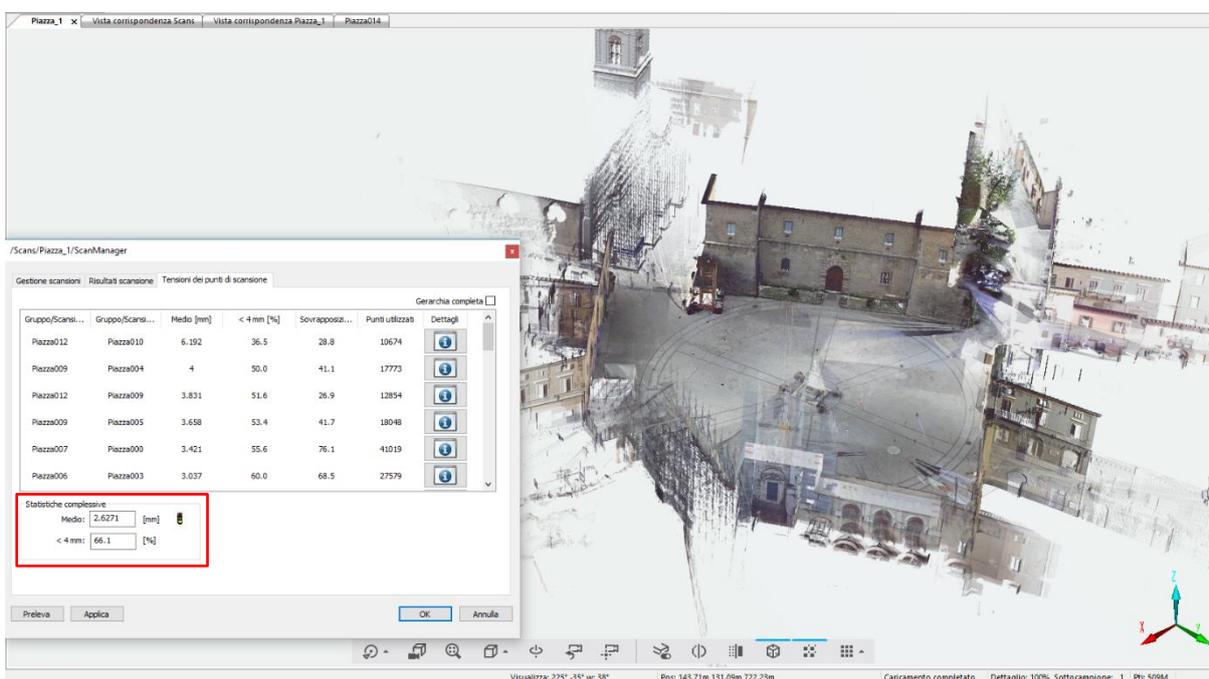


Figura 84: Allineamento per forma delle scansioni della "Piazza_1" e relativo report – FARO Scene.

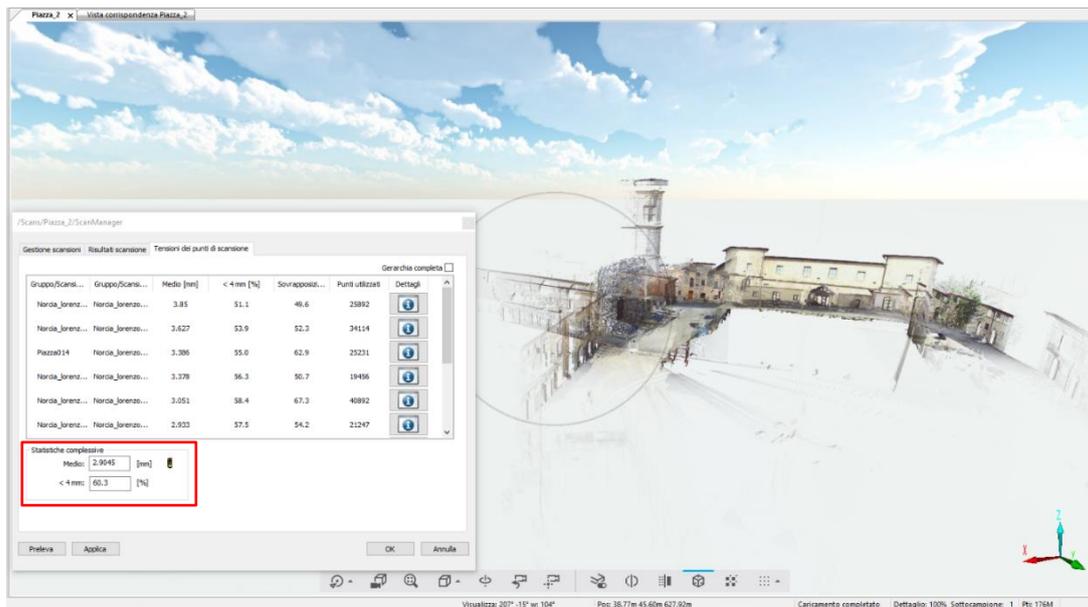


Figura 85: Allineamento per forma delle scansioni della “Piazza_2” e relativo report – FARO Scene.

Una volta che i due gruppi di scansioni sono state allineate secondo un sistema locale di coordinate è possibile eseguire la fase successiva, ovvero la registrazione per target. In questa fase sono state inserite le coordinate dei punti collimati con la Stazione Totale durante la campagna di rilievo 3D direttamente all’interno del software. Per un corretto allineamento occorre che in ogni scansione siano visibili almeno tre target, in modo da permettere la rototraslazione delle varie scansioni nel sistema di riferimento globale. In questo modo avviene la referenziazione delle scansioni al sistema topografico, le quali sono risultate correttamente georeferite. Come nella fase precedente il programma genera automaticamente un report contenente gli errori avvenuti in questa trasformazione, dove è stato possibile ricavare uno scarto tra i due gruppi di scansioni pari a 3.46 mm. Una volta svolte tali elaborazioni si è proceduto alla creazione delle nuvole di punti, che possono essere salvate ed esportate singolarmente (una per ogni scansione) oppure è possibile generare una nuvola completa dell’intero progetto. L’output finale ottenuto da queste elaborazioni è rappresentato da una nuvola di punti completa della piazza S.Benedetto e del complesso della Castellina. Questa nuvola, insieme a quelle prodotte dalla fotogrammetria aerea (analizzate successivamente), è stata in seguito inserita all’interno del software di elaborazione di nuvole di punti *3DReshaper*, il quale è stato utile per la pulizia della nuvola (eliminazione dei punti indesiderati e/o superflui) e per le successive valutazioni in merito a quale nuvola di punti utilizzare per la fase di modellazione dell’edificio di Norcia. Tale scelta verrà affrontata e motivata in seguito dopo aver affrontato la fase dell’elaborazione dei dati fotogrammetrici da UAV.

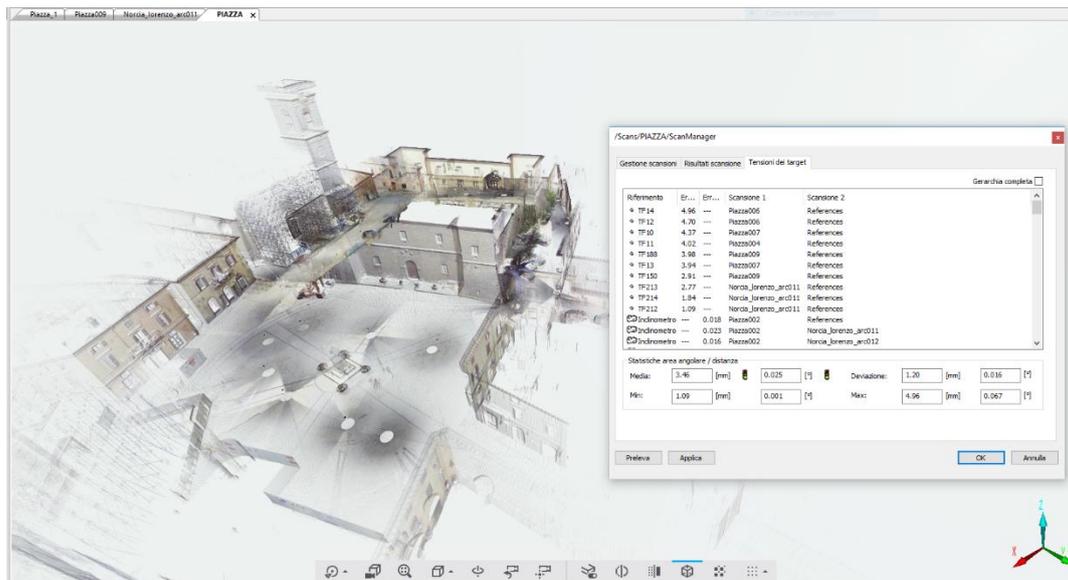


Figura 86: Allineamento per target delle scansioni unite della “Piazza_1” e “Piazza_2” con relativo report – FARO Scene.



Figura 87: Vista delle scansioni LiDAR unite della piazza S. Benedetto – FARO Scene.

7.3 Elaborazione dati fotogrammetrici da UAV

Per l'elaborazione dei dati acquisiti tramite fotogrammetria aerea sono stati principalmente utilizzati due software: *Agisoft Photoscan* per ciò che concerne i dati provenienti dal volo *Spark DJI* e *Pix4Dmapper* per quelli generati dal volo *eBee*. Entrambi i programmi permettono di ottenere i parametri che consentono l'orientamento del blocco dei fotogrammi e di ricavare le nuvole di punti attraverso la tecnica dell'*image matching* unita alla tecnica *SfM*. Una volta estratte le rispettive nuvole di punti è stato utilizzato un ulteriore software per il loro filtraggio e per la loro unione in un unico progetto: il programma in questione è *3DReshaper*.

La prima operazione effettuata è stata quella relativa all'elaborazione dei dati provenienti dal volo *Spark DJI*, che ha visto come primo passaggio la combinazione dei fotogrammi del volo all'interno del software *Agisoft Photoscan*. Dopo aver scelto i fotogrammi utili per le successive elaborazioni, questi sono stati importati all'interno del programma e successivamente è stato eseguito su di loro il primo allineamento. Uno dei vantaggi di questi programmi fotogrammetrici è legato al fatto che compiono molte operazioni in automatico una volta che l'operatore ha impostato determinati parametri. A tal proposito il software in questa prima fase di orientamento dei fotogrammi ha eseguito delle operazioni di orientamento interno ed esterno per correggere gli errori dell'orientamento interno dei fotogrammi e stimare correttamente la posizione dei centri di presa. La tecnica *SfM* è stata poi in grado di generare una nuvola di punti rada (*Point Cloud*). Il secondo passaggio ha riguardato l'inserimento delle coordinate dei target posizionati e misurati durante la campagna di rilievo all'interno del programma¹⁴⁸. A questo punto si è proceduto ad individuare e collimare i target di coordinate note che risultavano visibili per ottimizzare e stimare con maggiore accuratezza la posizione dei centri di presa. Attraverso tale operazione la nuvola di punti rada è stata rototraslata nel sistema di riferimento prestabilito. I passaggi successivi hanno visto in successione la generazione della nuvola densa della piazza S.Benedetto (*Dense Cloud*), una mesh (triangolazione della *Dense Cloud*) e la texturizzazione del modello, dove sostanzialmente sono state distribuite le informazioni cromatiche derivanti dai fotogrammi alla mesh.

¹⁴⁸ Le coordinate dei target vengono importate all'interno di *Photoscan* utilizzando un file di testo in formato .csv.

Ognuno di questi passaggi ha richiesto un tempo di elaborazione notevole, che in base alle performances del computer utilizzato possono essere più o meno rapidi. In questo caso particolare sono state riscontrate le seguenti tempistiche:

- **Allineamento fotogrammi e generazione *Point Cloud*:** 1h e 18 minuti;
- **Generazione *Dense Cloud*:** 12h e 7 minuti;
- **Generazione *Mesh*:** 6 minuti e 25 secondi;
- **Generazione modello texturizzato:** 12 minuti e 53 secondi;
- **Tempo totale per le elaborazioni:** 13h e 44 minuti.

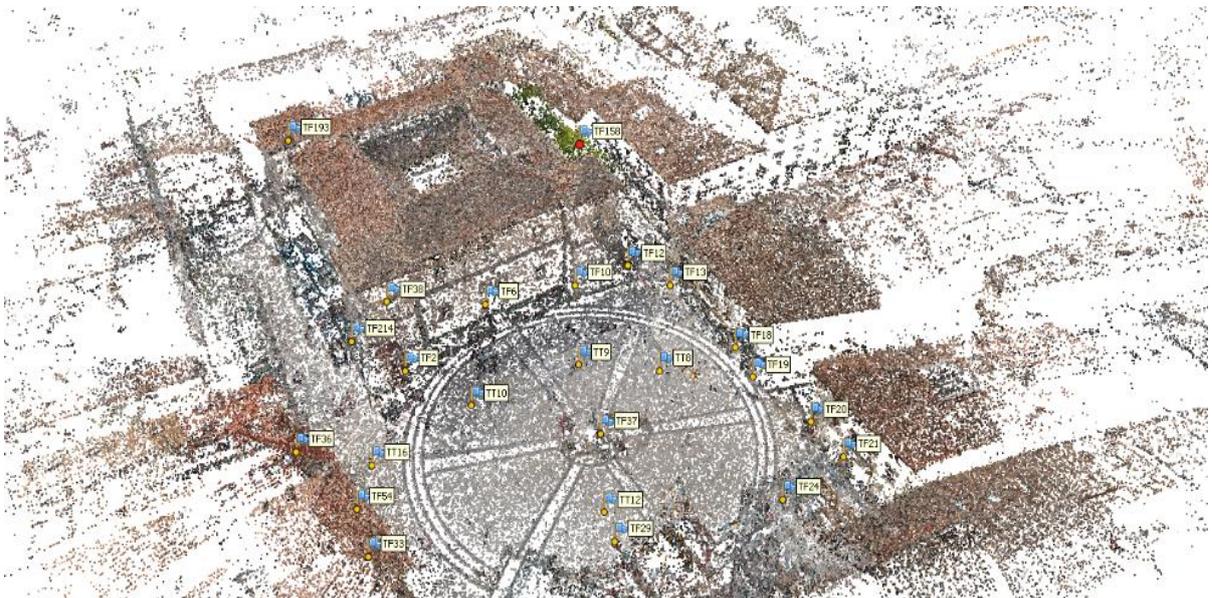


Figura 88: Nuvola di punti rada della piazza S.Benedetto di Norcia, 497.585 punti – Agisoft Photoscan.



Figura 89: Nuvola di punti densa della piazza S.Benedetto di Norcia, 10.444.874 punti – Agisoft Photoscan.



Figura 90: Mesh modello poligonale della piazza S.Benedetto di Norcia – Agisoft Photoscan.



Figura 91: Modello texturizzato della piazza S.Benedetto di Norcia – Agisoft Photoscan.

Per quanto riguarda i dati provenienti dal volo *eBee*, essi sono stati elaborati dai membri del Team DIRECT nel laboratorio di Geomatica per i Beni Culturali del Politecnico di Torino subito dopo il rientro dalla prima campagna di Norcia. Il software utilizzato è stato *Pix4Dmapper*. Il software, in maniera del tutto simile a *Photoscan*, è un programma di fotogrammetria generalmente utilizzato dai professionisti per l'elaborazione di mappature avvenute per mezzo di droni. L'obiettivo, analogamente al caso precedente della piazza di S.Benedetto e delle fortezza della Castellina, è stato quello di ricavare dai fotogrammi scattati dal drone una nuvola di punti georeferenziata 3D, rappresentante tutta la città di Norcia. Per ottenere ciò il software, dopo aver selezionato ed importato al suo interno i fotogrammi utili, ha permesso di elaborare i dati attraverso quattro fasi differenti:

- Initial processing;
- Point Cloud and Mesh;
- DSM, Orthomosaic and Index;
- Resources and Notifications.

La prima fase ha permesso all'operatore di impostare i settaggi per i successivi step, come la definizione della dimensione delle immagini, la *matching strategy* da eseguire sulle immagini, il metodo di calibrazione delle immagini e la tipologia di output desiderata alla fine del processo. Il risultato che si è ottenuto da questo primo step è un primo allineamento dei fotogrammi e la relativa generazione di una nuvola di punti rada. La fase successiva ha consentito invece di aumentare la densità della nuvola di

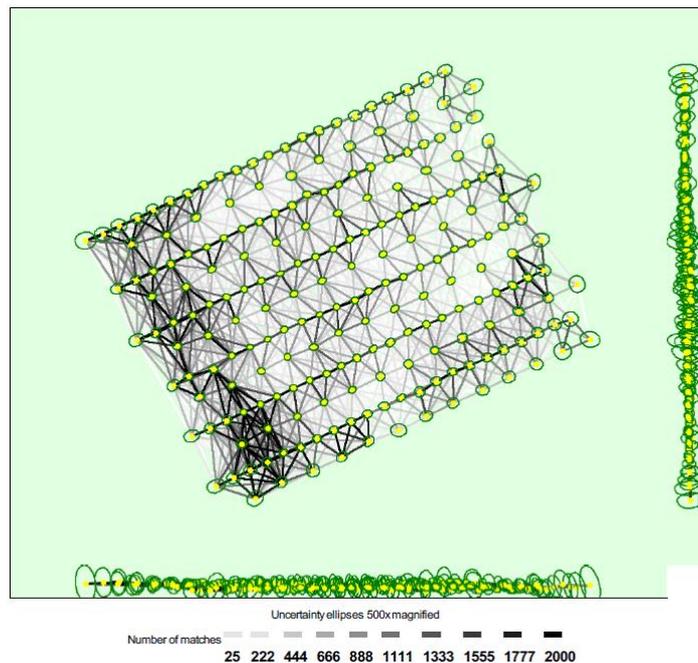


Figura 92: Posizione dei fotogrammi e collegamenti e corrispondenza fra di essi – Pix4Dmapper

punti 3D (*Dense Cloud*) creata in precedenza e di impostare il formato con cui si ha intenzione di esportare la nuvola di punti densa. Inoltre in questo passaggio si ha avuto la possibilità di generare come output anche una mesh 3D texturizzata dell'intera area rilevata, ad una media risoluzione. Il terzo step ha dato la possibilità di impostare la risoluzione spaziale (GSD) da utilizzare per la generazione del DSM e l'ortomosaico, di definire i parametri per filtrare la

nuvola di punti usata per la generazione del DSM, il formato del file di output del raster del DSM e dell'ortomosaico (.TIFF). L'ultimo step ha consentito infine di selezionare le risorse hardware del pc da utilizzare nel processo di elaborazione (per evitare un sovraccarico della RAM disponibile) e di generare il report finale relativo a tutte le elaborazioni effettuate durante l'intero processo.

Figura 93: DSM generato prima della densificazione della nuvola – Pix4Dmapper

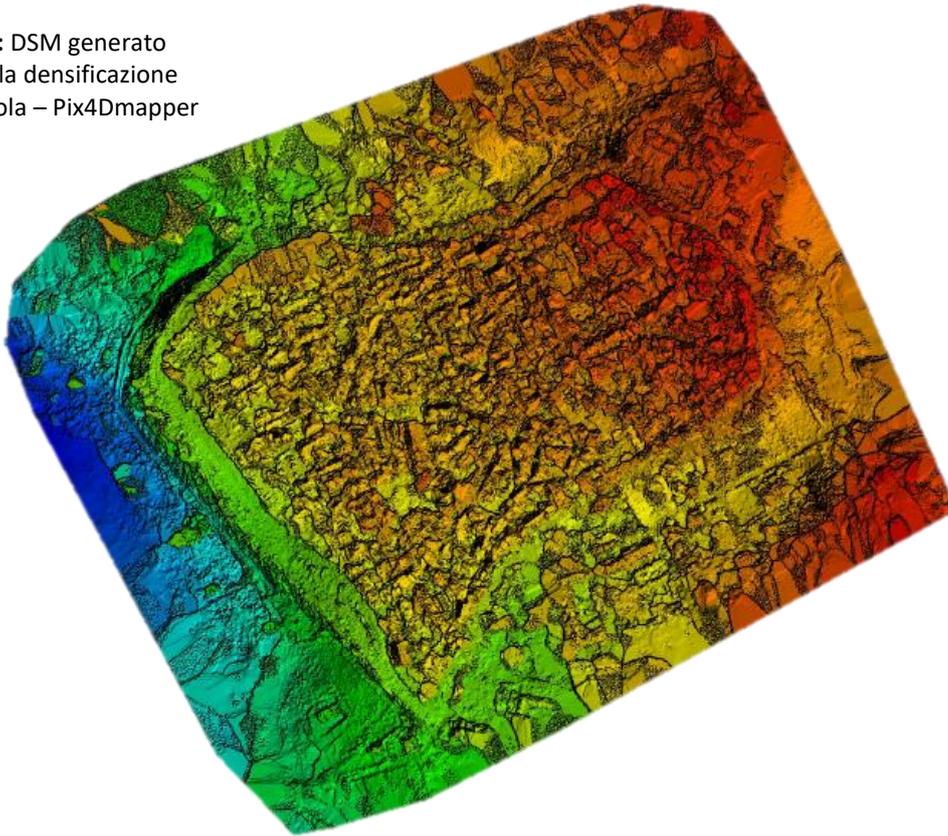


Figura 94: Ortomosaico generato dopo la densificazione della nuvola – Pix4Dmapper



Arrivati a questo punto le nuvole di punti ottenute sono state importate in formato .las all'interno del software *3DReshaper*, dove sono state eseguite le seguenti operazioni:

- Rimozione dei punti indesiderati o superflui delle nuvole;
- Generazione del DTM ed estrazione delle curve di livello;
- Unione nuvole di punti (*eBee* e *Spark DJI*).

Per ciò che concerne la prima operazione, i punti indesiderati sono stati individuati manualmente, per entrambe le nuvole di punti, attraverso delle selezioni poligonali e successivamente eliminati dai modelli. Questo passaggio è risultato fondamentale sia per ridurre il rumore delle nuvole di punti¹⁴⁹, sia per ottenere delle nuvole di punti più snelle e maggiormente gestibili all'interno del programma. Il software mette a disposizione inoltre alcuni strumenti per la generazione del terreno a partire da una nuvola di punti. La nuvola utilizzata per tale scopo è stata naturalmente quella generata dai fotogrammi del volo *eBee*. L'operazione che permette di generare un DTM da nuvole di punti non è sempre semplice, in quanto solitamente queste contengono anche molte informazioni (punti) relative agli edifici e/o vegetazione. Per ovviare a tale problematica *3DReshaper* ha offerto una soluzione automatica per estrarre il terreno dalla nuvola utilizzando solamente i punti relativi al terreno (*ground points*), attraverso il comando *Surveying\Ground Extractor* (Fig.95). Una volta generato il DTM è stato possibile estrarre le curve di livello del terreno attraverso il comando *Surveying\Contourn Lines*, il quale permette inoltre di impostare gli intervalli desiderati tra una curva e la successiva (Fig.96). Le curve di livello correttamente georeferite saranno utili in seguito quando si tratterà di ricavare da esse il DTM da importare all'interno della piattaforma di *Infraworks* per la generazione dell'UrbaBIM di Norcia.

Dopo aver eseguito queste operazioni, l'ultimo step ha visto la generazione di un unico modello georeferito composto dalla nuvola di punti di tutta la città di Norcia (*eBee*) e della fortezza della Castellina con annessa piazza S.Benedetto (*SparkDJI*). Una volta ultimate le fasi di elaborazione delle nuvole di punti, si sono confrontati gli output derivanti dalle nuvole generate in precedenza dal laser scanner e quelle da drone, al fine di capire quale tra loro fosse la più adatta per la modellazione BIM della città ed in particolare degli edifici della Zona Rossa di Norcia. Per gli obiettivi prefissati per questo lavoro di tesi si è optato per l'utilizzo delle nuvole

¹⁴⁹ Con il termine "rumore" in fotogrammetria si intendono l'insieme di punti affetti da errore accidentale individuati dal software durante i processi di generazione delle nuvole di punti. Essi possono derivare da elaborazioni di bassa qualità, il mancato utilizzo di filtri durante la generazione della nuvola, condizioni non ottimali di illuminazione durante la fase di presa fotografica, oggetti complessi da rilevare ecc.

di punti derivanti dalla sola fotogrammetria aerea, consapevoli del fatto che i restanti dati (Laser scanner LiDAR e SLAM) potranno essere utilizzati in futuro per implementare il modello UrbanBIM di Norcia.

Figura 95: Generazione del DTM dal comando Surveying/Ground Extractor – 3DReshaper.

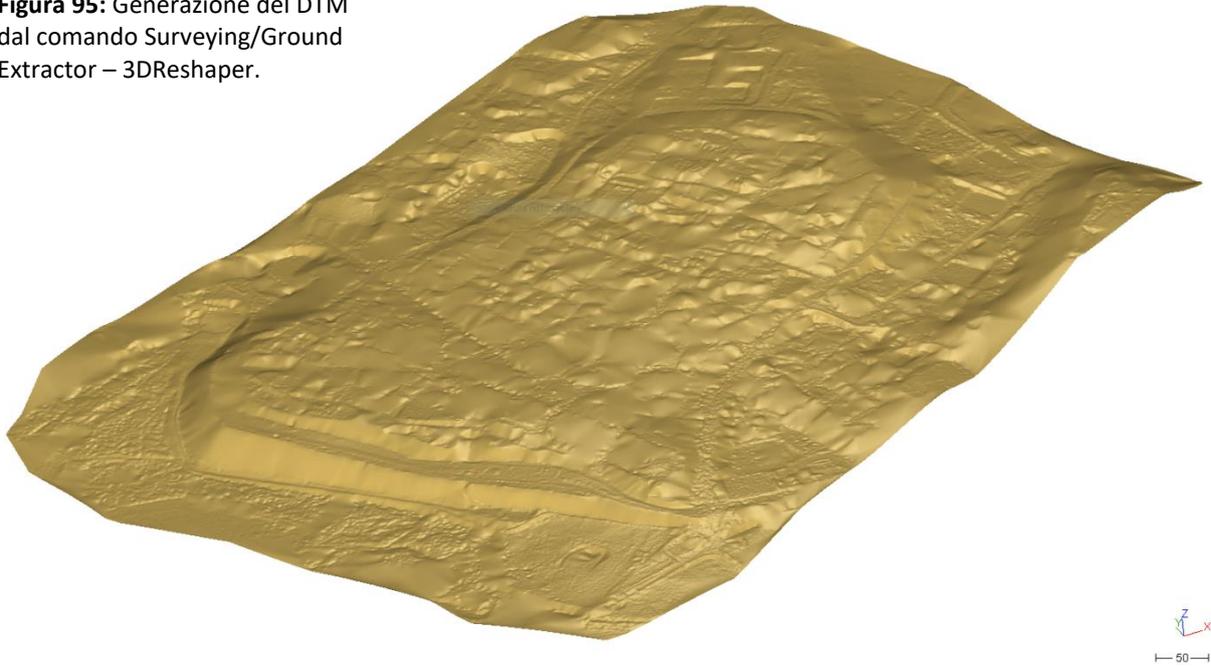


Figura 96: Generazione delle cudi livello dal comando Surveying/Contourn Lines – 3DReshaper.

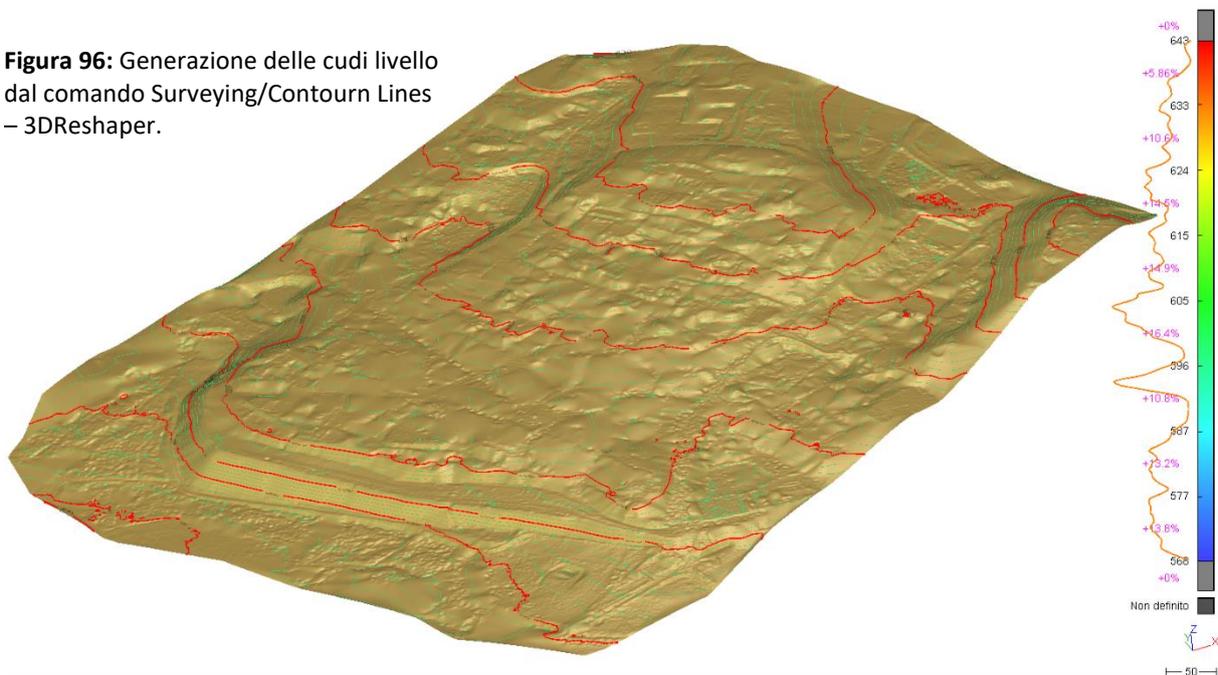


Figura 97: Sovrapposizione della nuvola di punti Spark al DTM – 3DReshaper

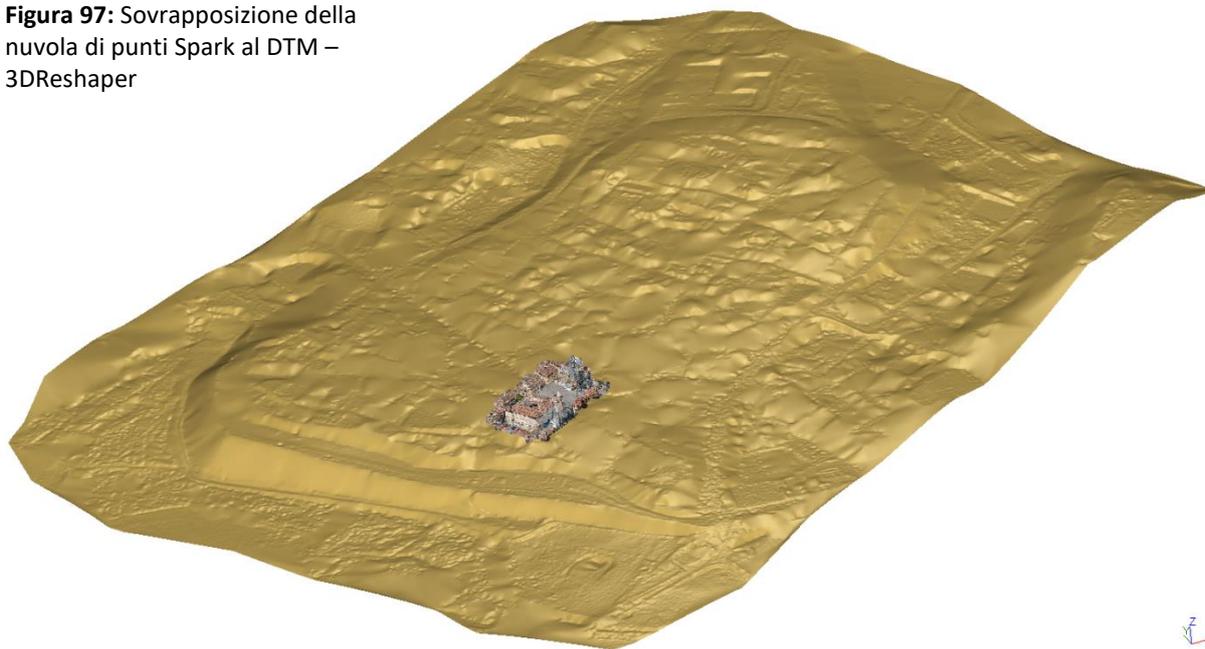
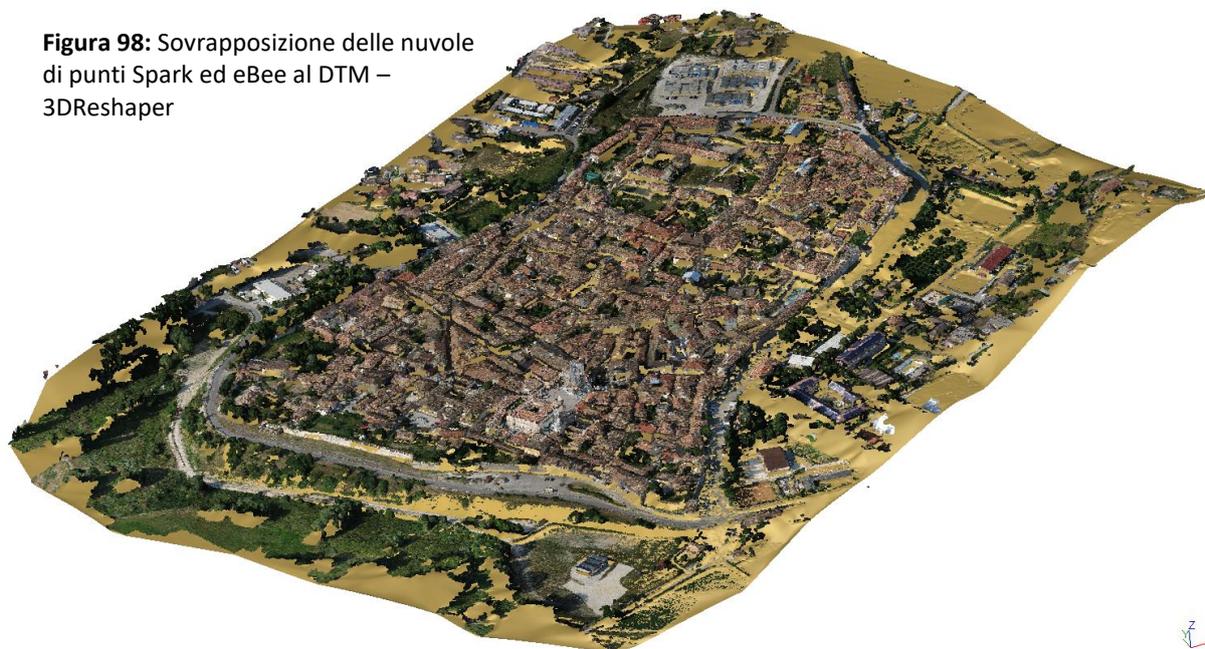


Figura 98: Sovrapposizione delle nuvole di punti Spark ed eBee al DTM – 3DReshaper



8. IL MODELLO URBANBIM DELLA CITTÀ DI NORCIA

8.1 Premessa

Il lavoro di questa tesi ha come obiettivo principale quello di creare un workflow operativo per la generazione di un modello di città multiscala di tipo UrbanBIM, contribuendo alla formazione di un processo pilota per progetti di simile portata. Il caso studio della città di Norcia ha rappresentato in tal senso lo scenario ideale per sperimentare un approccio di questo tipo. Avendo chiarito fin dall'inizio gli aspetti legati ad una interoperabilità GIS-BIM ancora da testare e verificare, la possibilità di gestire queste due tipologie di dati in un'unica piattaforma, permetterebbe ad entrambi i sistemi di arricchirsi di informazioni reciprocamente, accrescendo allo stesso tempo la conoscenza e la percezione del territorio. In uno scenario di questo tipo, il processo di scambio di dati ed informazioni tra approcci di tipo BIM e GIS ha portato a fare le seguenti considerazioni:

- L'implementazione di uno scenario GIS con dati ed informazioni provenienti da modelli BIM permetterebbe da un lato di dettagliare maggiormente tale scenario e dall'altro di migliorarne la gestione;
- Le informazioni territoriali e geografiche proprie dei sistemi GIS permetterebbero di collegare ai modelli BIM dati relativi al territorio in cui questi ultimi sono ubicati, garantendo loro sia una corretta georeferenziazione che la possibilità di effettuare analisi a scala territoriale/urbana.

I modelli UrbanBIM generati a partire da una piattaforma in grado di gestire le informazioni provenienti da sistemi BIM e GIS rappresentano dei veri e propri incubatori di dati ed informazioni eterogenei che, secondo differenti scale nominali di rappresentazione, sono in grado di descrivere la realtà che ci circonda. Attraverso l'utilizzo di una metodologia UrbanBIM è infatti possibile riportare le informazioni ricavate da un rilievo 3D ed integrarle con basi di dati cartografici, offrendo dunque la possibilità di descrivere e documentare un bene culturale all'interno dell'ambiente in cui è inserito. Una delle possibilità che viene quindi fornita per descrivere, salvaguardare e gestire in maniera integrata realtà urbane è rappresentata dai modelli multiscala. Il livello di dettaglio, la quantità di informazioni, le tipologie dei dati inseriti e le tecniche utilizzate per la modellazione di tali modelli dipendono unicamente dallo scopo del progetto.

Nel caso specifico di Norcia, a seguito di un evento sismico, dall'intreccio di dati BIM e GIS sarà così possibile creare un modello multiscala correttamente georeferito e dettagliato dell'intero centro abitato colpito dal sisma, che potrà essere utilizzato per effettuare diverse analisi. Tra le più significative si segnalano:

- individuazione di aree a rischio che vengono identificate dalla Protezione Civile come “Zone Rosse”;
- documentazione e identificazione dei danni sia alla scala del singolo edificio che alla scala urbana con particolare riferimento alla “Zona Rossa” di Norcia;
- individuazione e programmazione di interventi di recupero/ricostruzione;
- programmazione delle attività di smaltimento delle macerie;
- individuazione di aree per accogliere gli sfollati;
- studio di piani strategici post sisma.

8.2 Possibile approccio per il modello UrbanBIM

Per la generazione del modello 3D della città di Norcia si è scelto di utilizzare inizialmente un *BIMapproach* per ciò che concerne la modellazione dell'edificato, il quale verrà solo in un secondo momento inserito in una piattaforma in grado di supportare anche dati GIS, per effettuare le dovute analisi multiscala, al fine di migliorare le strategie di intervento in situazioni di emergenza. Il tentativo di rappresentare un intero scenario urbano per mezzo di un *BIMapproach* rappresenta una sfida ambiziosa che mira a testarne l'utilizzo in scenari che fino a qualche anno fa venivano considerati appartenenti ad altri settori (GIS). La presente tesi mira infatti ad indagare un possibile metodo di lavoro per raggiungere questo obiettivo, valutando inoltre i possibili vantaggi/svantaggi che tale processo comporta, non escludendo a priori un eventuale miglioramento dell'interoperabilità tra i due approcci (GIS-BIM) per ottenere un risultato migliore.

Il workflow operativo adottato per generare il modello UrbanBIM di Norcia ha visto l'utilizzo dei seguenti software:

- **Autodesk® Revit 2017** per ciò che concerne la modellazione dei soli edifici della “Zona Rossa” di Norcia, i quali andranno a costituire l'ossatura BIM del progetto;
- **Autodesk® Infravorks 2018** come piattaforma in grado sia di ospitare dati provenienti da sistemi BIM e GIS per eseguire analisi multiscala sul tessuto urbano di Norcia, sia di generare, a partire da dati cartografici, i restanti edifici della città.

8.3 Generazione del modello BIM

La parte più corposa di questo lavoro di tesi è rappresentata dalla creazione del modello BIM della città di Norcia. Nei paragrafi seguenti verrà dapprima chiarita la strategia operativa osservata per raggiungere tale scopo, a cui seguirà una panoramica sui principali strumenti e potenzialità del software Revit, ed infine saranno descritti i principali procedimenti, le tecniche adottate e le eventuali semplificazioni in fase di modellazione che hanno portato alla generazione del modello UrbanBIM.

8.3.1 Dalla nuvola di punti al modello BIM

La dispendiosa fase di elaborazione delle nuvole di punti ha prodotto come risultato finale un'unica nuvola, opportunamente filtrata e georeferita, dell'intero agglomerato urbano norcino che risulta essere fondamentale per lo studio dello stato di fatto della città e rappresenta la base sulla quale verrà generato il modello 3D. Il fatto di avere a disposizione una nuvola di punti estremamente dettagliata e precisa direttamente nell'ambiente 3D, in cui avverranno i passaggi operativi per la generazione del modello, è di estrema importanza, poiché l'operatore in questo modo può avere maggiormente sotto controllo l'intero processo.

La scelta di quale software BIM potesse permettere di affrontare nel migliore dei modi la modellazione è ricaduta su Autodesk® Revit, il quale risulta essere uno tra i più utilizzati nel settore AEC e permette una fluida interoperabilità con le nuvole di punti. Inoltre questo software, essendo un prodotto Autodesk®, appartiene alla stessa casa produttrice del programma che verrà utilizzato successivamente come piattaforma per ospitare e far dialogare modelli tridimensionali appartenenti al mondo dell'edilizia (BIM) con i moderni sistemi informativi legati alla sfera territoriale (GIS). Il programma in questione si chiama *Infraworks* e garantisce un facile ed intuitivo scambio di dati, in quanto al suo interno si possono importare direttamente files di Revit (sia in formato .rvt che in .fbx).

Il primo passaggio che bisogna compiere prima di iniziare la modellazione da una nuvola di punti è quello di studiare attentamente la nuvola stessa, capire se il livello di dettaglio è adeguato a riprodurre in ambiente 3D gli oggetti di cui abbiamo bisogno ed individuare, se presenti, le zone in cui il livello di precisione è minore o addirittura il dato è assente. Nel particolare caso di Norcia questa fase si è rilevata di notevole importanza, in quanto ha

permesso di determinare il LOD con cui dovevano essere modellate le diverse parti della città, al fine di ottenere un modello urbano multiscala. Per fare ciò è stato necessario utilizzare al contempo LODs riferiti al settore dei GIS e LODs propri del mondo BIM. A tal proposito si è deciso di dividere la città in tre differenti zone, in modo che ognuna di esse coincidesse con un LOD diverso:

- **1° Zona.** La prima parte di città rappresenta l'insieme di tutti gli edifici di Norcia, compresi quelli extra moenia, ad esclusione di quelli inseriti nella cosiddetta "Zona Rossa", che da qui in poi verrà identificata per semplicità con l'acronimo ZR. La modellazione di questa porzione di città verrà trattata in seguito in quanto non è stata eseguita in Revit ma bensì in Infraworks. Tale decisione è scaturita principalmente dal fatto che l'obiettivo dichiarato di questo lavoro di tesi è rappresentato dallo studio approfondito della ZR di Norcia, ragion per cui il resto della città è stato riprodotto attraverso semplici volumi a partire da dati geografici. I dati acquisiti dal volo *eBee* rimangono in ogni caso una risorsa fondamentale che potrà permettere in futuro di implementare il modello UrbanBIM di Norcia con una modellazione più dettagliata di questa parte di città. Il livello di dettaglio con cui verrà modellata questa prima zona corrisponderà al LOD1 (*Level of Detail*, Fig.99).
- **2° Zona.** La seconda zona è rappresentata da tutti gli edifici che fanno parte della ZR, ovvero quella parte di città più fragile e dove si riscontrano i danni maggiori all'edificato in seguito ai terremoti del 2016-2017. In questo caso i dati provenienti dal rilievo sono di duplice natura: oltre alle acquisizioni aerofotogrammetriche del drone *eBee* si dispone del rilievo terrestre SLAM, che ha permesso in modo particolare di acquisire informazioni sui fronti degli edifici. Nel momento in cui poi si è inserita la nuvola di punti derivante dal volo *eBee* all'interno del software Revit, si è notato che i soli dati del drone sarebbero stati sufficienti per modellare questa zona alla scala desiderata, ovvero LOD B-C (*Level of Detail*, Fig.100). Per raggiungere questo livello di dettaglio i dati provenienti dal rilievo SLAM sono risultati quindi superflui, ma rimangono una risorsa fondamentale per un'eventuale implementazione futura del modello.
- **3° Zona.** L'ultima zona è stata identificata con la Piazza di S.Benedetto dove si localizzano i più importanti monumenti cittadini tra cui la fortezza della Castellina, la Basilica di S.Benedetto, il Palazzo Comunale e la chiesa di S.Maria Argentea. Questa risulta essere l'area di cui si dispone del più alto ed accurato livello di informazioni, ragion per cui si è deciso di concentrare l'attenzione sul complesso della Castellina al

fine di ottenere una modellazione alla scala architettonica della fortezza, ovvero sviluppando un LOD D (*Level of Development*, Fig.101). Gli altri edifici monumentali della piazza sono invece stati modellati in LOD C (Fig.100). Per quanto riguarda il LOD D è stato possibile raggiungere un livello di dettaglio architettonico alla scala dell'edificio (scala 1:100), con la modellazione di elementi costruttivi e dettagli creati appositamente per rappresentare fedelmente il complesso della Castellina (porte, finestre, coperture, stratigrafie, decorazioni, portico interno). Il LOD C è stato invece utilizzato per identificare sempre in maniera univoca, alla scala architettonica, gli edifici, ma con un livello di dettaglio minore. Le aperture (porte e finestre) e gli altri elementi costruttivi da cui sono composti infatti non sono stati modellati *ad hoc*, riproducendo fedelmente quelli reali, ma sono stati utilizzati elementi generici simili agli originali.

Un discorso a parte invece sarà riservato alla generazione del modello del terreno. Inizialmente infatti, come verrà approfondito in seguito, è stata generata una superficie in Revit a partire dalle curve di livello ricavate precedentemente nel software di elaborazione di nuvole di punti 3Dresaper. Nonostante Revit sia un programma BIM nato per la modellazione parametrica degli edifici e di ogni suo elemento, possiede al suo interno dei tools in grado di generare superfici topografiche con un buon livello di accuratezza. La generazione di questa superficie si è dimostrata molto utile per le successive fasi di georeferenziazione dell'intero modello.

Alla fine del processo si avrà quindi a disposizione un unico database formato da 97 modelli creati in ambiente Revit relativi alla ZR, di cui 96 corrispondenti al tessuto edilizio e uno al terreno. L'insieme di tutti questi dati ha permesso di generare un modello urbano di città multiscala ricco di informazioni eterogenee (dalla scala urbana/territoriale a quella architettonica, con particolare attenzione all'individuazione dei danni causati dai terremoti) che potrà essere usato in futuro per differenti analisi e per nuova pianificazione/progettazione.

LOD 1
(Level of Detail)



Figura 99: UrbanBIM di Norcia, LOD 1 – Autodesk Infraworks 2018.

LOD B-C
(Level of Development)



Figura 100: UrbanBIM di Norcia, LOD B-C – Autodesk Infraworks 2018.

LOD D
(Level of Development)



Figura 101: UrbanBIM di Norcia, LOD D – Autodesk Infraworks 2018.

8.3.2 Progettare in modalità BIM con Revit

8.3.2.1 Oggetti intelligenti

Una delle caratteristiche fondamentali della modellazione BIM è rappresentata dal fatto che ogni oggetto creato al suo interno possiede un elevato livello di informazioni di diversa natura. A tal proposito un oggetto viene definito "intelligente" in quanto simula e mantiene relazioni identiche a quelle dell'omologo reale¹⁵⁰. Per chiarire meglio il concetto, quando ad esempio si desidera disegnare una finestra all'interno di un progetto, stiamo realizzando un oggetto che è un *twin* virtuale di una finestra appartenente al mondo reale. Il suo collocamento potrà avvenire solamente all'interno di un muro precedentemente inserito, e se in seguito tale muro fosse cancellato, allora anche la finestra verrebbe cancellata. Gli oggetti possiedono delle informazioni al loro interno di tipo gerarchico e strutturato, che li legano tra loro e li fanno dipendere l'uno dall'altro.

Queste informazioni di cui si sta parlando possono essere visibili, ossia legate a dati geometrici utili alla sua rappresentazione grafica in ambiente digitale, oppure di carattere tecnico-informativo (materiali, proprietà fisiche/meccaniche/termiche/isolanti dei singoli componenti, dati economici, tempi e costi ecc.). Tutti questi dati una volta inseriti si legano all'elemento associato e a tutti gli elementi simili nel progetto secondo un rapporto che viene chiamato "di tipo" o "di istanza". Questo è uno dei concetti cardine del BIM: qualsiasi dato o informazione inserito nel progetto entra automaticamente a far parte di un unico database, dove ogni modifica ad un elemento viene aggiornata in tempo reale in tutte le viste del progetto (piante, prospetti, sezioni, viste 3D), garantendo perciò una maggiore velocità nella creazione degli elaborati e un elevato livello di coordinazione dell'intero iter progettuale.

Avere a che fare con oggetti intelligenti cambia completamente il modo di progettare rispetto al passato. In un contesto di questo genere, a maggior ragione, si rivela fondamentale possedere le giuste conoscenze tecnico-costruttive, in quanto tutte le scelte adottate nella modellazione risultano essere le stesse che si adotterebbero nella realtà per costruire un edificio. Lo stesso discorso vale nel momento in cui ci si trova a dover modellare un edificio o un oggetto esistente (HBIM), poiché solo dopo un'attenta analisi conoscitiva del bene e delle tecniche utilizzate per

¹⁵⁰ Pozzoli, S., Bonazza, M., Werner, S.V., *Revit 2018 per l'Architettura. Guida completa per la progettazione BIM*, Autodesk, Collana AM4 Educational, Tecniche Nuove, Ottobre 2017.

la sua realizzazione si possono modellare oggetti intelligenti fedeli all'originale. Nel caso specifico del software Revit, tali oggetti intelligenti vengono chiamati Famiglie, ovvero un gruppo di elementi con determinate proprietà in comune. Il programma struttura l'organizzazione delle Famiglie in tre categorie distinte¹⁵¹:

- **Famiglie di sistema.** Comprendono tutti gli elementi di base utilizzati nel settore delle costruzioni (muri, tetti, pavimenti, scale ecc.), i quali non possono essere creati dall'operatore ma possono essere modificati e duplicati a seconda delle necessità;
- **Famiglie caricabili.** Comprendono l'insieme di elementi generati in maniera autonoma, al di fuori dell'ambiente di progetto, e inseriti (caricati) successivamente in ambiente Revit. Essi permettono di coprire ogni esigenza che la progettazione di un'opera comporta. Per quanto riguarda la creazione di queste Famiglie viene messo a disposizione un ambiente di lavoro apposito chiamato *Editor delle Famiglie*. Una volta inserite in ambiente di progetto diventano delle Famiglie locali.
- **Famiglie locali.** In quest'ultima categoria vengono inseriti tutti quegli elementi specifici che vengono generati direttamente nel modello e sono unici del singolo progetto. Per queste ragioni non risulta appropriata la personalizzazione attraverso l'uso di Famiglie caricabili.

¹⁵¹ Ivi, pp.69-72.

8.3.2.2 Oggetti parametrici

Revit viene definito comunemente un “software parametrico”. Parametrizzare significa infatti rappresentare un qualsiasi oggetto o entità attraverso l’utilizzo di appositi parametri, i quali sono legati a precise caratteristiche dell’oggetto in questione e possono essere modificati in qualsiasi momento.

Se si pensa ad esempio ad una finestra, per poter essere rappresentata correttamente necessiterà di valori quali l’altezza, la larghezza, lo spessore, l’angolo di apertura di eventuali scuri ecc. Un software parametrico è un programma che necessita per forza di ricevere da parte dell’utente dei valori per ogni singolo parametro inserito per rappresentare e descrivere un determinato oggetto.

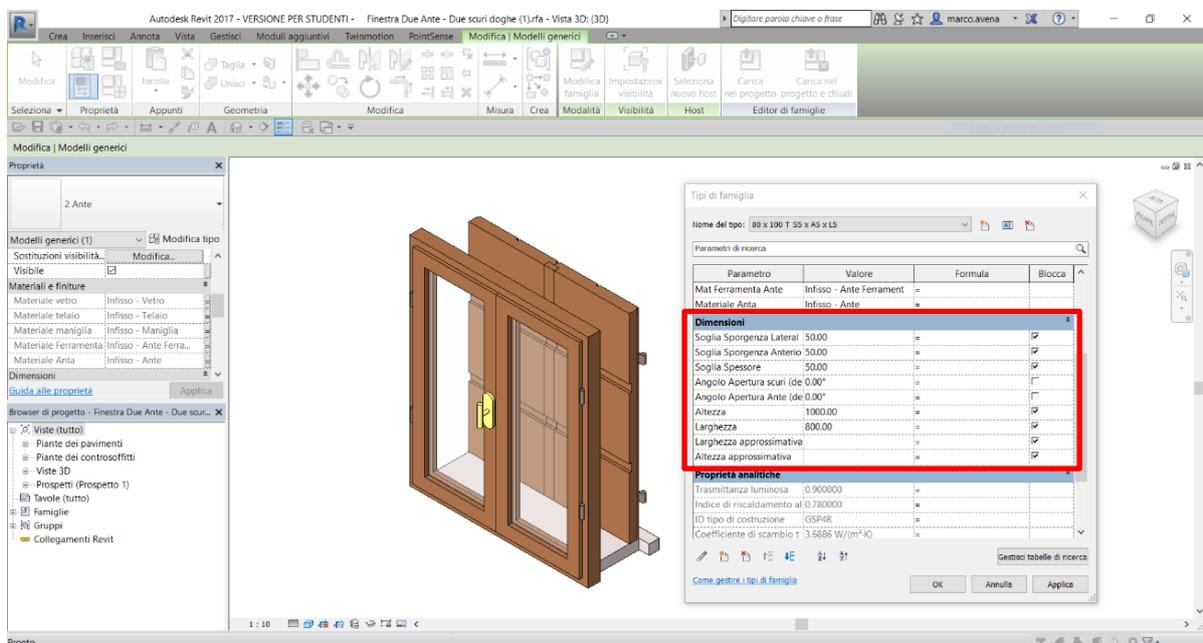


Figura 102: Esempio di Finestra parametrica a due ante messa a disposizione nelle Famiglie di Sistema di Revit – Autodesk Revit 2017

Queste informazioni vengono definite dinamiche, in quanto, come abbiamo visto in precedenza, possono essere modificate in qualsiasi momento dall’operatore¹⁵². Le potenzialità che derivano dall’approccio parametrico sono enormi, soprattutto quando lo si applica alla modellazione del patrimonio costruito (HBIM). Infatti spesso ci si trova di fronte ad elementi architettonici molto simili tra loro che differiscono per pochi dettagli (porte, portali, finestre, colonne, capitelli, archi ecc.). La creazione di un oggetto parametrico permetterebbe quindi, semplicemente attraverso

¹⁵² Ivi, p.6.

il cambiamento di alcuni parametri, di adattare un modello a seconda delle specifiche esigenze di progetto, oltre che evitare di modellare singolarmente ogni elemento con notevoli perdite di tempo e di energie. Modelli di questo tipo possono quindi essere utilizzati non solamente in un progetto, ma ripetuti e inseriti in scenari diversi che presentano le medesime o simili caratteristiche.

Nonostante la creazione di simili entità sia un processo lungo e dispendioso, i benefici che ne derivano sono diversi. Tale procedura permette infatti un miglioramento della fluidità dei vari processi di lavoro, come l'agevolazione della lettura e la modifica da parte di altri attori coinvolti nel progetto e che si trovano ad utilizzare il modello anche con finalità differenti.

I parametri presenti in Revit sono principalmente di due tipologie:

- **Parametri di tipo.** Questa tipologia permette di rendere modificabili i parametri relativi a tutti gli stessi tipi di una determinata Famiglia presente nel modello.
- **Parametri d'istanza.** Quest'altra tipologia permette di modificare i parametri solamente di ogni copia generata di un determinato tipo di famiglia, in modo indipendente, senza andare a modificare le informazioni relative alla Famiglia generica a cui l'elemento copiato appartiene.

8.3.3 Modellazione del terreno

Il primo step relativo alla modellazione ha riguardato la generazione del modello del terreno della città di Norcia in ambiente Revit. Questo procedimento si è rivelato fondamentale in quanto ha permesso di:

- Georeferenziare correttamente il modello 3D della città di Norcia grazie all'individuazione di un punto di coordinate note misurate a seguito del rilievo metrico 3D;
- Avere un punto di riferimento costante durante la modellazione degli edifici.

Una volta in possesso delle curve di livello generate nel software 3DReshaper è stato necessario collocarle in ambiente CAD per poter appurare che le coordinate dei punti fossero state opportunamente troncate. Questo ha permesso, una volta che le curve sono state importate in ambiente Revit, di collocarle nel workspace mantenendo le sue coordinate di origine, consentendo di conseguenza di georeferenziare l'intero progetto usando le coordinate troncate del rilievo. Dopo aver generato un nuovo progetto in Autodesk Revit si è quindi proceduto ad importare al suo interno le curve di livello per mezzo di un link CAD, assicurandosi che nel pannello di importazione, alla voce "Posizionamento" fosse impostata su "Da origine a origine", in modo che il posizionamento dell'origine della geometria in entrata fosse la stessa del modello Revit¹⁵³. Attraverso questo passaggio si è potuto lavorare molto più fluidamente nel workspace del software, che altrimenti avrebbe potuto riscontrare problemi nella lettura dei files ed inconvenienti per quanto riguarda la rappresentazione grafica degli elementi presenti nella scena.

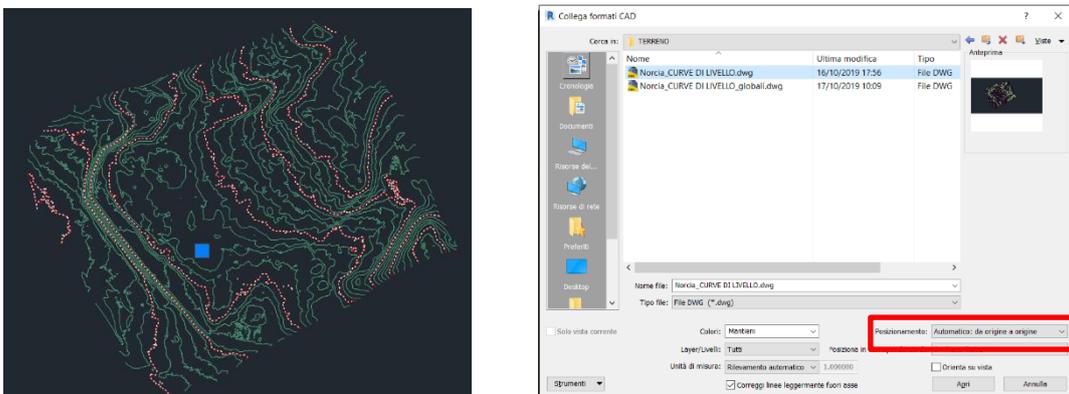


Figura 103: File DWG delle curve di livello del terreno di Norcia (sinistra) e metodo di importazione dello stesso, con relativi settaggi, in ambiente Revit (destra) – Autodesk Revit 2017.

¹⁵³ La geometria in un modello Revit deve collocarsi infatti nel raggio di 10 miglia (16 km) dall'origine interna del modello e questo discorso vale sia per una geometria creata in Revit sia per una in entrata.

Il programma mette poi a disposizione un apposito comando per la generazione di superfici topografiche a partire da istanze importate, in questo caso le curve di livello in formato DWG. Il risultato ottenuto raffigura la superficie topografica del terreno su cui sorge la città di Norcia.

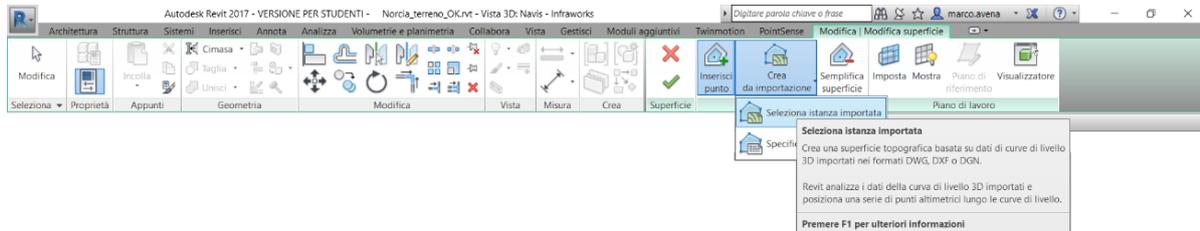


Figura 104: Palette dei comandi per la generazione di una superficie topografica a partire da un file DWG collegato – Autodesk Revit 2017.

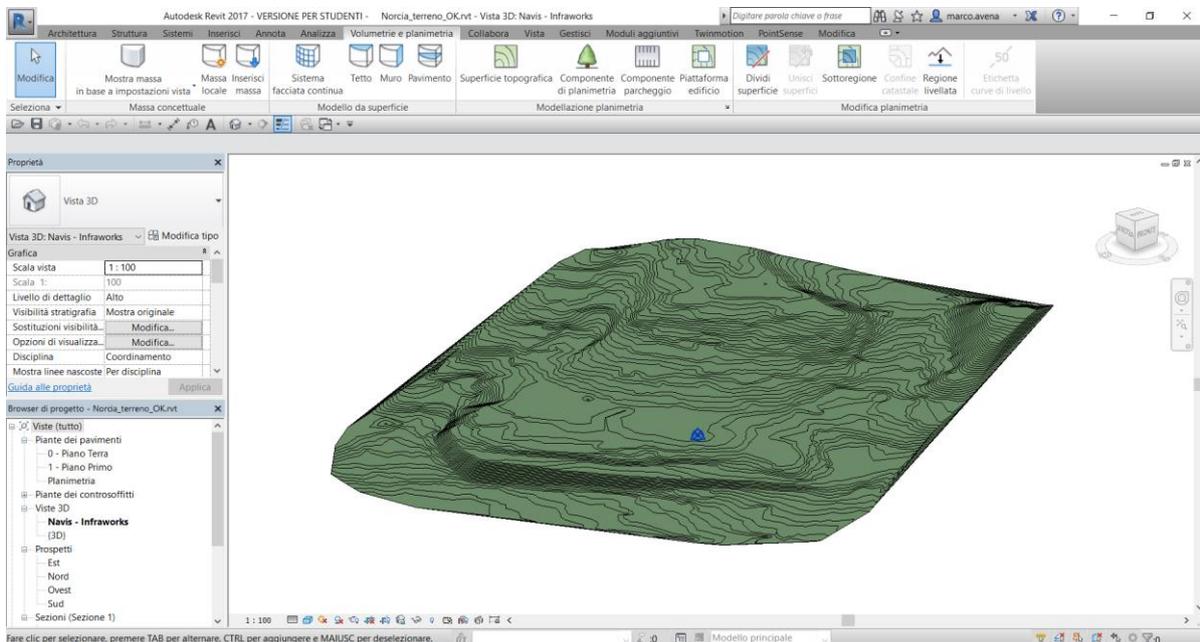


Figura 105: Vista assometrica del modello del terreno di Norcia – Autodesk Revit 2017.

Una volta generato il modello tridimensionale del terreno si è proceduto a definire le coordinate da assegnare al PBP (*Punto Base Progetto*), ovvero quel punto che il software riconosce come origine del sistema di coordinate del progetto. Di default alle coordinate relative X,Y,Z del punto è assegnato il valore 0. Al fine di georeferire correttamente il modello, è stato deciso di assegnare al PBP le coordinate di un determinato punto acquisito durante il rilievo. La scelta di tale punto (A) è ricaduta nell'intersezione tra la torre sinistra del prospetto frontale della Castellina e il terreno della piazza di S. Benedetto, in quanto ben visibile e riconoscibile. Il PBP per indicare inoltre la coordinata X del punto utilizza il parametro E/W (*East/West*) mentre per Y il parametro N/S (*North/Sud*). Una volta inserite le coordinate, il PBP è stato vincolato al modello del terreno, in modo da renderli dipendenti l'uno dall'altro.

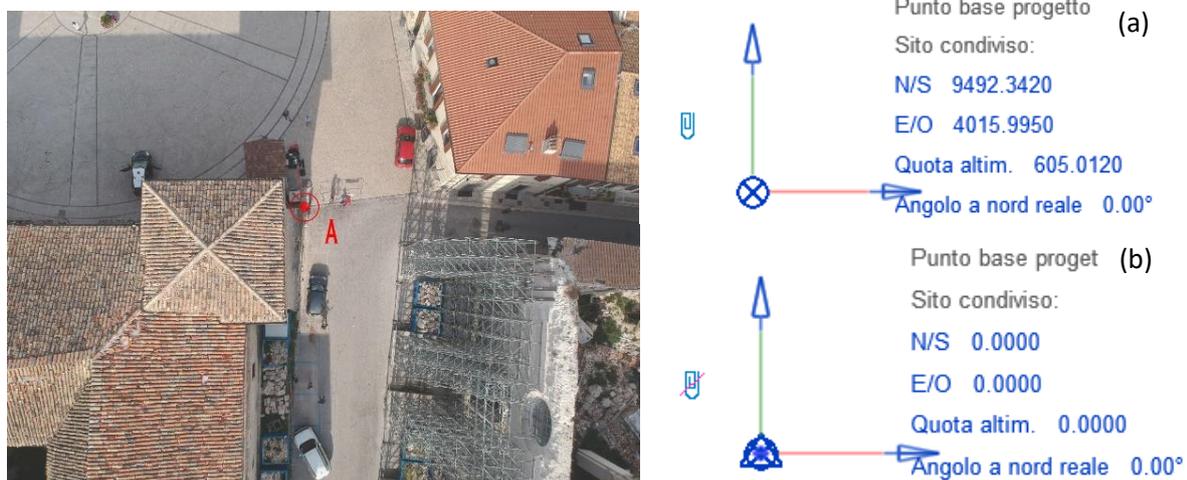


Figura 106: Individuazione ed inserimento delle coordinate del PBP (a) e conseguente spostamento del PBP nel punto di origine del progetto di Revit di coordinate 0,0,0 (b) – Autodesk Revit 2017.

A questo punto è stata importata la nuvola di punti completa di tutta la città di Norcia, che possedendo sia la corretta rotazione del Nord reale, sia le stesse coordinate del modello del terreno, si è posizionata correttamente nello spazio. Per consentire poi al software di gestire al meglio la navigazione nel workspace e di agevolare le operazioni legate alla successiva modellazione degli edifici della città, è stata ancorata anche la nuvola al PBP e a quest'ultimo sono state modificate le coordinate per farlo ritornare al punto d'origine del progetto (0,0,0). Dal momento che in Revit si utilizza un sistema di coordinate locali, si è dovuto procedere ad indicare l'esatta posizione geografica del modello direttamente nel programma. Questo passaggio è risultato fondamentale per la gestione successiva dello scambio di dati con software che utilizzano sistemi di coordinate per posizionare i dati importati correttamente nello

spazio (Infraworks). Attraverso lo specifico tool “Località” si sono impostate le coordinate del PBP (punto A), opportunamente convertite in Latitudine e Longitudine in quanto il software non utilizza coordinate cartografiche bensì geografiche. Una volta effettuato tale procedimento il modello è risultato correttamente georeferito mantenendo l’origine locale del progetto nel punto A (0,0,0).

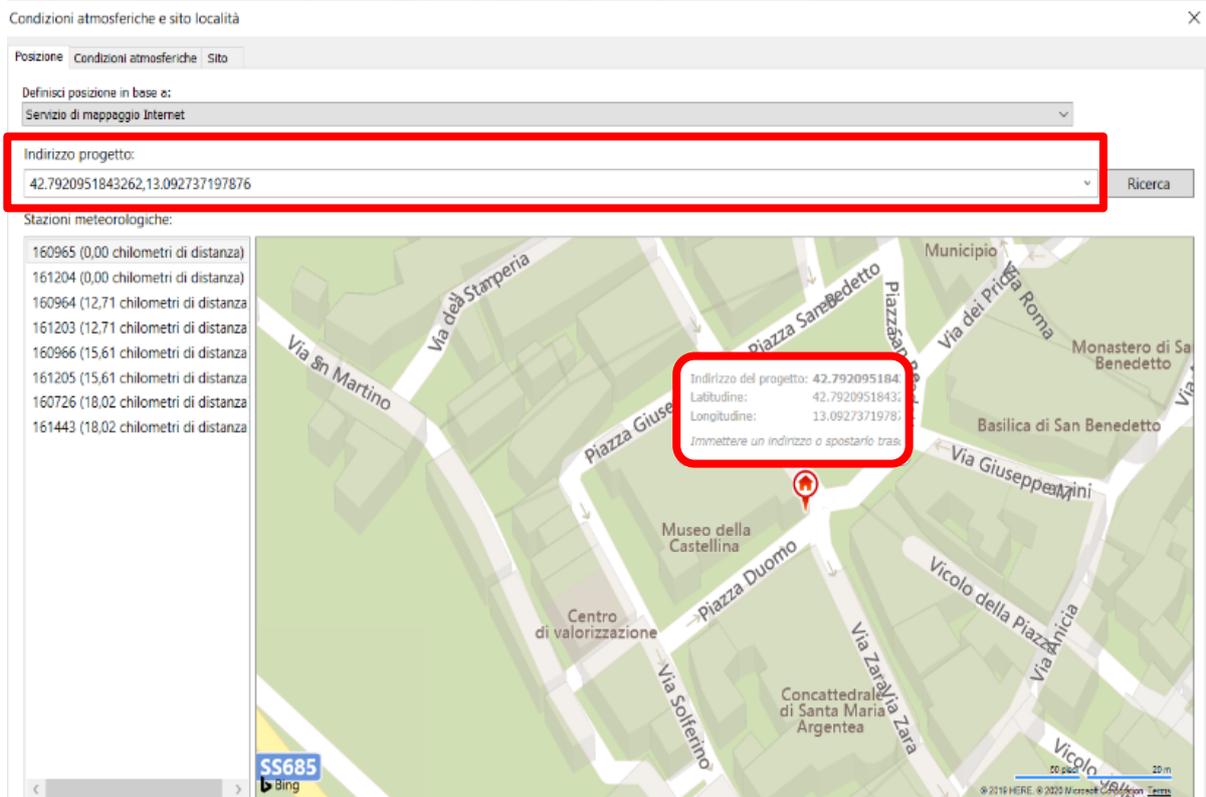


Figura 107: Inserimento località di progetto in Revit.

Figura 108: Modello del terreno di Norcia – Autodesk Revit 2017.

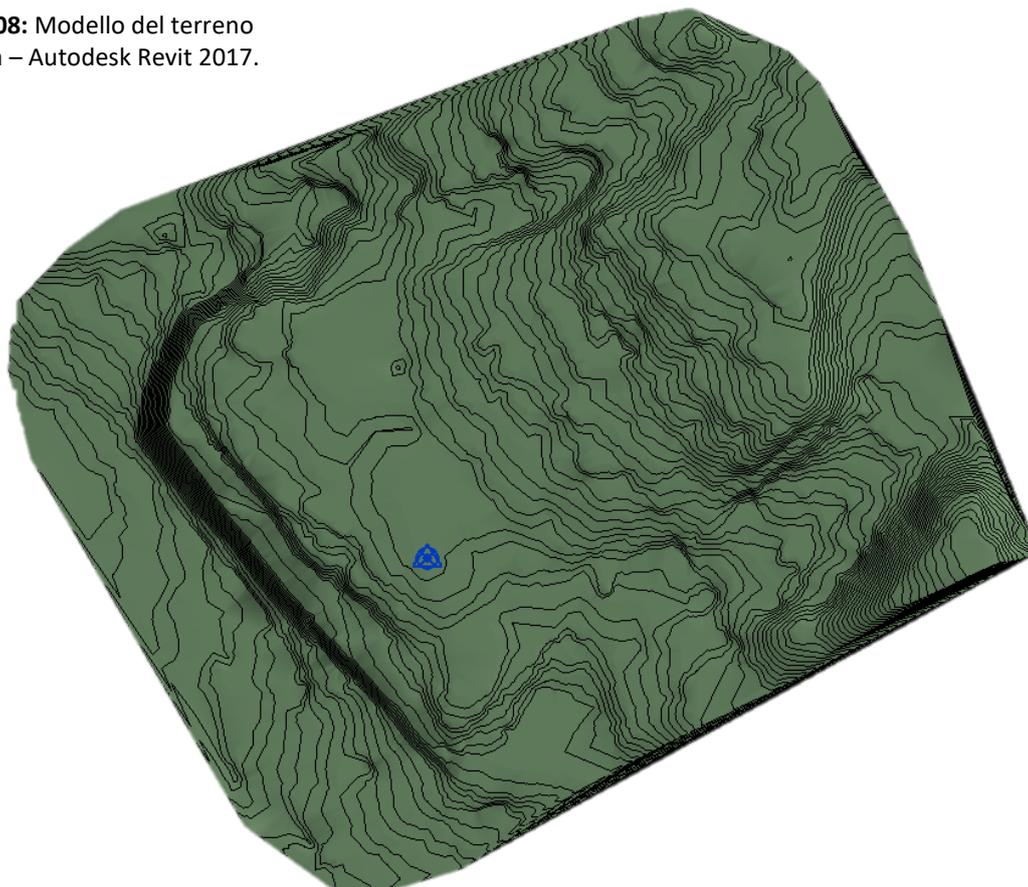


Figura 109: Modello del terreno di Norcia con sovrapposizione della nuvola di punti completa – Autodesk Revit 2017.



8.3.4 Modellazione della Castellina

Il progetto precedentemente creato in Revit, in cui sono presenti sia il modello del terreno che la nuvola di punti di Norcia correttamente georeferiti, sono serviti come base per affrontare le successive fasi della modellazione della fortezza della Castellina e degli edifici presenti all'interno della ZR.

Come detto in precedenza, la prima operazione da compiere prima di iniziare una qualsiasi modellazione in ambito BIM, è chiarire lo scopo per il quale il modello verrà creato, di modo che si possano impostare correttamente le operazioni successive per ottenere un determinato livello di dettaglio. Nel caso della fortezza della Castellina l'obiettivo principale è stato individuato nel documentare lo stato dell'arte di un monumento simbolo della città. Per quanto riguarda l'involucro dell'edificio è stato infatti sviluppato un LOD D, dato che i dati provenienti dal rilievo non fornivano informazioni legate agli ambienti interni del complesso. Per raggiungere tale scopo si è deciso di lavorare sulla nuvola di punti unita generata dalla fotogrammetria aerea (drone *eBee* e *Spark DJI*).



Figura 110: Vista della nuvola di punti completa di Norcia generata dall'unione della nuvola generata dal volo *eBee* e dal volo *Spark DJI* – Autodesk ReCap.

8.3.4.1 Estrazione delle geometrie dalla nuvola di punti

Per una questione di praticità operativa il modello del terreno è stato temporaneamente nascosto, così da poter visionare a schermo solamente la nuvola di punti georeferita. A questo punto, dato che l'oggetto della modellazione riguardava solo la fortezza, la nuvola di punti è stata opportunamente ritagliata, in modo che nel workspace fosse visibile solamente una porzione della città, ovvero quella relativa alla Piazza S.Benedetto e agli edifici che su di essa si affacciano, compresa ovviamente la Castellina. Il risultato ottenuto da queste operazioni preliminari consiste in un modello tridimensionale, collocato correttamente nello spazio, composto da migliaia di punti che in fase di importazione hanno mantenuto le informazioni legate al colore, contribuendo quindi ad una fedele rappresentazione della realtà.

Nella fase preparatoria una delle operazioni più significative che il software Revit permette di fare con le nuvole di punti è legata alla possibilità di sezionarle grazie alla creazione di piani paralleli alle viste di pianta di default (in situazioni particolari è anche possibile la creazione di piani obliqui creati ad hoc). In questo modo sono state create delle “viste di lavoro” utilizzate per la creazione degli elementi che compongono la fortezza. L'utilizzo di questi piani di lavoro, che intersecano la nuvola in punti significativi definiti dall'utente, ha permesso di comprendere direttamente all'interno dello spazio 3D la corretta forma e posizione dei vari elementi costruttivi dell'edificio in questione. A partire da ogni piano è stato quindi possibile generare delle linee di costruzione che seguono precisamente i punti sezionati, al fine di ottenere un profilo simile alla realtà. In questo modo anche dei profili irregolari, come ad esempio quelli relativi a muri con forme particolari, lesionati o con imperfezioni di qualsiasi tipo, possono essere rappresentati fedelmente. Successivamente si definiscono tutte le viste di lavoro che si ritengono necessarie per la generazione del modello BIM, che possono essere sia orizzontali (piante e planimetrie) sia verticali (prospetti e sezioni). I piani di sezione orizzontali permettono inoltre di identificare i *Livelli*, ovvero dei piani di lavoro infiniti che consentono di definire le distanze verticali di un elemento o di un edificio. Solitamente i Livelli vengono creati per ogni piano del complesso, se parliamo di un edificio, oppure per identificare altri punti di riferimento utili alla generazione di un qualsiasi elemento. Un ulteriore strumento che ha lo scopo di fornire utili riferimenti per il posizionamento preciso di elementi tridimensionali sono le *Griglie*. In questo caso studio, le griglie hanno permesso di individuare il perimetro dell'edificio, fornendo un importante appoggio nella fase di creazione delle murature. L'insieme di tutte queste operazioni viene definita “fase preparatoria”, e ricopre un ruolo di fondamentale importanza, in

quanto definisce i riferimenti da utilizzare come guida per tutte le successive fasi che compongono la modellazione.



Figura 111: Inserimento di assi fissi e griglie nella vista planimetrica della nuvola di punti della Castellina –

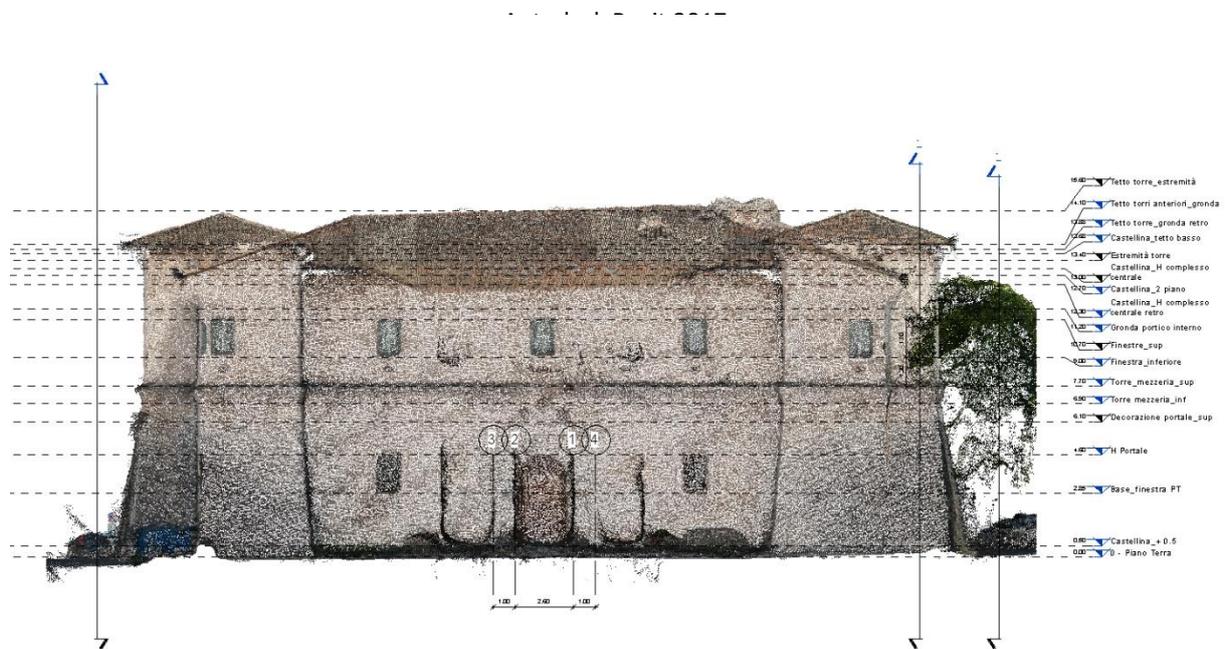


Figura 112: Inserimento dei Livelli nella vista di sezione raffigurante la facciata principale della Castellina – Autodesk Revit 2017.

Per quanto riguarda la fase di modellazione delle geometrie viene utilizzata inizialmente una particolare tipologia di Famiglia, chiamata “Massa concettuale”. Per Massa si intende una forma generica, sia essa solida o vuota, senza inizialmente alcun legame con elementi costruttivi, particolarmente utile in una fase metaprogettuale dove si stanno ancora facendo delle valutazioni. Queste Famiglie sono state pensate per fornire ai progettisti un primo modello digitale semplificato della realtà, che nonostante la sua elementarità consenta di derivare tutte le informazioni geometriche di cui si ha bisogno. L’aspetto più importante è legato poi al fatto che, una volta terminata la modellazione concettuale, è possibile tradurre la forma precedentemente ottenuta in elementi costruttivi reali¹⁵⁴.

In questo studio preliminare le geometrie della Castellina sono state estratte dalla nuvola di punti utilizzando le Masse concettuali, al fine di generare oggetti 3D conformi alla realtà. Tali Famiglie, agendo semplicemente sugli elementi geometrici che le compongono, come punti, linee, spigoli, archi, superfici ecc., possono essere modificate in qualsiasi momento nello spazio, in quanto non presentano vincoli di nessun tipo.

Per applicare tale metodo al presente caso studio è stato selezionato inizialmente il livello precedentemente creato e la rispettiva vista di pianta che individuano l’elemento da modellare. In seguito si è proceduto a vettorializzare la nuvola di punti interpretando la forma architettonica di tale elemento e andando così a creare un contorno chiuso. Una volta che sono state create le sagome necessarie, per mezzo di una semplice estrusione si è venuta così a formare una Massa concettuale. Tale metodo si è rivelato molto lungo in termini di tempo e dispendioso, soprattutto per il fatto che tale procedimento deve essere eseguito per tutti i singoli elementi che compongono la Castellina, che essendo un monumento storico presenta numerosi elementi complessi, imperfetti e talvolta lesionati. Come detto in precedenza però, questo metodo possiede il grande vantaggio di riuscire a dare una determinata forma a geometrie complesse, come ad esempio i muri. La muratura della fortezza infatti non presenta un andamento regolare, in particolare le torri presentano murature a scarpa e muri a sperone. Attraverso l’utilizzo delle masse concettuali è stato quindi possibile dapprima di generare un volume solido in grado di rappresentare la forma dell’elemento, e poi con l’utilizzo dell’apposito tool “muro da superfici” è stato assegnato ad ogni faccia del solido un determinato tipo di muro.

¹⁵⁴ Pozzoli, S., 2017, p.391.

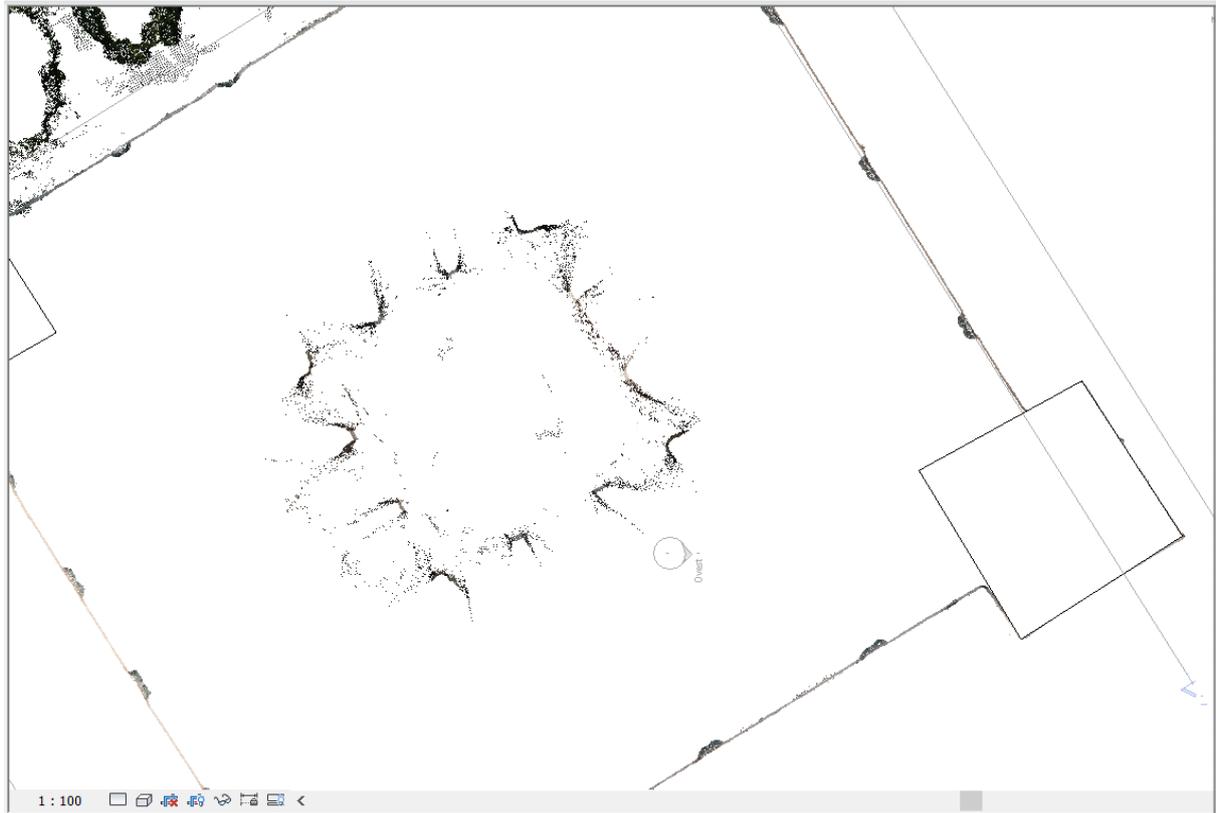


Figura 113: Costruzione dei contorni chiusi delle masse relative alle torri e al complesso centrale della Castellina – Autodesk Revit 2017.

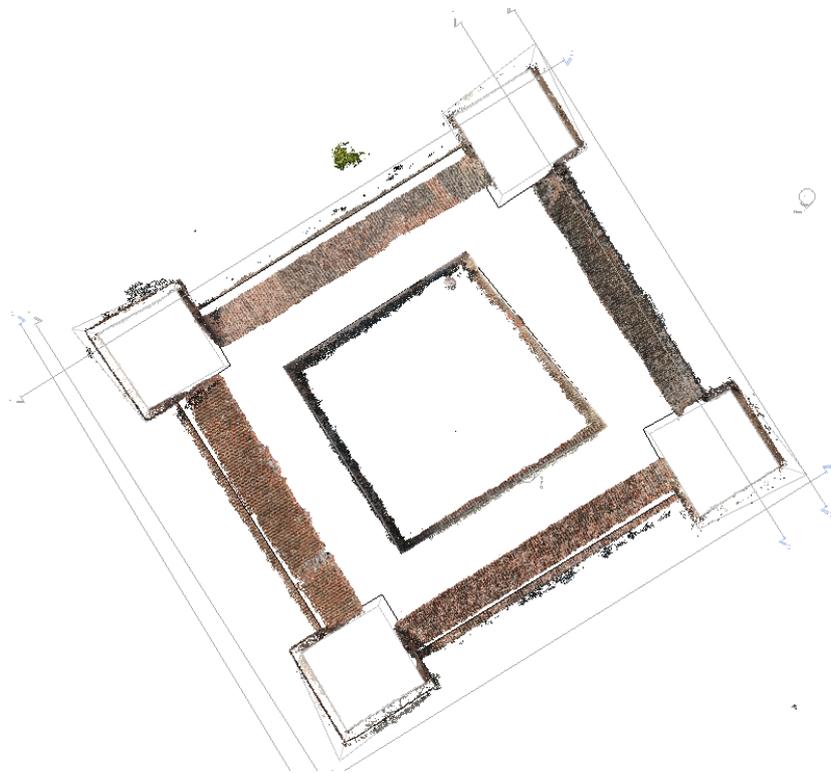


Figura 114: Modifica della massa centrale del complesso con l'inserimento di un vuoto centrale in corrispondenza del chiostro – Autodesk Revit 2017.

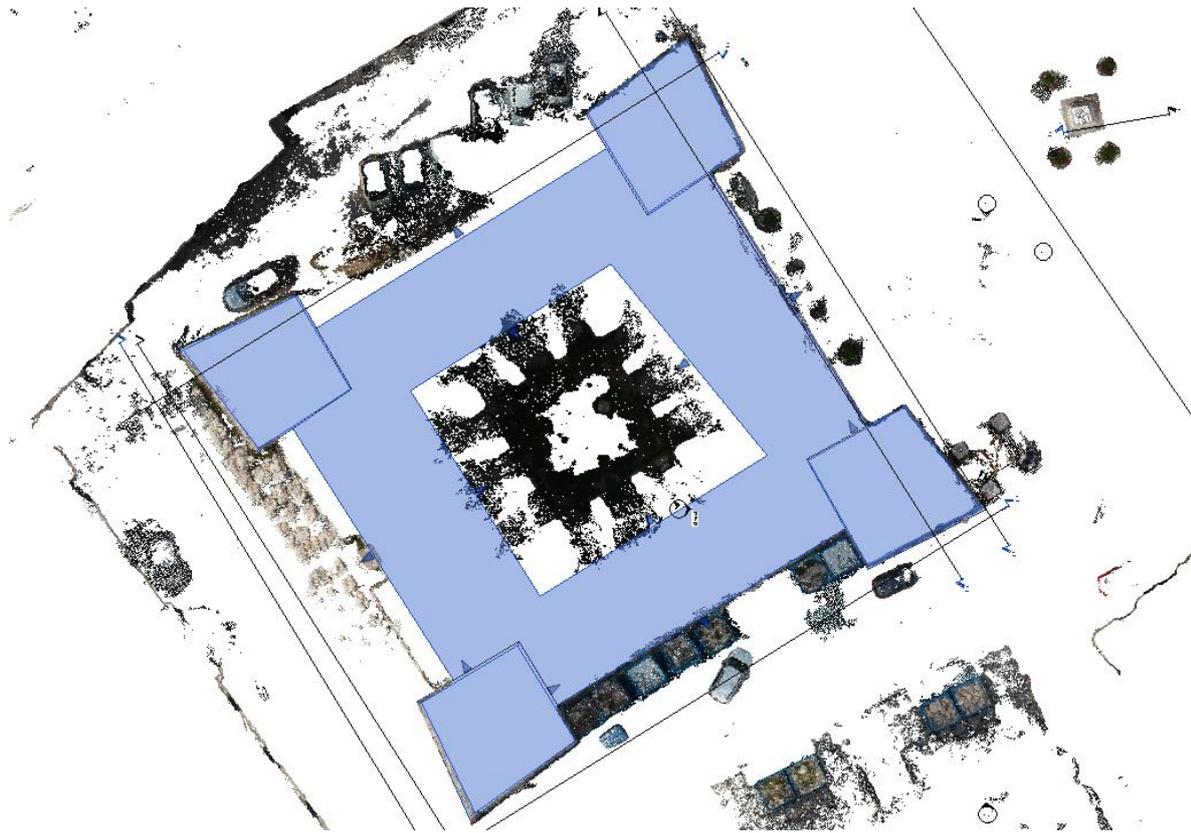


Figura 115: Generazione delle masse concettuali della Castellina in rapporto con la nuvola di punti – Autodesk Revit 2017.

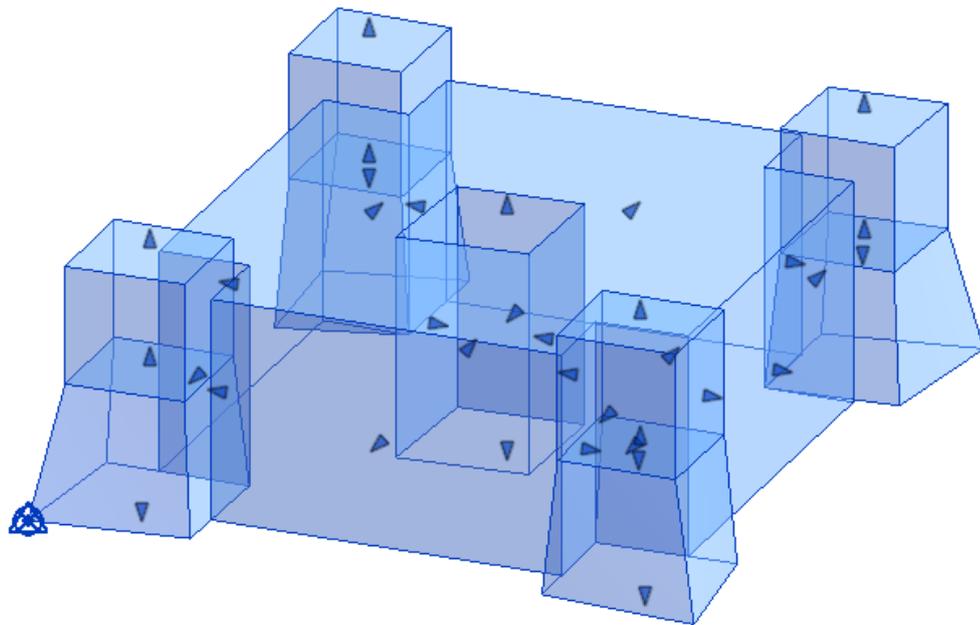


Figura 116: Vista assonometrica del modello delle masse della Castellina – Autodesk Revit 2017.

Per quanto riguarda la definizione dei muri perimetrali, non avendo a disposizione i disegni (piante, prospetti, sezioni) della fortezza, è stato creato, a partire dalla Famiglia di sistema Muro, un nuovo Tipo di muratura che potesse rappresentare al meglio quella esistente. A tal proposito è stato innanzitutto definito un nuovo muro generico in pietra dall'ipotetico spessore di 1m, ed in seguito è stato applicato alle superfici che identificano le torri, le quattro facciate del complesso e il chiostro interno. I muri così creati seguono gli andamenti reali delle pareti individuate sulla nuvola, quindi nel caso di superfici oblique anche il muro generato su tale superfici sarà obliquo. Le pareti infatti vengono orientate seguendo le normali delle superfici e soprattutto nei casi in cui queste ultime non risultavano allineate, seguendo questa logica, è stato possibile concatenare i muri per piani successivi. In questo modo i legami costruttivi tra le varie murature sono stati mantenuti.

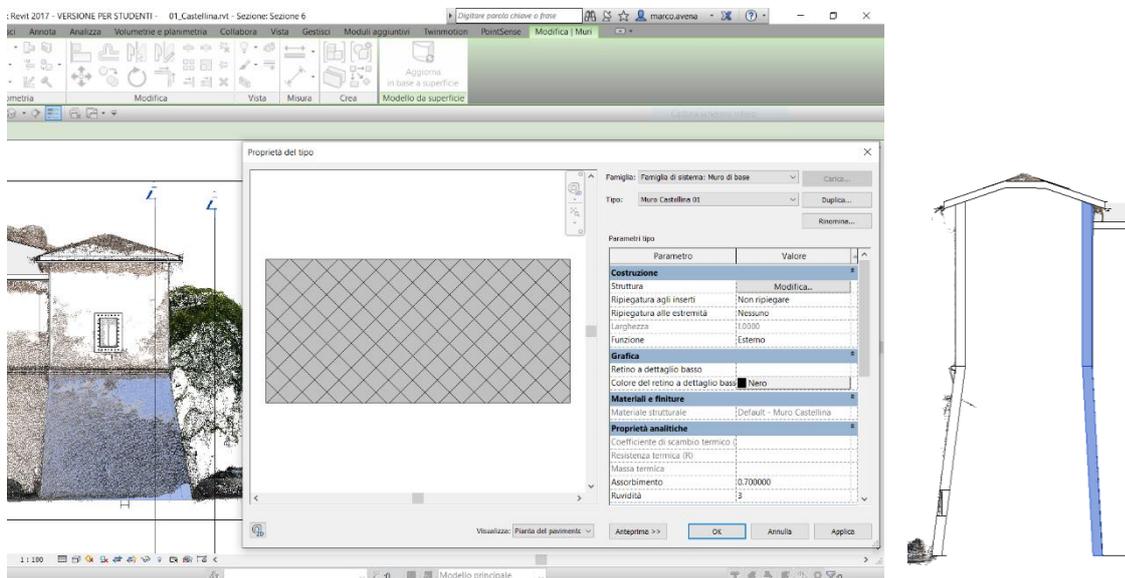


Figura 117: Configurazione del muro della Castellina con i relativi parametri ed esempio di concatenamento dei muri della torre costruiti a partire da assi non allineati – Autodesk Revit 2017.

Per quanto riguarda la realizzazione delle murature del chiostro interno sono state invece generate quattro sezioni passanti per il centro del complesso, in modo da avere a disposizione i quattro prospetti dei portici interni. Il muro disegnato lungo il perimetro del chiostro risultava un solido pieno e si è quindi proceduto, utilizzando sempre le precedenti viste di sezione, ad editare il suo perimetro inserendo le aperture degli archi al piano terra e al piano primo (Fig.117).

Invece, per la generazione dei tetti è stato utilizzato un tetto standard messo a disposizione dalle famiglie di default di Revit, non essendo in possesso anche in questo caso dei disegni relativi alle stratigrafie delle coperture. Il software mette a disposizione un comando che permette di generare una copertura indicando un perimetro di riferimento. Prima di effettuare tale passaggio, vista la complessità del tetto della fortezza (inclinazioni differenti, forme irregolari e asimmetriche), è stata presa la decisione di scomporre il tetto in elementi differenti, così da poter controllare con maggior precisione la forma e le inclinazioni di ogni falda e generare per ogni diverso elemento una famiglia di riferimento opportuna. Dopo essersi assicurati di lavorare su una vista planimetrica si è in primis proceduto con la generazione del perimetro delle coperture delle torri, le quali presentavano livelli di gronda differenti, fattore che ha portato alla creazione di quattro nuovi livelli da cui generare le singole coperture. Il comando “Tetto da perimetro” per assolvere la sua funzione necessita infatti di un piano a cui associare il profilo di gronda, che viene quindi individuato da un apposito livello. Una volta assegnato tale livello si è proceduto con la creazione del perimetro del tetto in questione seguendo il profilo indicato dalla nuvola di punti. Per la definizione dell’inclinazione è opportuno creare una vista di sezione, così da poter sfruttare la nuvola di punti per adeguare la falda creata alla reale posizione del tetto. Questo procedimento è stato ripetuto per tutte le restanti coperture della fortezza.

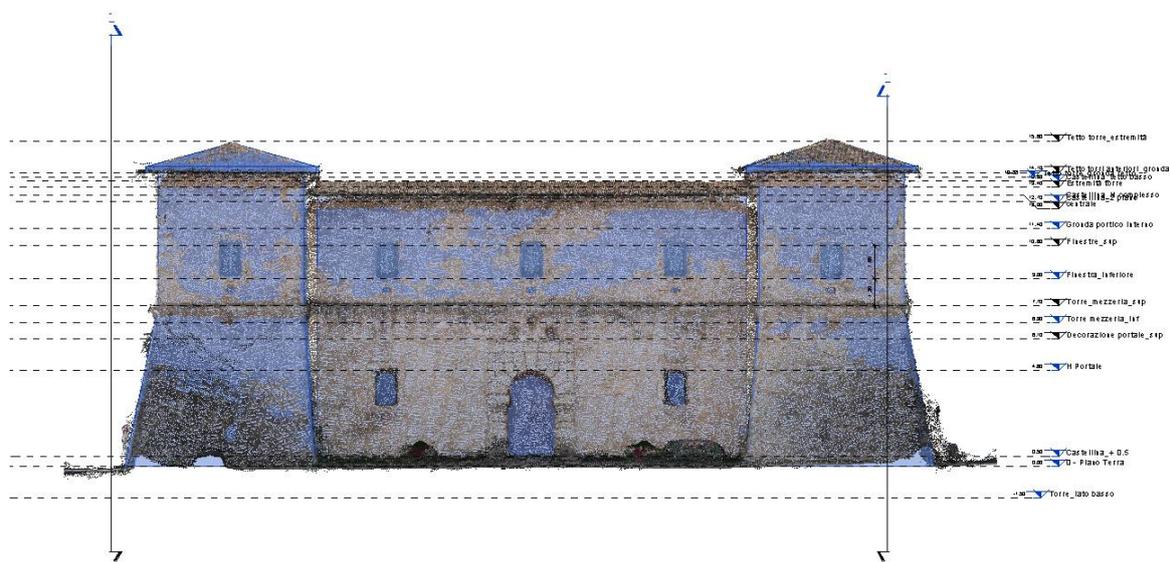


Figura 118: Vista in prospettiva delle masse locali messe a confronto con la nuvola di punti –

Autodesk Revit 2017.

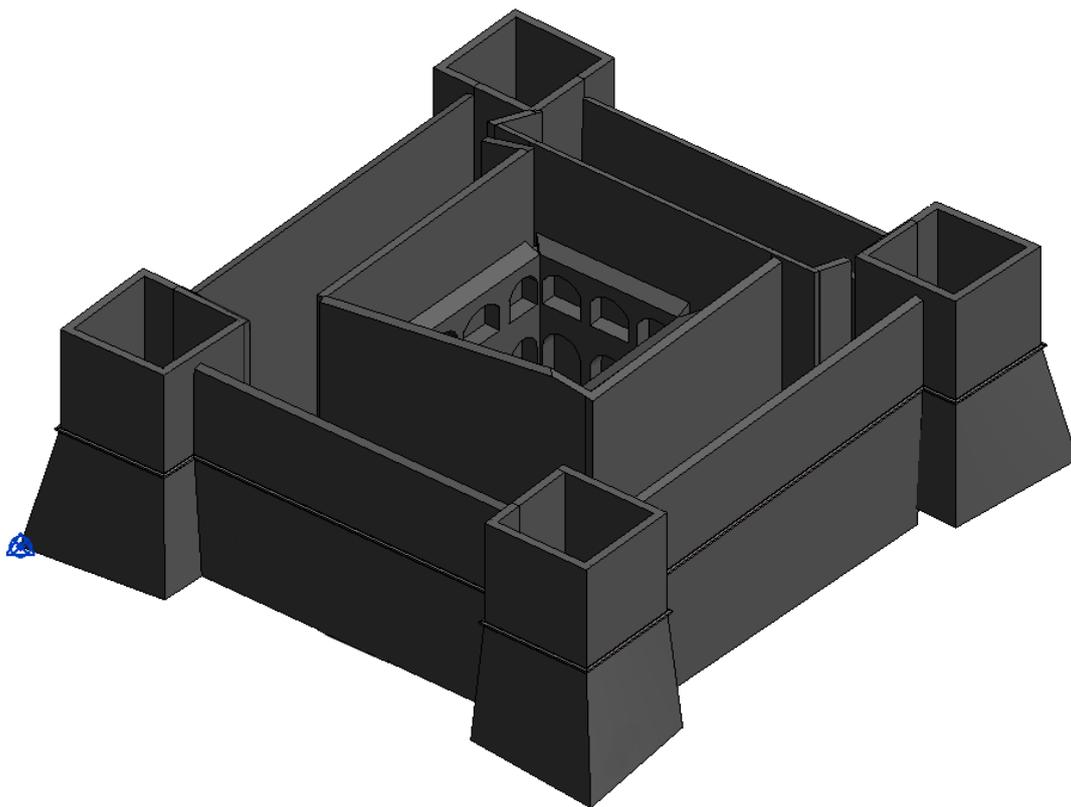


Figura 119: Vista assonometrica rappresentante i muri della fortezza generati a partire da una superficie – Autodesk Revit 2017.

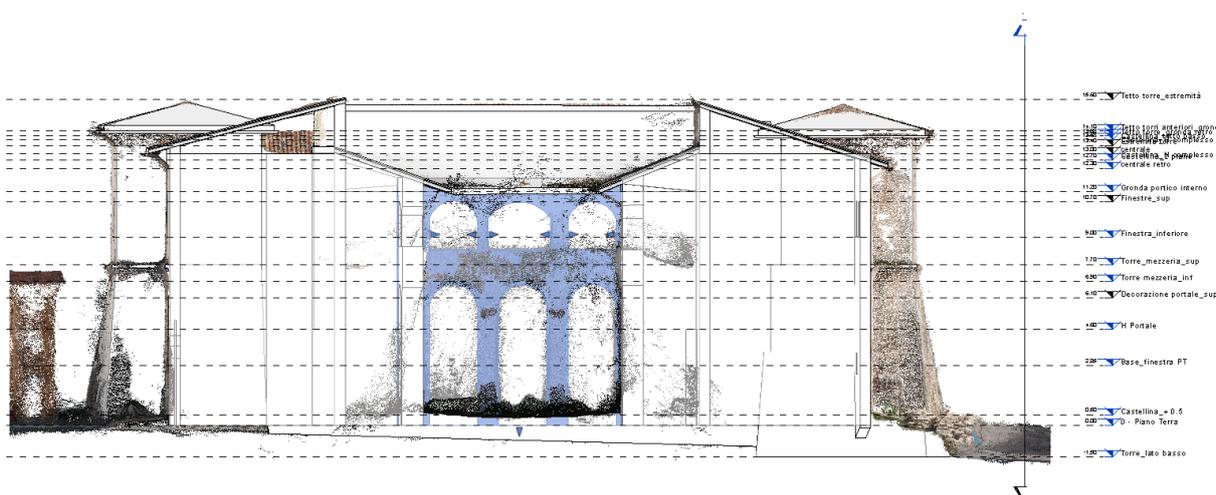


Figura 120: Vista di sezione della fortezza per la generazione del portico del chiostro interno – Autodesk Revit 2017.

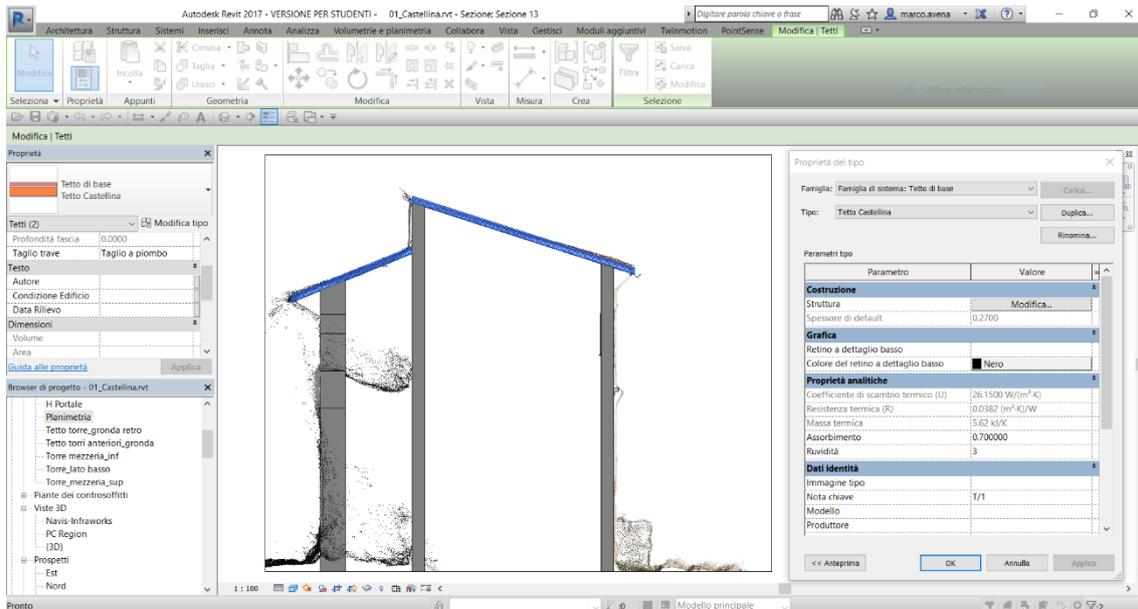


Figura 121: Vista di sezione della manica Sud-Ovest della fortezza con l'individuazione dei tetti creati – Autodesk Revit 2017.

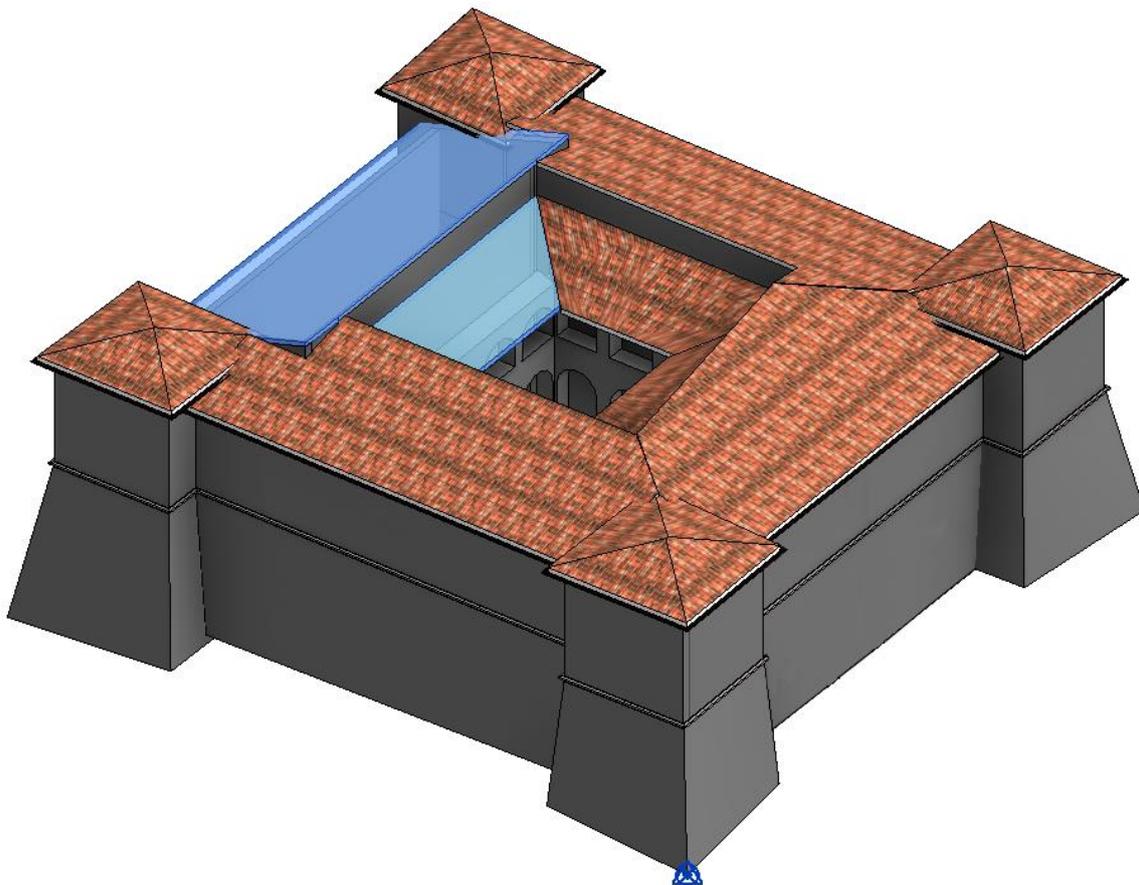


Figura 122: Vista assonometrica del modello BIM della fortezza composto da elementi murari coperture, con individuazione dei tetti della manica Sud-Ovest – Autodesk Revit 2017.

Adottare un metodo di lavoro di questo tipo, che vede la divisione dell'intero complesso edilizio in più parti ed elementi costruttivi, ha permesso di avere una distinzione il quanto più possibile realistica delle varie componenti che formano l'edificio. In perfetta ottica BIM infatti tale metodo permette di avere sempre sotto controllo ogni singolo elemento creato, al quale possono essere apportate modifiche ed aggiunte informazioni in qualsiasi momento ed in seguito ad analisi successive.

8.3.4.2 Generazione di Famiglie personalizzate

Solitamente i software BIM nascono per la realizzazione di opere edilizie di nuova costruzione e per tale motivo all'interno dei principali programmi presenti sul mercato sono attive di default librerie con all'interno dei modelli generici che riproducono i principali elementi architettonici, strutturali, impiantistici ecc. In ambiente Revit succede la stessa cosa e molto spesso accade che non siano presenti delle particolari Famiglie di elementi utili al progettista per integrare il modello a cui sta lavorando. A tal proposito il team di sviluppo di Autodesk Revit ha risposto a questa problematica con la creazione di un ulteriore ambiente di lavoro chiamato *Editor delle Famiglie*, il quale consente, in maniera analoga al workspace di un progetto generico, di creare nuove Famiglie o modificarne di esistenti, semplicemente disegnandone le geometrie e stabilendo tra loro relazioni parametriche¹⁵⁵. La creazione di nuove Famiglie personalizzate permette di creare quindi degli oggetti parametrici che in quanto tali, una volta creati, possono essere utilizzati sia localmente in un progetto, sia essere caricati in altri progetti in cui tale elemento compare. Eventuali differenze di geometria (lunghezza, altezza, spessore ecc.) potranno di volta in volta essere modificati semplicemente andando a correggere i parametri di cui tale elemento è composto.

Per i progetti che hanno come scopo principale quello di analizzare e ricostruire in ambiente BIM un elemento o un edificio esistente (HBIM), le potenzialità offerte dall'Editor delle famiglie sono notevoli, in quanto viene data la possibilità di riprodurre in ambiente digitale anche geometrie complesse.

Viene a questo punto proposto il metodo utilizzato per la realizzazione delle più significative ed emblematiche Famiglie personalizzate parametriche appositamente create per rappresentare la fortezza della Castellina, chiarendo le procedure e le semplificazioni adottate nella

¹⁵⁵ Pozzoli, S., 2017, p.643.

realizzazione di tali elementi. A tal proposito, per identificare in maniera univoca il modello della fortezza sono stati infatti identificati due elementi caratteristici che hanno dato vita ad altrettante nuove Famiglie personalizzate: il portale d'ingresso e le finestre.

La prima e più caratteristica Famiglia che è stata creata è quella relativa all'imponente portale d'ingresso. Dopo un'attenta fase di studio del portale e delle geometrie da cui è composto si è proceduto a creare un nuovo progetto nell'Editor delle famiglie che avesse come riferimento una famiglia di base dalla quale partire. Per la generazione delle porte in generale Revit mette a disposizione una famiglia che ospita al suo interno un muro host con un'apertura generica e alcuni parametri come altezza, larghezza e spessore dell'apertura stessa, i quali possono essere modificati o aggiunti. L'editor delle famiglie di Revit non permette però l'importazione delle nuvole di punti nell'ambiente di lavoro, perciò la procedura di estrapolazione delle misure degli elementi deve avvenire nell'ambiente di progetto originale. Questa procedura rallenta di molto il processo di elaborazione di Famiglie personalizzate, tuttavia il risultato finale risulta essere molto preciso e fedele alla realtà.

Il portale d'ingresso della Castellina presenta una forma ad arco a tutto sesto e lungo il suo perimetro sono presenti pietre di rivestimento a formare un motivo ornamentale. Per la generazione dell'arco si è proceduto modificando il perimetro del muro di default utilizzando i comandi di disegno geometrico che il programma mette a disposizione. Il risultato finale ottenuto è quindi un'apertura con la forma desiderata. Inserendo poi una quota all'interno di tale apertura è possibile assegnare e vincolare la quota stessa al parametro larghezza, in modo che una qualsiasi modifica futura di tale valore comporti il cambiamento automatico dell'apertura. Lo stesso procedimento è stato applicato per l'altezza del portale (da terra fino all'imposta dell'arco).

Ogni elemento che viene creato deve essere associato ad un piano di lavoro, per permettere al software di capire dove costruire la geometria. Nel caso della generazione della pietra a coronamento del portale infatti si è fatto coincidere il muro host come piano di lavoro e successivamente per mezzo degli strumenti di disegno sono state creati i profili di ogni singola pietra, aiutandosi con opportune linee di costruzione. Per ottenere infine il modello tridimensionale del bugnato si è proceduto ad estrarre tutti i profili fino all'ottenimento di uno spessore di 5 cm, ricavato dall'analisi eseguita su una sezione opportunamente generata nel progetto originale. L'ultimo passaggio ha invece permesso di creare il vero e proprio portone, formato da due imponenti ante in ferro battuto. Di conseguenza sono stati creati due profili di

base (anta destra e anta sinistra) che avevano come piano di riferimento il terreno, e una volta generati, con una semplice estrusione si sono generati due volumi. Ad ogni elemento è stato infine aggiunto un determinato parametro materiale, in particolare al portale è stato assegnato un legno generico “Noce” e al bugnato una generica “Pietra”. Ogni volta che un nuovo parametro viene creato è immediatamente visibile nelle proprietà della Famiglia.

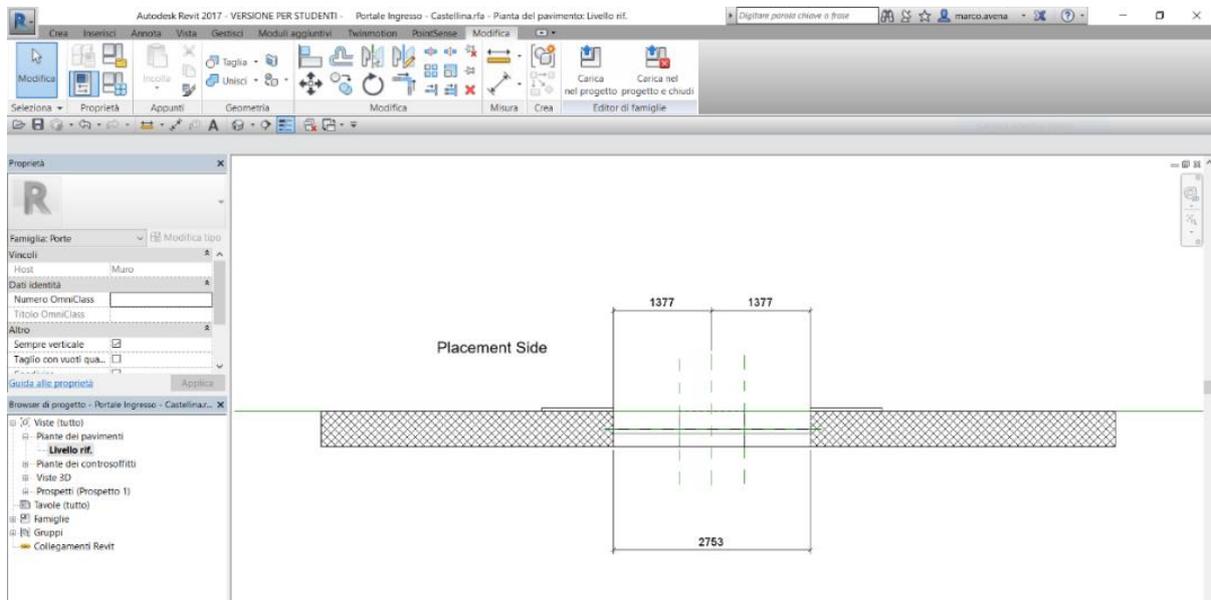


Figura 123: Inserimento delle quote e generazione dei vincoli – Autodesk Revit 2017.

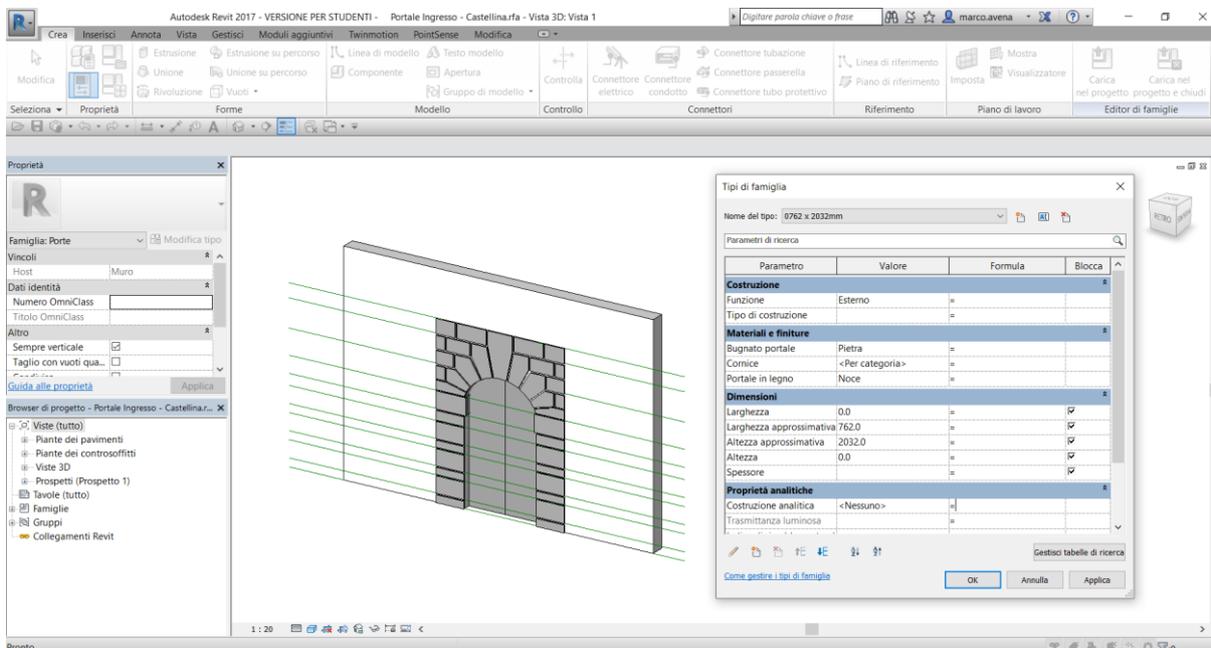


Figura 124: Generazione ed inserimento di nuovi parametri del portale – Autodesk Revit 2017.

La seconda tipologia di Famiglia che è stata creata sono le finestre che caratterizzano la fortezza. In particolare dal rilievo sono emerse tre tipologie di finestre:

Tabella 10: Le tre Famiglie di finestre create in Revit per la realizzazione della Fortezza della Castellina.

	Dimensioni (LxH)	Caratteristiche
FINESTRA A	100x170 cm	Elemento di decoro perimetrale in pietra
FINESTRA B	100x170 cm	Elemento di decoro perimetrale in pietra , presenza di una grata di protezione
FINESTRA C	100x100 cm	Presenza di una grata di protezione

Per ogni tipologia riscontrata è stata creata un'apposita Famiglia parametrica che una volta realizzata va ad implementare il modello di ulteriori dettagli ed informazioni. Il procedimento è del tutto analogo a quello precedente che ha visto la creazione della famiglia del portale. L'unica differenza è rappresentata dal fatto che in questo caso la famiglia utilizzata come base di partenza è riferita ad una finestra standard, generata a partire da un muro host. Una volta vincolate le misure del foro ai parametri di altezza, larghezza e spessore sono stati inseriti i parametri corretti delle misure provenienti dalla nuvola ed è stato generato il foro dell'apertura corretto. Per la generazione del telaio, del controtelaio, del vetro e della cornice è stato utilizzato il metodo classico già usato in precedenza, che prevede di disegnare i profili degli elementi su un determinato piano di lavoro ed eseguire la successiva estrusione. Se per la generazione del vetro è stata sufficiente una semplice estrusione del profilo, per quanto riguarda il telaio ed il controtelaio si è stata impiegata l'"estrusione su percorso", che permette di estrarre un determinato profilo sulla base di un tragitto assegnato. Nel caso specifico dei telai delle finestre tale tragitto è rappresentato dal rettangolo individuato all'interno del foro dell'apertura, ovvero un binario che permette di creare un elemento continuo. La cornice in maniera analoga è stata generata per mezzo di un'estrusione su percorso, mentre per la creazione del motivo a cerchi scolpiti su di essa è stata eseguita una sottrazione booleana tra superfici. Come ultimo passaggio, per le finestre di tipo B-C sono state aggiunte le grate, generate dall'estrusione di semplici cerchi dal diametro di 3cm e di altezza variabile in base al varco dell'apertura. Anche per quanto riguarda le finestre la generazione di appositi parametri ha permesso di aggiungere dettagli di tipo materico degli elementi creati: al vetro corrisponde infatti il materiale "vetratura trasparente", al telaio e al controtelaio un materiale generico

“legno bianco”, alle grate il materiale “ferro battuto” e alla cornice il materiale “pietra generica”.

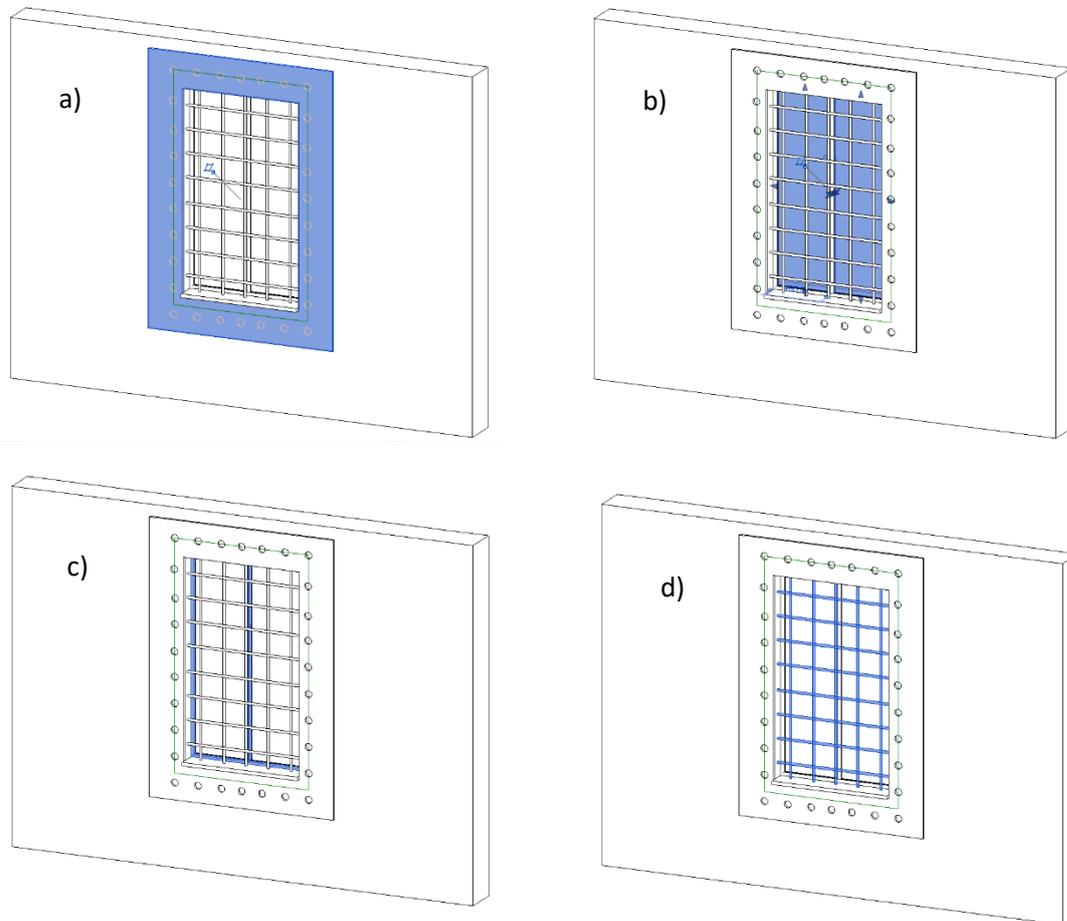


Figura 125: Esempio degli elementi da cui è composta la FINESTRA A: cornice (a), vetro (b), telaio fisso e mobile (c), grate (d) – Autodesk Revit 2017.

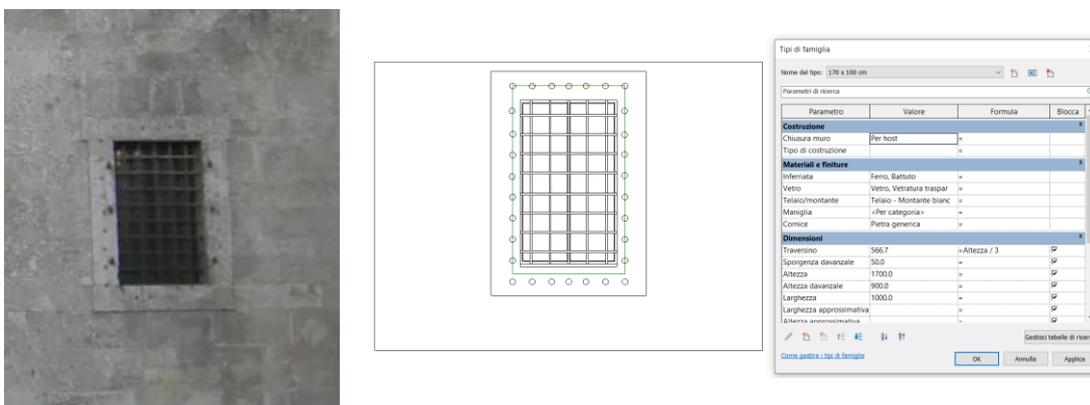


Figura 126: Generazione del nuovo Tipo di Famiglia FINESTRA A (100x170 cm) – Autodesk Revit 2017.



Figura 127: Vista assonometrica della fortezza della Castellina e sovrapposizione del modello BIM con la nuvola di punti.



Figura 128: Vista assonometrica del modello BIM della fortezza della Castellina.

8.3.5 Modellazione della Zona Rossa di Norcia

Se nel caso della fortezza è stato individuato il LOD D come obiettivo da raggiungere per la modellazione, per quanto riguarda la generazione degli edifici inseriti nella ZR si è deciso di raggiungere i LODs B-C. L'utilizzo di due livelli di dettaglio differenti è stata dettata dal fatto che il fine ultimo di questo lavoro è legato alla generazione di un modello urbano multiscala in grado di fornire informazioni legate al tessuto edilizio della città di varia natura, dalla scala urbana a quella architettonica. Se infatti da un LOD B generico è possibile ricavare soltanto dati come ad esempio la forma, il posizionamento e l'ingombro di un edificio, la maggior tematizzazione legata ad un LOD C garantisce invece letture più approfondite dell'organismo edilizio: scelte architettoniche, posizionamento porte e finestre, tetti, individuazioni di eventuali imperfezioni o danni ecc.

Per la generazione del modello della ZR in ambiente Revit è stata utilizzata la nuvola di punti generata a partire dai dati dei voli *eBee e Spark*, la stessa utilizzata per il progetto iniziale del terreno. Questo ha permesso di generare un nuovo progetto che avesse come base tale nuvola di punti già correttamente georeferita e pronta per essere utilizzata. Ovviamente la zona di interesse è rappresentata dalla ZR, e per tale ragione la prima operazione eseguita è stata quella di circoscrivere l'area di progetto attraverso la generazione di un riquadro di sezione che inglobasse solamente tale zona.

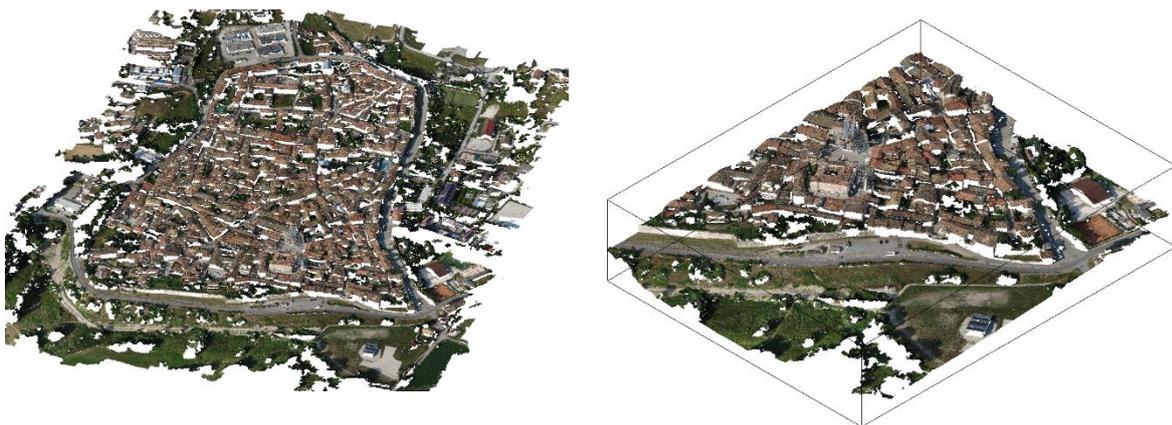


Figura 129: A sinistra la nuvola di punti completa della città di Norcia, mentre a destra il ritaglio relativo alla ZR – Autodesk Revit 2017.

Essendo la nuvola di punti molto pesante e dato che gli edifici da modellare presenti nella ZR ammontavano a 90¹⁵⁶, è stata presa la decisione di non generare tutti i singoli modelli degli edifici all'interno di un unico progetto, in quanto il software avrebbe creato dei problemi data l'elevata mole di dati caricati al suo interno. Pertanto è stato deciso di generare un nuovo progetto per ogni edificio, mantenendo invariati sia la nuvola di punti che il PBP in modo che, nonostante fossero stati generati in momenti differenti, tali fabbricati avrebbero mantenuto lo stesso sistema di riferimento. Di seguito verranno descritti i passaggi e le operazioni eseguite per generare questi modelli, stabilendo dei casi emblematici in rappresentanza dei 90 edifici dell'intera area. Tale scelta è motivata dal fatto che sono state applicate le medesime tecniche e passaggi per tutti i fabbricati e un'ulteriore descrizione del workflow seguito per la generazione di ognuno di loro sarebbe risultata ripetitiva. Sono stati perciò individuati tre casi significativi in grado di mettere in risalto i procedimenti adottati per generare edifici modellati secondo differenti LODs (un caso per il LOD B e due casi per il LOD C):

- **LOD B.** Racchiude tutti quegli edifici di cui non si dispone di dati sufficienti per una modellazione dettagliata. La ZR di Norcia infatti risente di una tipica conformazione medioevale per quanto riguarda l'edificato: le strade sono molto strette e tortuose, mentre gli edifici risultano compatti e ammassati tra di loro. In queste particolari zone il solo volo *eBee* ha potuto acquisire dati molto accurati dalle riprese nadirali, mentre per quanto riguarda le informazioni relative ai fronti degli edifici sono state riscontrate mancanze e imperfezioni. Gli edifici sono stati quindi generati a partire da semplici geometrie di ingombro e dalle loro coperture. In modo particolare è stato approfondito il caso di un complesso di case ubicate in Via Legnano.
- **LOD C.** I fabbricati riuniti in questo gruppo presentano un livello di dettaglio maggiore in quanto i dati provenienti dal rilievo aerofotogrammetrico (*eBee* e *Spark*) sono risultati adeguati per ottenere una rappresentazione a scala architettonica (1:100). Tali edifici sono ubicati principalmente nella zona di piazza S.Benedetto e dalla nuvola di punti sono visibili ed identificabili elementi come le porte, le finestre, i balconi, eventuali scalinate, elementi danneggiati o crollati ecc. Tutte queste strutture sono state rappresentate da solidi 3D strutturati ed in particolare il primo caso proposto espone il procedimento per la generazione di un edificio in Via Solferino in prossimità di piazza S.Benedetto, mentre il secondo caso riguarda un edificio monumentale gravemente colpito dal sisma del 2016-2017, la Basilica di S.Benedetto.

¹⁵⁶ Per visionare l'elenco completo di tali edifici si rimanda all'allegato B.

8.3.5.1 Il caso di Via Legnano (LOD B)

L'insieme degli edifici preso in considerazione in questo primo caso è rappresentato da alcune abitazioni ubicate alla fine di Via Legnano, nei pressi di Porta Ascolana. I fabbricati in questione sono quelli individuati dai numeri 66-67-68-69-70 del database creato per identificare gli edifici della ZR. La via in questione risulta essere molto stretta e gli edifici che si affacciano su di essa presentano massimo due piani fuori terra. Dato che Via Legnano è situata nella parte di città che possiede ancora un tessuto medioevale, le facciate degli edifici non sono state rilevate perfettamente dal volo aerofotogrammetrico e la nuvola di punti generata evidenzia alcune lacune in tal senso, tanto che in alcuni casi le informazioni sono assenti.

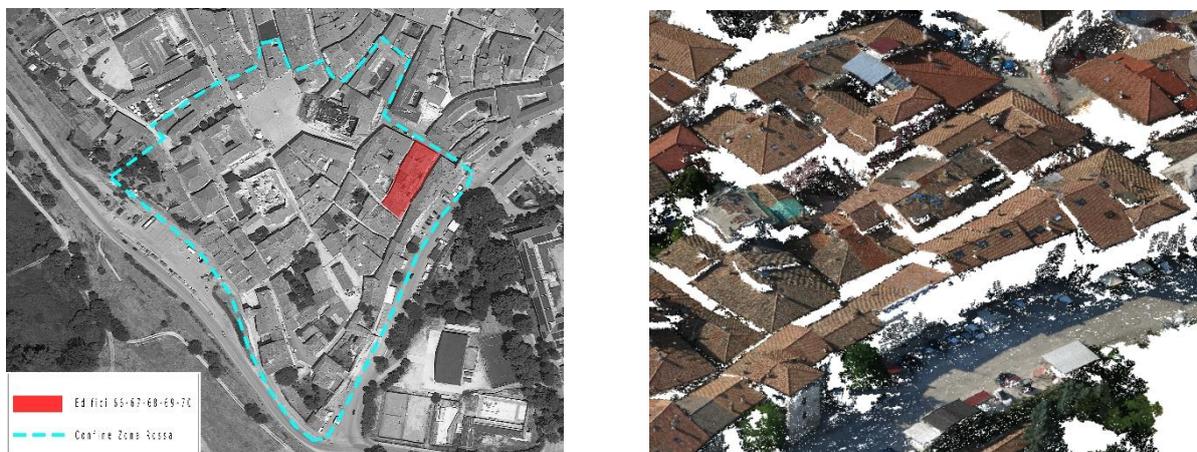


Figura 130: Localizzazione dell'insieme di edifici ubicati in Via Legnano (sinistra) e porzione della nuvola di punti generata dal volo eBee che evidenzia la mancanza di dati relativi ai fronti di tali edifici (destra).

Per la generazione dei vari modelli di edifici si è proceduto sfruttando i dati provenienti dalle strisciate nadirali del drone, il quale ha potuto rilevare con un alto livello di accuratezza le falde dei tetti e il terreno che in questo caso è rappresentato dalla strada. In questo modo, generando opportune sezioni della nuvola di punti al livello della strada, è stato possibile individuare il piano terra e la linea di gronda di ogni edificio. Questa attività preliminare ha permesso di impostare il lavoro per la successiva fase della modellazione, in quanto dall'impostazione di tali livelli e piani di lavoro è stato possibile generati le masse e i tetti degli edifici (Fig.131).

La vera e propria fase di modellazione ha seguito la stessa metodologia utilizzata per la generazione della fortezza della Castellina, in quanto si è dapprima creata una Massa concettuale per definire l'ingombro del fabbricato, e solo successivamente a tale massa è stata applicata una muratura generica da 50 cm di spessore. Non avendo infatti a disposizione alcun dato riguardante la stratigrafia dei muri degli edifici è stata applicata una muratura generica che potesse ben adattarsi a quella reale. Ovviamente, dal momento che questi modelli sono stati

creati all'interno di un software BIM, ognuno di loro potrà essere modificato ed implementato in futuro con altre informazioni (spessore dei muri corretto, stratigrafia, planimetria interna delle abitazioni ecc.).

Per la generazione dei tetti non avendo anche qui dati sulle stratigrafie, è stata creata una copertura generica uguale per tutti gli edifici. Per poterle maggiormente distinguere l'una dalle altre, ad un livello di dettaglio a scala urbana, si è solamente applicata una texture diversa

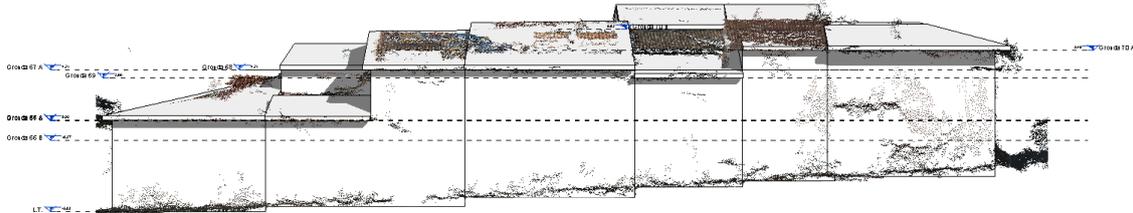


Figura 131: Sezione su via Legnano che mostra i prospetti dei modelli 3D degli edifici.

all'elemento dei coppi a seconda del caso. In questo senso è tornata molto utile la nuvola di punti visualizzata in vista planimetrica, in quanto grazie all'informazione del colore che è stata mantenuta in fase di importazione in ambiente Revit, ha permesso una facile lettura della cromia dei coppi dei tetti. La costruzione delle coperture vera e propria è stata eseguita inizialmente con il comando "tetto da perimetro" che, in maniera analoga a quanto già descritto precedentemente, ha inizialmente permesso di costruire la base del tetto avendo come riferimento l'ortofoto. In ultima analisi si è proceduto alla definizione dell'inclinazione delle falde servendosi di opportune sezioni della nuvola di punti, in grado di evidenziare in maniera inequivocabile il profilo del tetto reale.

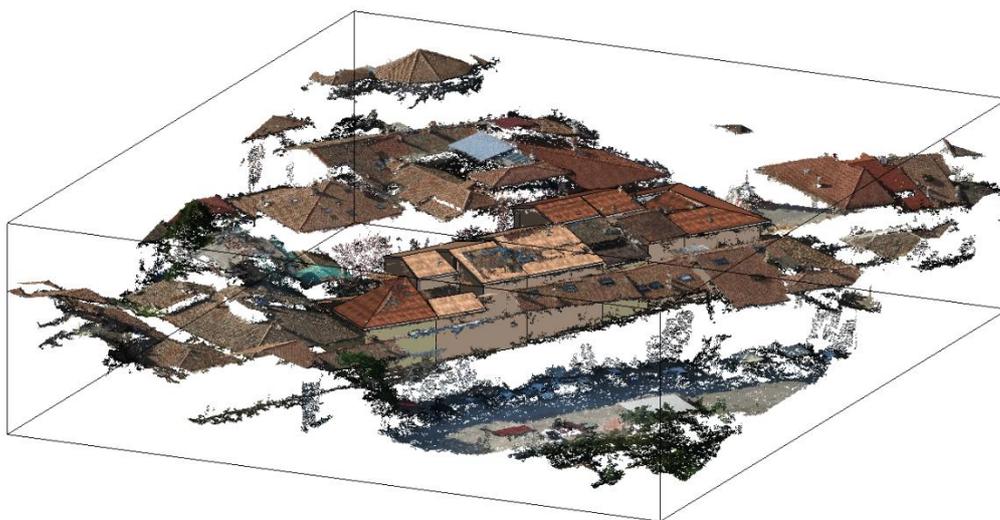


Figura 132: Vista assometrica dei modelli 3D degli edifici con sovrapposizione della nuvola di punti.

8.3.5.2 Il caso di Via Solferino (LOD C)

L'edificio in questione, e più precisamente il numero 2 del database della ZR, è situato in Via Solferino e si affaccia direttamente sulla fortezza della Castellina. Nonostante la via che costeggia il fabbricato sia molto stretta, l'unione dei dati provenienti dai rilievi aerofotogrammetrici hanno permesso di poter ricreare l'intero edificio con un LOD C.

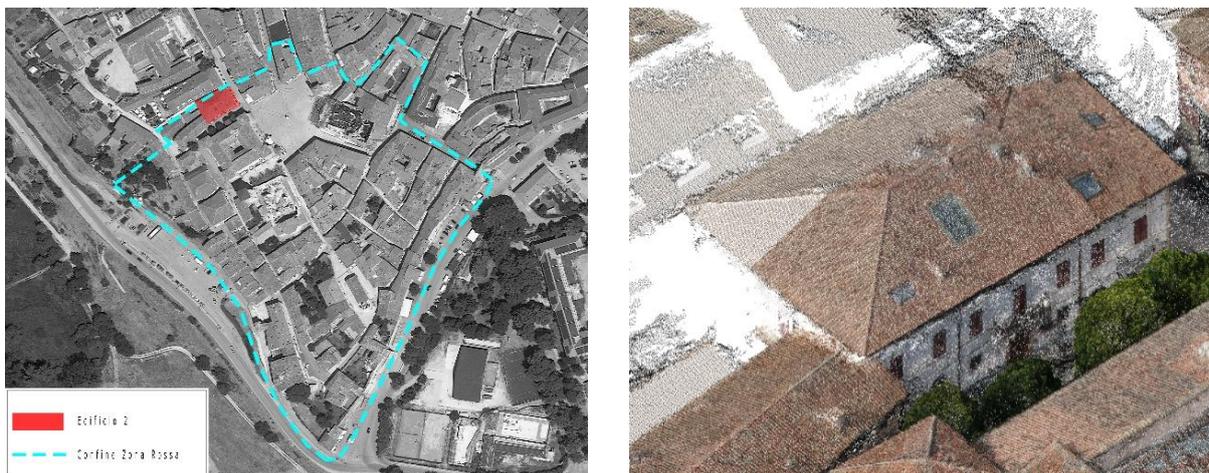


Figura 133: Localizzazione dell'edificio 2 ubicato in Via Solferino (sinistra) e porzione della nuvola di punti generata dai voli eBee e Spark che ben evidenzia gli elementi architettonici presenti sui fronti (destra).

Analogamente ai modelli precedenti è stato impostato il workspace per inquadrare al meglio l'edificio. Sono quindi state create tre apposite sezioni al centro delle vie che lo costeggiano, le quali hanno generato altrettante viste di prospetto da cui sono stati individuati i consueti livelli della linea di terra e di gronda. Dal momento che dalla nuvola di punti erano facilmente individuabili tutte le aperture (porte, finestre e vetrine) sono state generate delle linee di costruzione per determinarne la posizione. Una volta terminato il posizionamento delle linee guida è stata creata la Massa concettuale relativa all'ingombro del fabbricato e successivamente è stato utilizzato lo specifico tool "muro da superficie" per applicare in un primo momento un muro generico da 50 cm, lo stesso utilizzato in precedenza per la modellazione degli edifici in LOD B. In maniera del tutto analoga, per la generazione del tetto è stata utilizzata la medesima copertura dell'edificio di Via Legnano, a cui si è modificata soltanto la pendenza. Fin qui i passaggi eseguiti sono i medesimi del caso precedente, tuttavia l'aspetto innovativo è rappresentato dall'aggiunta al modello di una stratigrafia dei muri perimetrali e dall'inserimento di elementi di dettaglio quali porte, finestre, vetrine, balconi e ringhiere.

Per quanto riguarda la creazione dei muri perimetrali, al muro generico adottato sono stati aggiunti due strati di intonaco, uno interno ed uno esterno, entrambi dallo spessore di 1cm. Per

quanto riguarda l'intonaco interno, non conoscendo l'effettivo colore della parete, è stato ipotizzato un generico intonaco bianco, mentre per l'esterno l'informazione del colore derivante dalla nuvola di punti ha permesso di individuare la corretta cromia della parete, ovvero il beige. Al nucleo del muro invece è stato assegnato un generico muro di default dallo spessore di 48 cm.

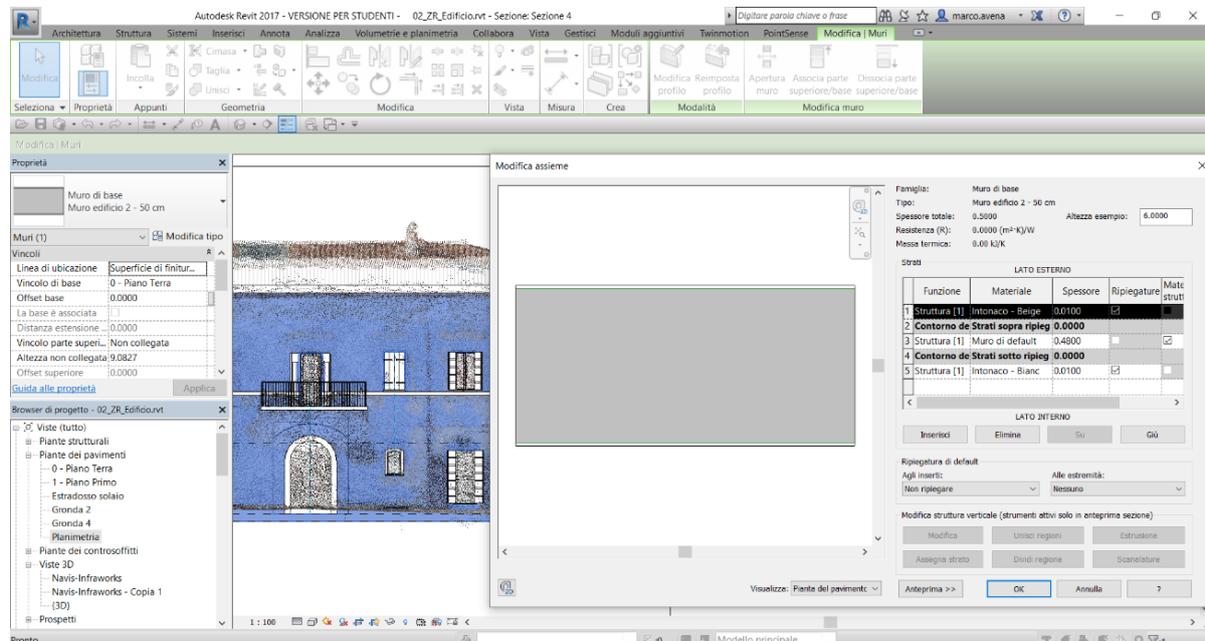


Figura 134: Individuazione del muro di facciata dell'edificio 2 e relativa stratigrafia – Autodesk Revit 2017.

Per ciò che concerne gli elementi di dettaglio, sono state utilizzate Famiglie caricabili già presenti all'interno del programma, scegliendo accuratamente quali tra quelle disponibili potessero rappresentare nella maniera più fedele possibile gli oggetti reali. In particolare per le finestre al primo piano è stato scelto un modello a doppia anta con scuri in legno (80x150 cm); per le finestre al piano terra un particolare infisso ad arco (61x100 cm); per le porte finestra una porta a singola anta con due scuri in legno (80x210 cm); per il portale d'ingresso una generica porta ad arco in legno (120x250 cm); per le vetrine una generica porta ad arco vetrata (183x243,8 cm). Discorso a parte merita la creazione dei balconi con le relative ringhiere. Infatti dopo aver generato un nuovo livello corrispondente con la quota di estradosso del solaio, è stato generato il contorno del solaio per mezzo del comando "pavimento architettonico" in una qualsiasi vista di pianta. Una volta vincolato il perimetro del solaio al livello appena creato, è stato assegnato all'elemento un Tipo di pavimento generico di pietra. Infine per la generazione della ringhiera è stata inizialmente caricata una Famiglia ringhiera da quelle disponibili nel programma, e successivamente è stato disegnato il percorso che essa avrebbe dovuto seguire sulla superficie di estradosso del solaio ed automaticamente il software ha generato l'elemento.

Appare evidente che tutti gli elementi inseriti per implementare tale modello non rappresentino la copia esatta di quelli presenti nella realtà, tuttavia tali semplificazioni hanno permesso di aggiungere informazioni architettoniche verosimili al fabbricato, in perfetta sintonia con il LOD C che ci si era prefissati di raggiungere con questi modelli.

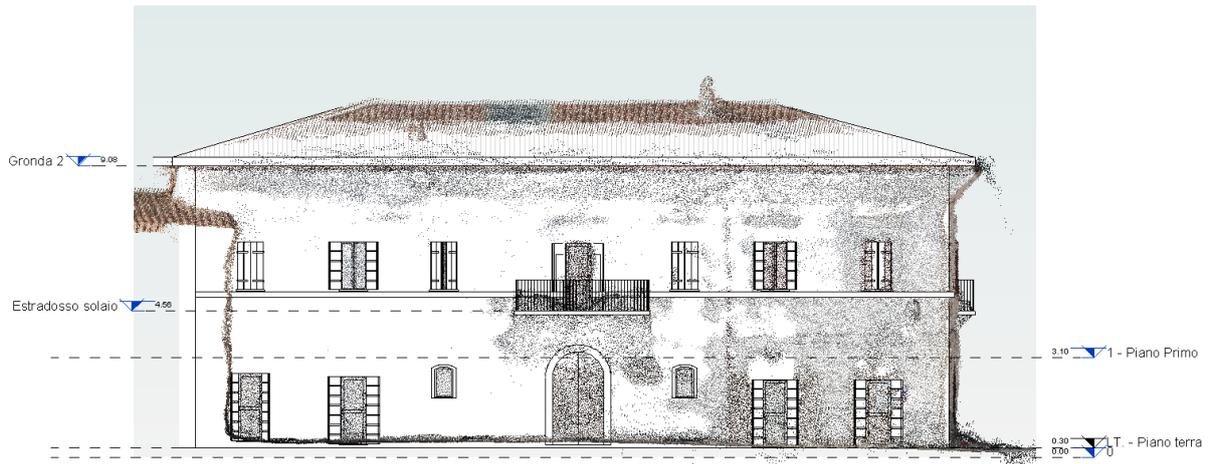


Figura 135: Prospetto Sud dell'edificio 2 sul quale sono stati individuati e poi modellati gli elementi di porte, finestre, vetrine e balconi – Autodesk Revit 2017.



Figura 136: Vista assonometrica dell'edificio 2 e sovrapposizione del modello BIM con la nuvola di punti – Autodesk Revit 2017.

8.3.5.3 Il caso della Basilica di S. Benedetto (LOD C)

Il caso della Basilica di S. Benedetto è emblematico in quanto rappresenta un monumento simbolo della città di Norcia quasi interamente crollato a seguito dello sciame sismico del 2016-2017. Per tutti gli edifici danneggiati presenti nella ZR (Palazzo Comunale, chiesa di S. Maria Argentea, chiesa di S. Lorenzo) si è deciso di raggiungere sempre un LOD C, concentrandosi in modo particolare, per la fase di modellazione, sulle murature crollate o gravemente danneggiate.



Figura 137: Localizzazione edificio 30, ovvero la Basilica di S. Benedetto, e porzione della nuvola di punti generata dal volo eBee e Spark che evidenzia i principali crolli del complesso – Autodesk Revit 2017.

Per la preparazione del workspace, delle coperture e dei muri sia della Basilica che del complesso adiacente, sono stati applicati le tecniche e metodi utilizzati per la realizzazione dei modelli degli edifici di tutta la ZR, quindi non verranno ripetuti. Particolare attenzione viene invece riservata alla costruzione della muratura di S. Benedetto, di cui ormai restano poche tracce. A tal proposito, in seguito ai terremoti sopracitati, si sono rilevate le seguenti tipologie di danno:

- Crollo della copertura della navata centrale;
- Crollo del portico sul lato ovest della Basilica;
- Crolli parziali dei tamponamenti esterni lati est e ovest;
- Crolli parziali dei tamponamenti del transetto;
- Crollo del campanile sul lato ovest.

Dopo un'attenta analisi sullo stato di fatto della Basilica si è deciso di rappresentare il danno relativo alla muratura servendosi dei dati provenienti dalla nuvola di punti. Con la creazione di opportune sezioni e prospetti è stato infatti possibile ricavare lo spessore e i profili dei muri crollati, i quali sono stati ricalcati nella maniera più fedele possibile. Il sistema murario utilizzato è stato inizialmente ricavato dalla Famiglia di sistema “Muro di base”, e in seguito duplicato per ottenere un nuovo Tipo di muro dallo spessore di 1 m. Per ciò che concerne il materiale, si è deciso di applicare una “pietra generica” a cui è stata assegnata una texture in modo da simulare l'aspetto reale della muratura.

Modifica assieme

Famiglia: Muro di base
 Tipo: Muro S.Benedetto 2
 Spessore totale: 1.0000
 Resistenza (R): 0.3448 (m²·K)/W
 Massa termica: 214.61 kJ/K

Altezza esempio:

Strati

LATO ESTERNO					
	Funzione	Materiale	Spessore	Ripiegature	Materiale strutturale
1	Contorno del nucleo	Strati sopra ripiegatura	0.0000		
2	Struttura [1]	Pietra_Palazzo Comunale	1.0000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Contorno del nucleo	Strati sotto ripiegatura	0.0000		
LATO INTERNO					

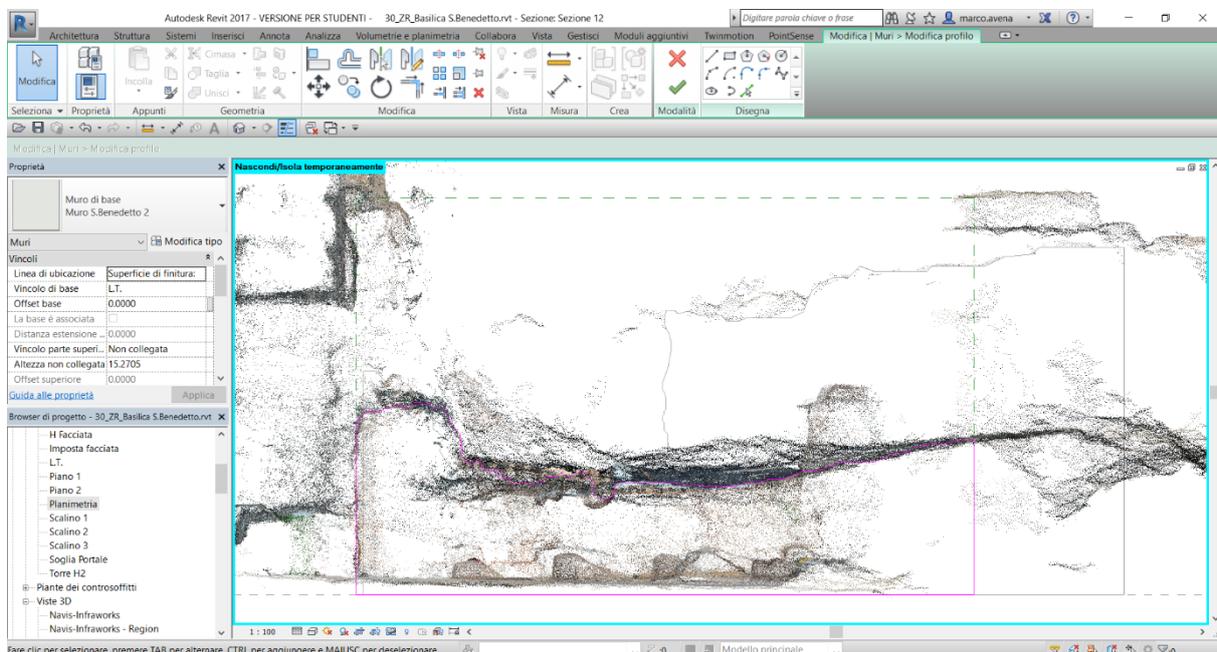


Figura 138: Vista di sezione della nuvola di punti che ha permesso la costruzione del muro crollato della navata principale della Basilica di S. Benedetto – Autodesk Revit 2017.

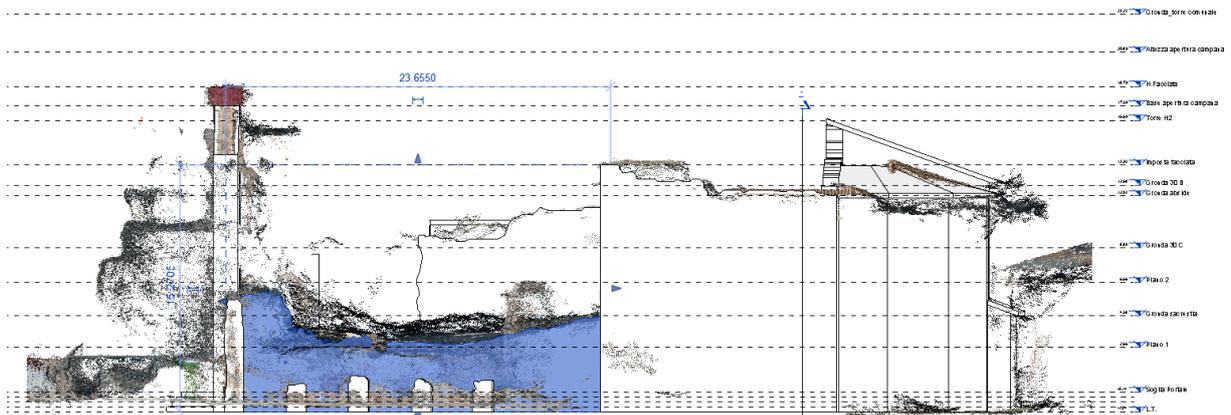


Figura 140: Sezione A-A' con in evidenza il muro crollato della navata principale della Basilica di S.Benedetto – Autodesk Revit 2017.



Figura 139: Vista assometrica della Basilica di S. Benedetto e sovrapposizione del modello BIM alla nuvola di punti – Autodesk Revit 2017.

8.3.6 Limiti del software Revit

I principali problemi riscontrati nella fase di modellazione in Autodesk Revit 2017 sono da attribuire in modo particolare al fatto che questo programma, come del resto tutti i software legati alla progettazione BIM, è stato pensato ed impostato per la progettazione ex novo. Per tale ragione la modellazione di singoli elementi o, come nel caso di questa tesi, di intere realtà urbane appartenenti al patrimonio costruito, risulta essere maggiormente difficoltosa e dispendiosa in termini di tempo.

A tal proposito, il primo problema riscontrato nella generazione dei modelli BIM, di cui si è già accennato nei precedenti paragrafi, è legato alla non planarietà del tessuto murario degli edifici, come ad esempio le torri della fortezza della Castellina. Il software non permette infatti la creazione di muri che non siano perfettamente verticali, cosa che invece accadrebbe nel caso di un normale progetto di nuova costruzione. Per ovviare a tale mancanza e cercare di creare un modello il più fedele possibile alla realtà, si è dovuto ricorrere all'utilizzo di Masse locali, un particolare tool che Revit mette a disposizione solitamente per la realizzazione di volumi concettuali. Esse sono state utilizzate come superfici di base per la riproduzione fedele dell'andamento delle murature, sulle quali solo in un secondo momento sono state sovrapposte delle apposite famiglie di muri. Questo procedimento non risulta essere molto intuitivo ed è molto dispendioso in termini di tempo; tuttavia permette di ottenere un risultato molto preciso e verosimile.

Un ulteriore problema rilevato è legato all'utilizzo delle nuvole di punti all'interno del programma. Esse sono facilmente importabili a patto che si lavori in una posizione vicino all'origine del punto base di progetto (PBP), per evitare di appesantire i calcoli che il programma deve compiere nel rilevare la loro posizione precisa nello spazio. Inoltre, una volta importate, le nuvole di punti risultano essere un oggetto compatto (blocco) con pochi comandi per la loro gestione; potranno essere solamente selezionate, sezionate, se necessario nascoste temporaneamente oppure spostate nello spazio di lavoro. Altro grande limite legato alle nuvole di punti è rappresentato dal fatto che esse non possono essere importate nell'*Editor delle Famiglie*: se ad esempio si volesse utilizzare una nuvola di punti per la realizzazione di un particolare della facciata di un edificio storico, andando a creare una nuova Famiglia per tale elemento, ciò non sarebbe possibile. Sempre secondo la stessa logica, qualora si dovesse creare una Famiglia locale (valida solo per il progetto corrente) da una nuvola di punti di riferimento, questa non potrà essere esportata o utilizzata in altri progetti.

Oltre a queste due criticità, ritenute le più significative e allo stesso tempo limitanti per quanto riguarda questo lavoro di tesi, sono state riscontrate altre problematiche di cui si fornisce ora un breve elenco:

- Angoli troppo acuti generano problemi di unione tra pareti adiacenti;
- Elementi non perfettamente adiacenti non generano delle superfici;
- Le famiglie importate non si interfacciano perfettamente con le Masse concettuali, come nel caso della mancata generazione di aperture;
- Gli oggetti creati a partire da una superficie (ad esempio i muri) non possono essere aggiornati singolarmente, ma solo modificando la massa concettuale che funge da host (nel caso si dovesse cancellare la massa concettuale, il muro generato a partire da essa non sarebbe più modificabile);
- Famiglie che generano piani orizzontali o inclinati (pavimenti e tetti) non riconoscono in automatico i muri da superfici.

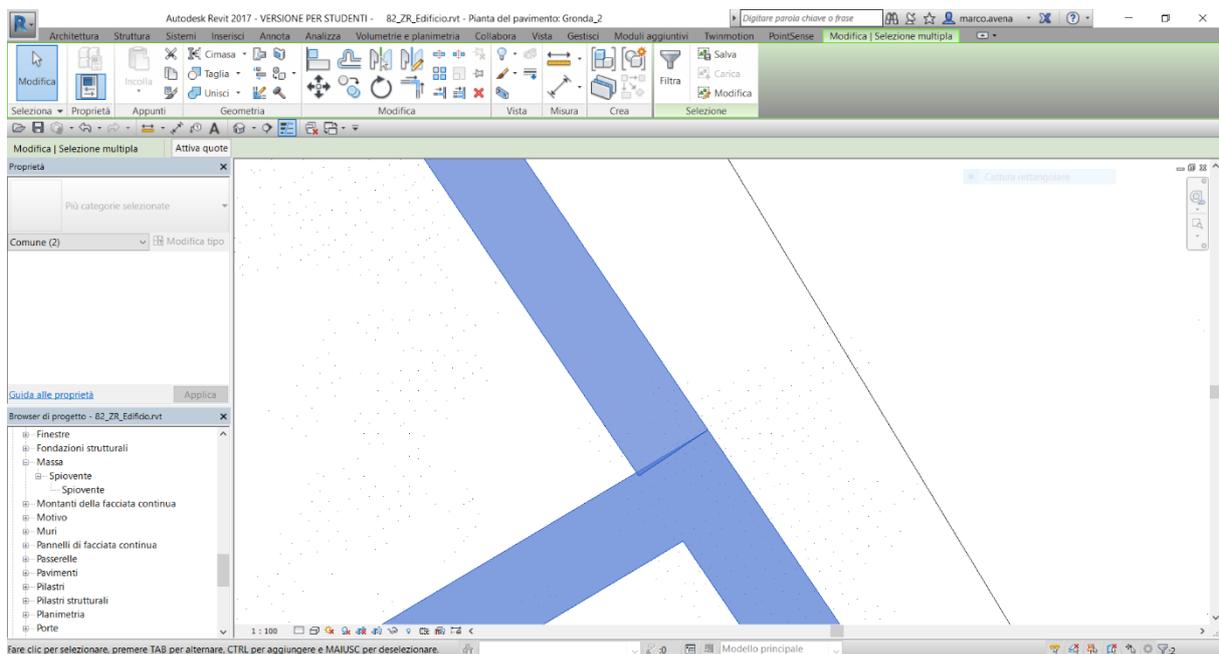


Figura 141: Problema di unione tra pareti che presentano assi differenti – Autodesk Revit 2017.

8.4 Autodesk Infracore: una piattaforma per la condivisione di dati

La seconda parte relativa alla generazione del modello UrbanBIM ha riguardato inizialmente la scelta del software che avrebbe garantito la gestione di diversi formati (GIS-BIM) in un'unica piattaforma. Il software *Autodesk® Infracore* rappresenta uno dei programmi di progettazione infrastrutturale di ultima generazione in grado di supportare i processi di *Building Information Modelling*, sistemi di *Geographic Information Systems* e processi di visualizzazione 3D della realtà. Tutte le operazioni che si svolgono all'interno del software vengono effettuate nel contesto dell'ambiente costruito e naturale, assicurando quindi un costante rapporto con dati territoriali.

Autodesk Infracore è una piattaforma completamente 3D che include al suo interno strumenti per la progettazione, la pianificazione e per la tematizzazione degli oggetti inseriti nel progetto. A tal proposito il software mette a disposizione due set di comandi differenti: un primo set di strumenti di progettazione per le strade, i ponti ed il drenaggio del terreno; un secondo set di strumenti di base per la generazione di semplici modelli (edifici volumetrici), per effettuare analisi, tematizzazioni e comunicare con visualizzazioni immersive. Uno degli elementi distintivi di questo programma è la possibilità di importare all'interno del software una quantità notevole di formati:

- 3D Model (.3DS, .DAE, .DXF, .FBX, .OBJ);
- Civil 3D (.DWG);
- AutoCAD DWG 3D and 2D objects (.DWG,.DXF);
- Autodesk IMX (.IMX);
- Autodesk Revit (.RVT,.RFA);
- CityGML Files (.CITYGML, .GML, .XML);
- DGN 3D Model (.DGN);
- IFC Files (.IFC);
- LandXML Files (.XML, .LANDXML);
- Point Cloud (.RCS, .RCP);
- Raster Files (Various);
- Spatial Data Format (.SDF);
- Shape Definition Files (.SHP);
- SketchUp Files (.SKP);
- SQLite Files (.SDX, .SQLITE, .DB).



Figura 142: Schema relativo all'utilizzo del software Infracworks come piattaforma in grado di ospitare diversi formati utili alla generazione dell'UrbanBIM di Norcia.

Per quanto riguarda la generazione del modello multiscala di Norcia, il software Infracworks è stato utilizzato come piattaforma in grado di ospitare il modello BIM dell'intera città e della porzione di territorio in cui essa è ubicata. In modo particolare il progetto generato in Infracworks si può dividere in cinque fasi principali, che in seguito verranno riprese ed approfondite singolarmente:

- Generazione dell'ambiente di lavoro (Model Builder) e importazione del terreno;
- Caricamento ortofoto generata dal volo *eBee*;
- Importazione dei modelli BIM degli edifici relativi alla ZR e della nuvola di punti;
- Tematizzazioni ed analisi.

8.4.1 Model Builder e modello del terreno

La prima operazione che è stata eseguita nel software Infracworks ha riguardato la creazione dell'ambiente di lavoro, ovvero il modello 3D del territorio in cui è situata la città di Norcia. Tale modello di base viene generato grazie ad uno specifico tool messo a disposizione dal programma chiamato *Model Builder*, il quale permette di scegliere l'area di interesse direttamente da *Bing Maps*. Una volta selezionata l'area oggetto di studio e verificato che si sia inserito il corretto sistema di coordinate geografiche (WGS84-33N), il programma genera automaticamente un modello digitale che include: il DTM dell'area oggetto di studio, un ortofoto satellitare sovrapposta al modello del terreno ed altre informazioni del territorio divise per layers (edifici volumetrici, strade, fiumi, laghi, mari ecc.).

Se per quanto riguarda le immagini satellitari che ricoprono il modello del terreno il software si appoggia al servizio di *Microsoft® Bing Maps*, per ciò che concerne gli edifici e le strade le informazioni sono ricavate direttamente dai set di dati *OpenStreetMaps*. Mentre un discorso a parte va fatto per i dati relativi alle quote altimetriche del terreno. Infracworks divide il pianeta in tre diversi settori per la generazione del terreno: per i territori degli Stati Uniti utilizza dati DEM USGS di 10m del *National Elevation Dataset (NED)*, per quelli compresi tra -60° e $+60^{\circ}$ di Latitudine utilizza dati DEM SRTM GL1 di 30m, mentre per quelli compresi tra $+60^{\circ}$ e $+83^{\circ}$ di Latitudine impiega dati DEM ASTER GDEM v2 di 30m. Essendo Norcia compresa tra -60° e $+60^{\circ}$ il terreno è stato generato con dati SRTM GL1¹⁵⁷.

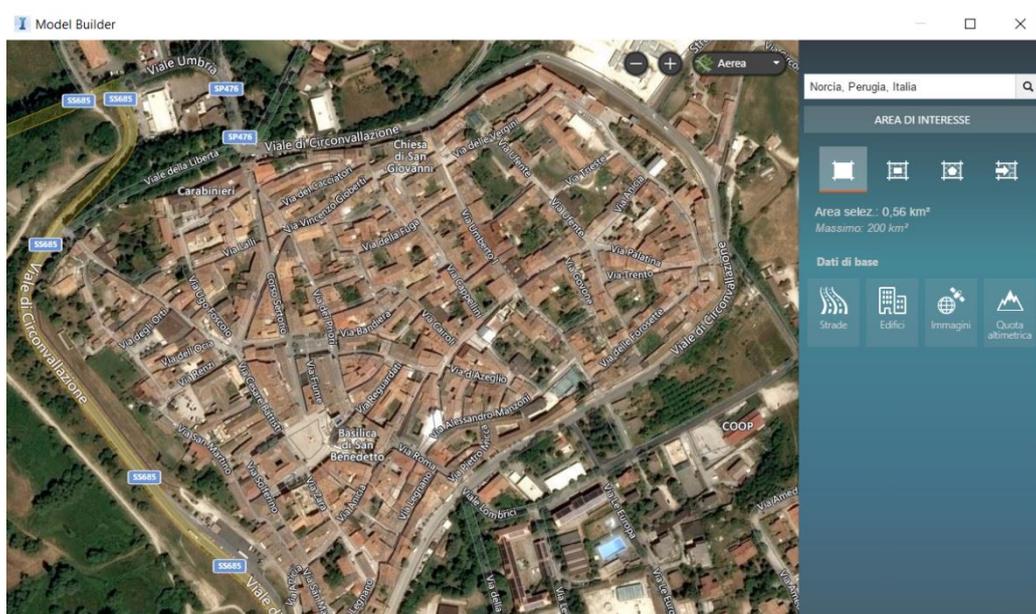


Figura 143: Generazione dell'ambiente di lavoro relativo al territorio di Norcia tramite la funzionalità Model Builder – Autodesk Infracworks 2018.

¹⁵⁷ Bascones Recio, R., *The Secret to Landscape Modeling with Infracworks*, Autodesk Instructional Demo, 2018.

Questa funzionalità consente quindi di generare in pochi e semplici passaggi un modello 3D del territorio a partire da dataset presenti in cloud, rendendo tutto questo possibile soltanto con una connessione ad Internet. Nonostante questo modello rappresentasse una buona base di partenza per la generazione dell'UrbanBIM di Norcia, si è deciso di integrare il modello del terreno generato in Revit, al fine di generare un'orografia del territorio più accurata. Tale modello del terreno è stato generato infatti a partire da curve di livello estratte direttamente dalla nuvola di punti generata dal volo *eBee*, il quale ha acquisito dati ed informazioni con un dettaglio e una precisione molto più elevati rispetto alle acquisizioni satellitari su cui si è basato Infracworks per la generazione dell'orografia.

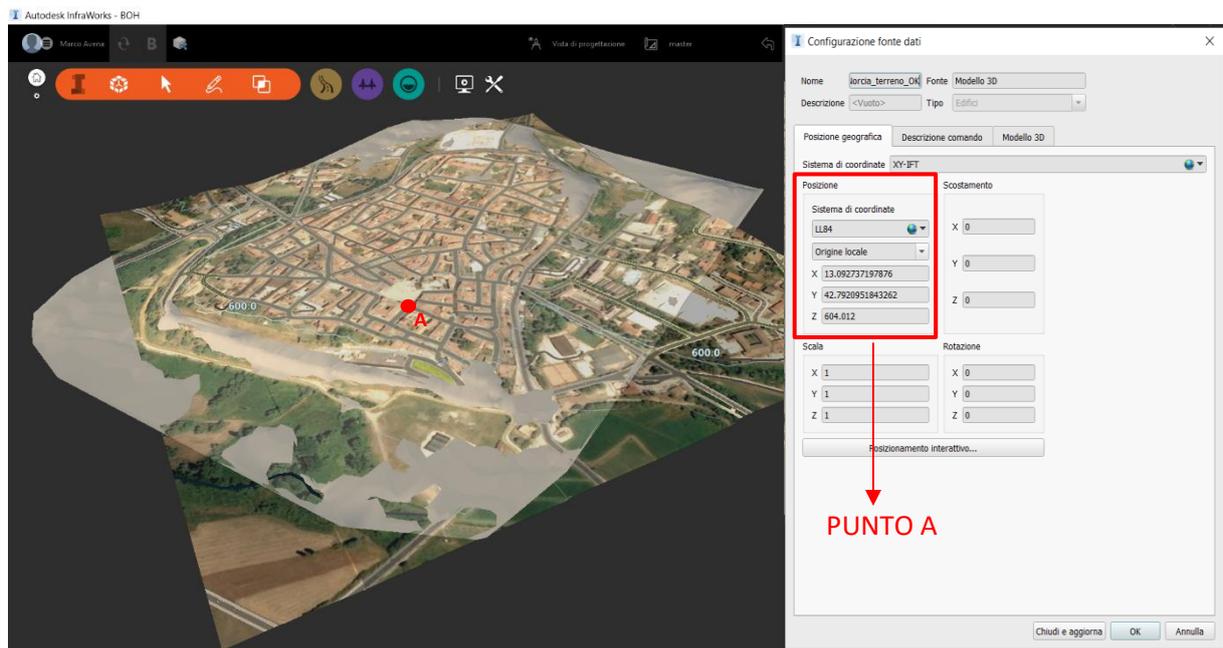


Figura 144: Sovrapposizione tra il modello del terreno generato con Infracworks e quello generato con Revit, ed individuazione del PBP – Autodesk Infracworks 2018.

Una volta che si avvia il comando di importazione di un file *.rvt* nel workspace di Infracworks, il software riconosce automaticamente le coordinate precedentemente impostate in Revit per tale modello (il PBP coincide infatti con le coordinate di Longitudine e Latitudine derivate dal punto A preso come riferimento in Revit).

Tuttavia uno dei più grandi limiti di Infracworks è rappresentato dall'impossibilità di modificare un qualsiasi file *.rvt* importato al suo interno. Il modello del terreno infatti, essendo stato generato in Revit, una volta inserito all'interno del workspace viene considerato dal programma come un blocco, il quale può soltanto essere spostato e ricollocato ma non editato. Trattandosi di un blocco il software non ha neanche permesso di applicare un'immagine raster (ortofoto) al modello del terreno.

A seguito di queste problematiche è stato deciso di testare una soluzione alternativa per ovviare a tali mancanze da parte del software. Si è pertanto dovuto ricorrere a generare il terreno in ambiente GIS, sfruttando le potenzialità offerte dal software *QGIS 2.18.19*. Dopo aver importato il file .dxf delle curve di livello in QGIS sono state estratte le coordinate Z per ogni punto presente sulle isoipse per permettere al programma di riconoscere l'altimetria dell'area. Dopodiché tramite il comando "Interpolazione" è stato possibile ricavare il modello digitale del terreno, esportato successivamente in formato .tiff.

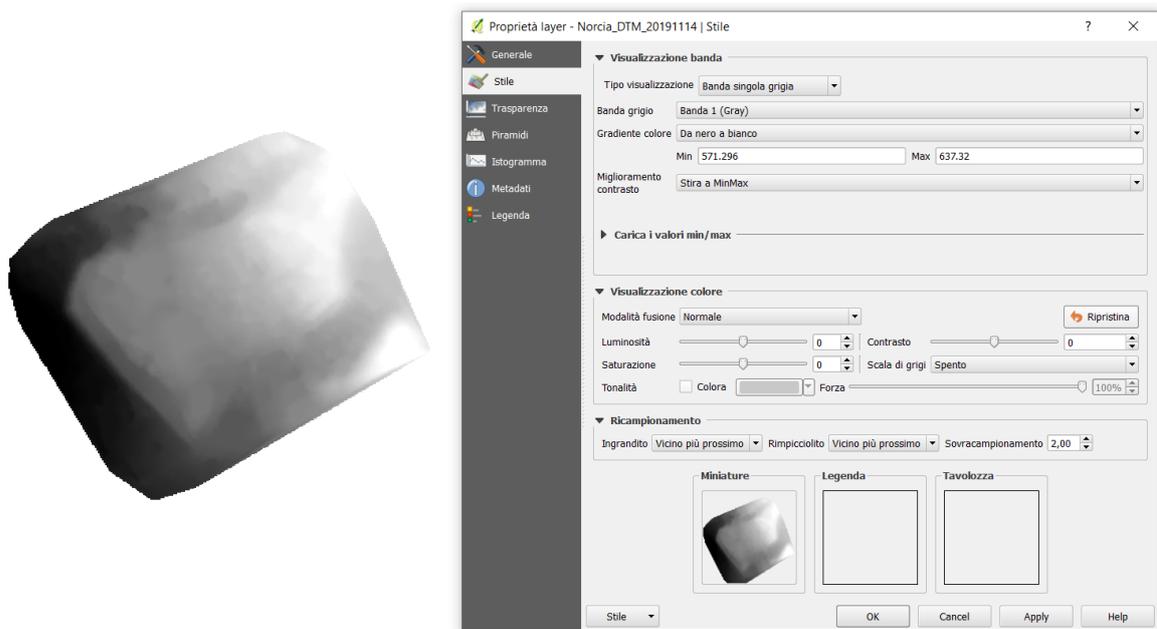


Figura 145: Realizzazione del modello digitale del terreno all'interno del software QGIS – QGIS 2.18.19.

Il modello del terreno appena creato è stato quindi importato in Infracore, il quale ha riconosciuto il suo sistema di riferimento e ha provveduto a collocarlo correttamente nello spazio. A questo punto è stato possibile integrare anche l'ortofoto generata dal drone *eBee* (sempre in formato .tiff) all'intero modello del terreno, procedimento che ha permesso di notare come l'alta risoluzione della camera del UAV abbia prodotto un'ortofoto nettamente migliore in termini di resa grafica rispetto a quella generata dalle immagini satellitari. Per tali ragioni si è deciso di continuare a lavorare solamente sul modello del terreno appena importato, eliminando pertanto quello generato inizialmente da Infracore e la relativa immagine satellitare tratta da Bing Maps.



Figura 146: Ortofoto generata a partire dai dati forniti da Bing Maps e sovrapposizione al terreno – Autodesk Infracworks 2018.



Figura 147: Ortofoto generata a partire dai dati acquisiti dalla fotogrammetria aerea (volo eBee) e sovrapposizione al terreno – Autodesk Infracworks 2018.

Tra le varie funzionalità del tool Model Builder vi è anche la possibilità di generare diversi layers corrispondenti a vari elementi presenti su di un territorio, come ad esempio l'edificato. Grazie ad un algoritmo interno e sulla base dei dati ricavati dal servizio *Microsoft® Bing Maps*, Infracworks genera automaticamente, insieme all'orografia del territorio selezionato, dei volumi nella posizione in cui sono ubicati gli edifici nella realtà. In base al livello di dettaglio impostato per la resa grafica all'interno delle impostazioni di grafica 3D del software, il risultato che si ottiene sarà più o meno preciso.

Nel presente caso studio, dopo aver settato il livello di resa grafica su "medio-alto", il risultato ottenuto non è stato ritenuto nel complesso soddisfacente. Se da un lato la posizione in cui sono stati collocati i volumi è stata valutata esatta, grazie all'aiuto fornito dall'ortofoto in tal senso, dall'altro il modo in cui il programma semplifica le geometrie e la loro rappresentazione è apparso eccessivo. Infracworks infatti, non essendo un software pensato per la progettazione architettonica, tende a semplificare gli oggetti nella scena, tanto che, nel caso degli edifici, alle superfici delle estrusioni applica di default delle textures di facciate generiche che simulano lo stile architettonico dell'edificio ed il materiale da cui è composto. Il risultato finale è un modello 3D che esula completamente dalla realtà.

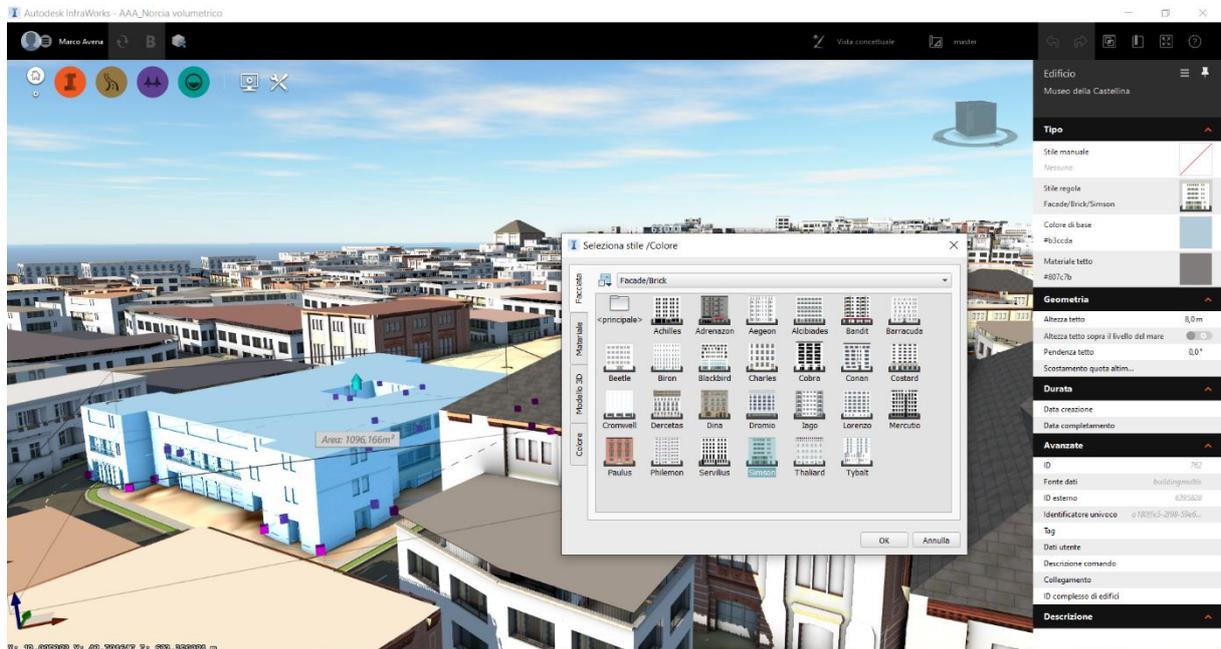


Figura 148: Esempio di come il software Infracworks semplifica la rappresentazione digitale degli edifici – Autodesk Infracworks 2018.

Per tale ragione è stato stabilito di eliminare le textures applicate alle facciate degli edifici, le quali sono state sostituite da colori in scala di grigio, utili per una corretta rappresentazione di un modello volumetrico. L'insieme di questi modelli è stato quindi utilizzato come base per rappresentare tutta quella parte di città che non è stata modellata in ambiente BIM, utilizzando un LOD 1 (*Level of Development*) per individuare l'ingombro degli edifici. A tal proposito si è proceduto quindi ad eliminare i fabbricati coincidenti con quelli ubicati nella ZR, i quali sono stati in seguito sostituiti con quelli realizzati in Revit.



Figura 149: Vista assonometrica del modello volumetrico generato con Infracworks ed assegnazione di textures di default alle superfici degli edifici – Autodesk Infracworks 2018.



Figura 150: Vista assonometrica del modello volumetrico generato con Infracworks e successiva eliminazione degli edifici ubicati nella ZR – Autodesk Infracworks 2018.

8.4.2 Importazione modelli BIM della ZR e nuvola di punti

Una delle problematiche ancora irrisolte riguarda, come si è già detto in precedenza nel capitolo 5, la corretta georeferenziazione di un modello (H)BIM in un ambiente GIS 3D. Tuttavia, la piattaforma di Infracore ha permesso di sperimentare una via alternativa per superare tale limitazione. Nel momento in cui si è proceduto ad importare i modelli BIM dei 90 edifici della ZR singolarmente, il software ha mostrato una schermata per il posizionamento di ognuno di loro analoga a quella mostrata in precedenza per l'importazione del modello del terreno (Fig.153).

Uno dei vantaggi di Infracore è legato al fatto che riconosce le coordinate attribuite ai files .rvt importati. Dato che ogni modello della ZR è stato generato in ambiente Revit mantenendo lo stesso PBP (coincidente con il punto A), è bastato procedere alla loro importazione per permettere al software di georeferirli correttamente. Tuttavia, nel seguire questa procedura, è stato inizialmente sottovalutato un aspetto, ovvero quello relativo al peso del modello in termini di memoria (GB). Infatti per la sola ZR, composta da 90 edifici, è stato calcolato un peso complessivo di 3GB, un dato che non avrebbe permesso ad Infracore di lavorare correttamente. Per ovviare a questa problematica è stato opportuno esportare i files di Revit in formato .fbx, il quale, oltre al fatto di ridurre di tre volte il peso di un singolo file, ha permesso di mantenere le informazioni legate ai materiali, alle textures e al livello di dettaglio con cui sono stati generati i modelli. I 90 edifici, dopo essere stati importati in Infracore con il nuovo

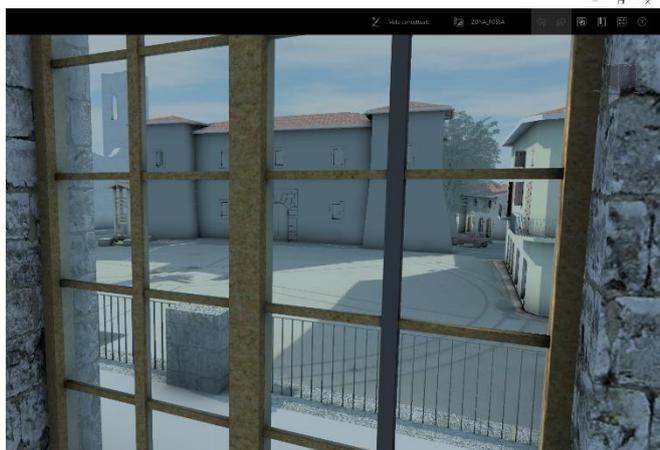


Figura 151: Vista dall'interno del Palazzo Comunale che permette di notare come il materiale "vetro", applicato in Revit, abbia mantenuto le stesse proprietà in Infracore – Autodesk Infracore 2018.

formato, hanno raggiunto il peso complessivo di 1GB e il software ha continuato a funzionare correttamente. L'unico inconveniente del formato .fbx è rappresentato dal fatto che durante la fase di importazione non mantiene l'informazione relativa alle coordinate geografiche impostate in ambiente BIM. Infatti una volta che si importa il singolo modello in Infracore, il software chiede in che punto inserire il modello e secondo quale sistema cartografico; per tutti gli edifici si è dovuto quindi impostare manualmente come sistema cartografico il WGS84-33N, mentre per le coordinate sono state inserite, come in precedenza, quelle relative al PBP.

Terminata tale procedura ognuno dei 90 modelli di edificio è stato correttamente posizionato nello spazio, senza il bisogno di apportare alcuna modifica manuale alle sue coordinate.

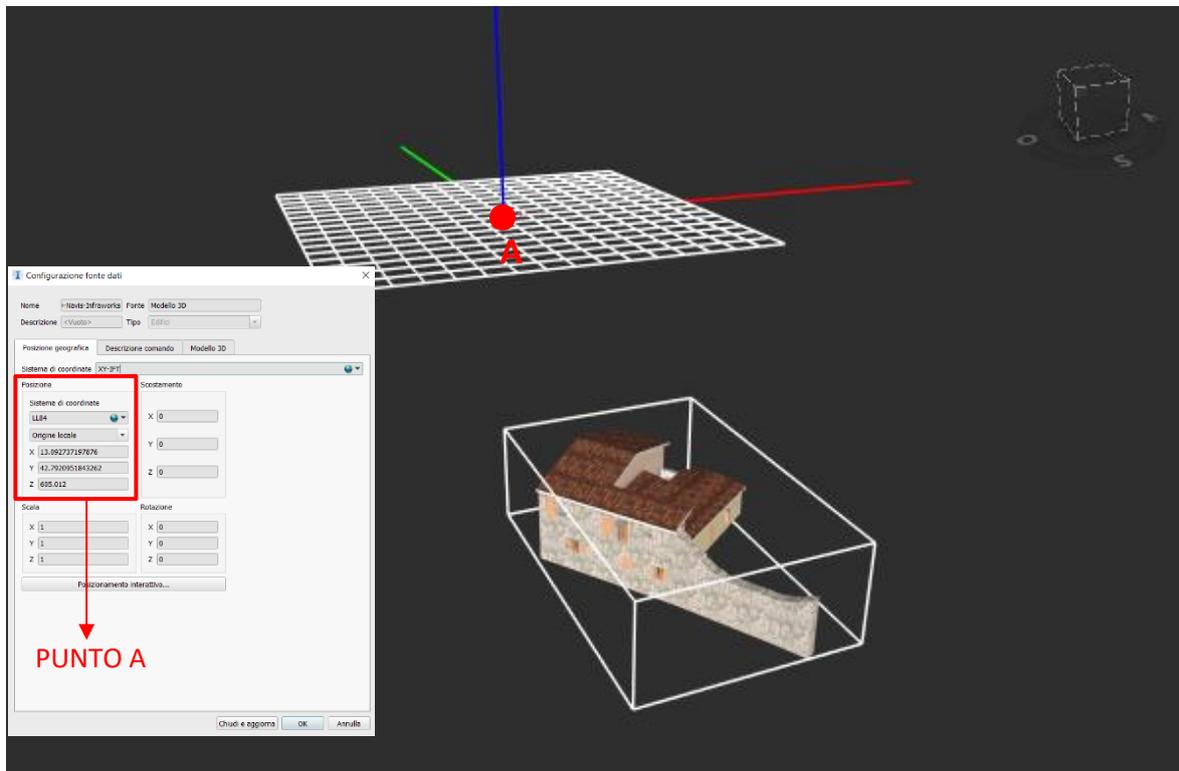


Figura 153: Configurazione dell'edificio 75 e sua georeferenziazione secondo le coordinate del PBP individuato sullo sfondo dall'incrocio dei tre assi cartesiani – Autodesk InfraWorks 2018.

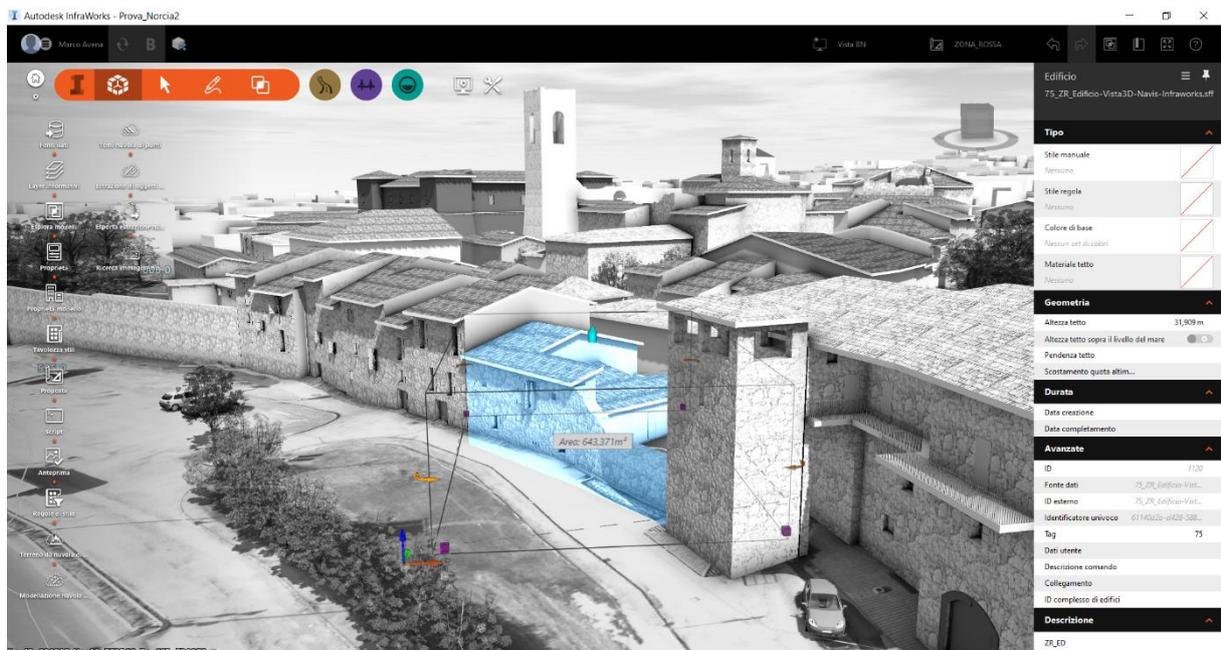


Figura 152: Edificio 75 correttamente georeferito all'interno dell'UrbanBIM di Norcia – Autodesk InfraWorks 2018.

Per quanto riguarda la nuvola di punti, il programma permette l'importazione diretta di files con estensione .res, .rcp. Avendo già precedentemente salvato la nuvola di punti di Norcia in formato .rcp (utilizzando il software Autodesk ReCap) per poterla importare correttamente all'interno di Revit, la sua importazione all'interno dell'ambiente di Infraworks è stata una procedura che non ha riscontrato particolari problemi. Una volta che alla nuvola di punti è stato assegnato il corretto sistema di riferimento (WGS84-33N) in automatico il software è riuscito a posizionarla correttamente nello spazio (Fig.154), facendola aderire perfettamente alle superfici dei modelli BIM precedentemente importati e al terreno.

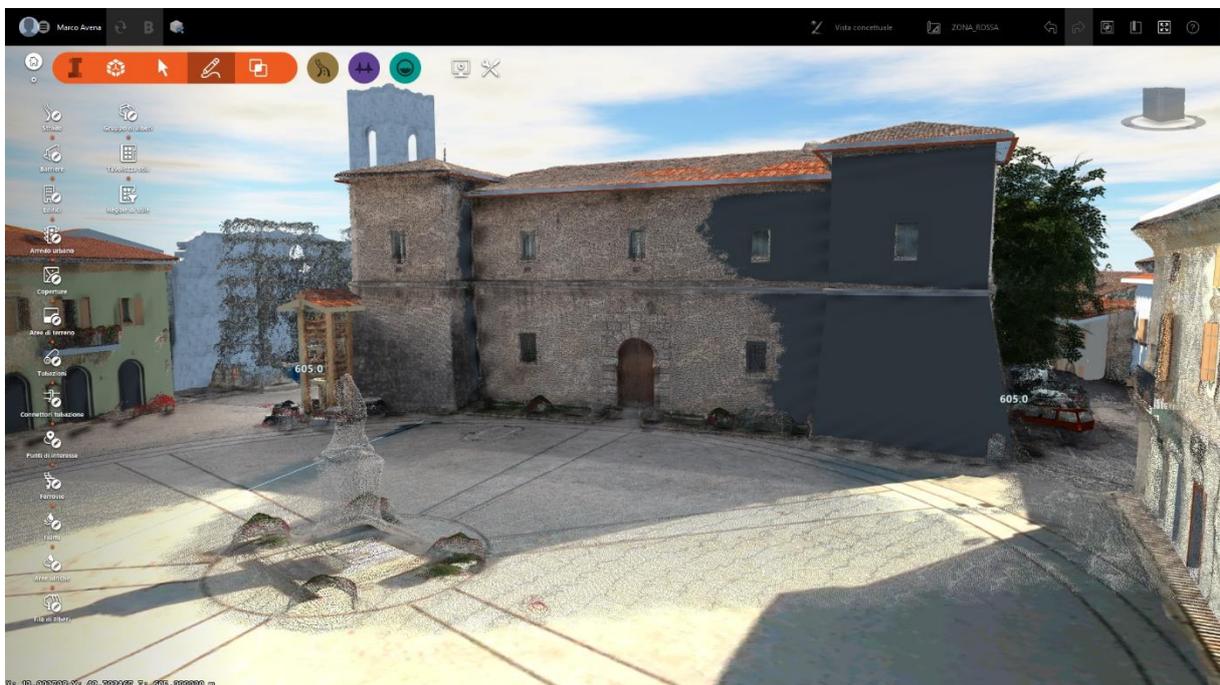


Figura 154: Vista della Piazza di S.Benedetto all'interno del modello UrbanBIM di Norcia che mostra la corretta georeferenziazione della nuvola di punti, dei modelli BIM e del terreno – Autodesk Infraworks 2018.

8.4.3 Limiti del software Infracworks

Le principali problematiche riscontrate nell'utilizzo del software Infracworks, in rapporto all'obiettivo di questa tesi di generare un modello urbano multiscala, possono essere circoscritte a quattro casi particolari:

- Modelli generati dal tool Model Builder poco affidabili;
- Impossibilità di *editing* e perdita di informazioni dei files importati;
- Impossibilità di esportare singolarmente i files importati;
- Tools limitati per l'*editing* delle nuvole di punti.

Si è affrontato il tema legato al Model Builder all'inizio del processo che ha portato alla generazione dell'UrbanBIM di Norcia all'interno del software Infracworks, soffermandosi in particolare sui limiti derivanti dal fatto che il programma non è stato ideato per essere una piattaforma di modellazione e tende a semplificare molto la realtà. Tuttavia la problematica maggiore derivante dall'uso del Model Builder riguarda invece la generazione dell'orografia del territorio. Il DTM generato dal software (a partire dai dati DEM SRTM GL1 di 30m) può considerarsi accettabile per analisi generiche a scala territoriale, mentre non appena la scala aumenta ci si accorge immediatamente dei limiti derivanti da questo modello. Tali limiti sono stati evidenziati in maniera particolare quando si è proceduto ad importare la nuvola di punti generata dal volo *Spark* della Piazza di S.Benedetto all'interno del programma. In particolare, come si evince chiaramente dalla Fig.155 a sinistra, nel caso del terreno creato da Model Builder, la nuvola di punti non si è posizionata correttamente sopra al DTM, ma è stata in parte coperta dal modello imperfetto del terreno. Questo fattore ha evidenziato come i dati relativi all'altimetria del terreno presi come riferimento dal software fossero errati, o perlomeno non precisi quanto quelli acquisiti dal rilievo aerofotogrammetrico. Quest'ultima affermazione è stata dimostrata dal fatto che la stessa nuvola di punti ha invece aderito perfettamente al DTM generato a partire dai dati acquisiti durante la campagna di rilievo 3D (Fig.155 a destra).

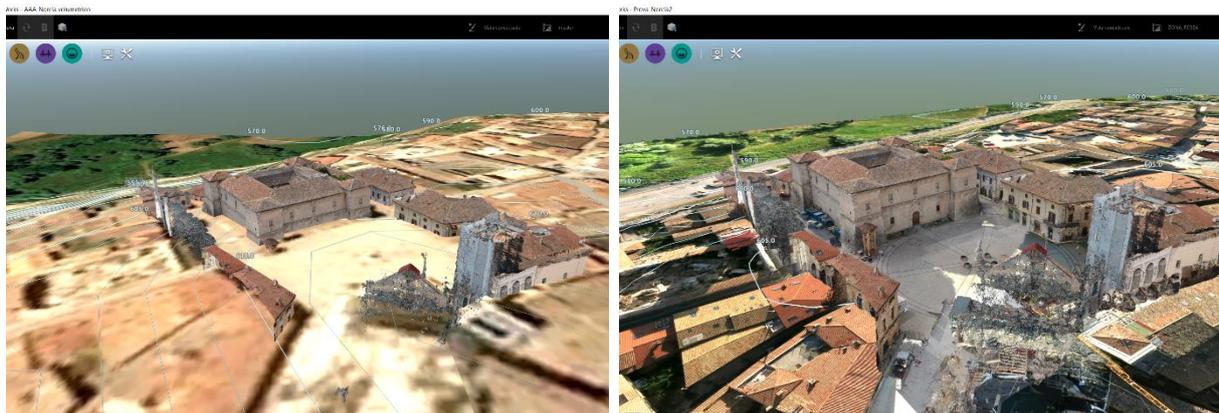


Figura 155: Nuvola di punti generata dal volo Spark importata in InfraWorks sul DTM creato dal Model Builder (sinistra) e stessa nuvola di punti importata sul DTM generato in QGIS sulla base dei dati acquisiti dalla campagna di rilievo 3D (destra) – Autodesk InfraWorks 2018.

Un altro fattore limitante del programma riguarda l'impossibilità di modificare i files importati da altri software. Nel caso specifico, tutti i modelli degli edifici importati da Revit vengono riconosciuti dal programma come singoli blocchi non editabili. Tutti gli elementi da cui ogni modello era composto (muri, tetti, porte, finestre ecc.) non sono stati quindi riconosciuti dal software come singoli oggetti, bensì come un'unica e compatta entità. Molti dei valori semantici e parametrici impostati precedentemente in ambiente BIM non sono stati importati in InfraWorks, comportando una notevole perdita di informazioni.

In maniera analoga, tale perdita di informazioni si è verificata anche quando si è tentato di importare un file IFC all'interno di InfraWorks. Questi particolari formati di files permettono infatti di mantenere al loro interno informazioni legate ad un elemento o un edificio modellato in ambiente BIM, per facilitare l'interoperabilità e l'interscambio dei dati di un modello (materiali, stratigrafie, fasi di costruzione, dati storici ecc.) tra i vari operatori. Gli unici dati che InfraWorks permette di importare sono: coordinate del modello, materiali e nome del file di partenza. Tutte le altre informazioni come le stratigrafie dei vari elementi costruttivi di un edificio e i parametri dei singoli elementi (geometrici e semantici) vengono perse, riducendo enormemente l'apporto informativo che un modello BIM potrebbe offrire per analisi urbane e territoriali.

Inoltre non è possibile esportare singolarmente un modello una volta che è stato importato nel programma. Nel caso ad esempio dell'UrbanBIM di Norcia, se si dovesse presentare la necessità di condividere l'intero modello tra operatori differenti per svolgere analisi e ricerche di vario tipo, esportando i dati di un singolo edificio, questa operazione non sarebbe possibile. I singoli modelli possono solamente essere aggiornati o ricaricati se l'operatore è in possesso del database originale, ma non salvati ed esportati. Esiste a tal proposito un tool che permette

l'esportazione dell'intero modello o di parte di esso (definendo interattivamente con una polilinea il contorno della parte del modello da esportare), ma tale procedura non sostituisce l'efficienza operativa che deriverebbe, in ottica UrbanBIM, dalla possibilità di esportare singolarmente i singoli files degli edifici.

In ultima analisi i tools messi a disposizione dal software per l'*editing* delle nuvole di punti sono limitati alla generazione del terreno e all'estrazione di singoli oggetti lineari (strade) o verticali (alberi, lampioni e in generale arredi urbani di medio-piccola dimensione), mentre nessuno strumento è in grado ad oggi di estrapolare superfici verticali come ad esempio le pareti degli edifici. Utilizzando lo strumento "Terreno da nuvola di punti" è possibile infatti estrarre da una nuvola di punti la superficie del terreno, intervenendo soltanto su alcuni settaggi legati al livello di dettaglio per l'elaborazione dei dati (dettagli del terreno, risoluzione raster terreno, riempimento dei fori, scelta dei punti da analizzare ecc.). Questa procedura ha permesso di ottenere buoni risultati per nuvole dalla dimensione contenuta, come ad esempio nel caso del terreno estratto dalla nuvola di punti della sola Piazza S.Benedetto (Fig.156 a sinistra). Tuttavia per nuvole di punti dalle dimensioni elevate, come nel caso della nuvola di punti completa di Norcia (Fig.156 a destra), il software non è stato in grado di gestirle e dopo diverse ore di attesa è andato in errore non generando alcun tipo di superficie. Tale problematica può dipendere da un sovraccarico della RAM, dovuto al lancio di questo comando, oppure da un limite interno al software, ma in ogni caso risulta ad oggi uno strumento incompleto, non ancora in grado di competere con i software specifici per l'elaborazione di nuvole di punti.

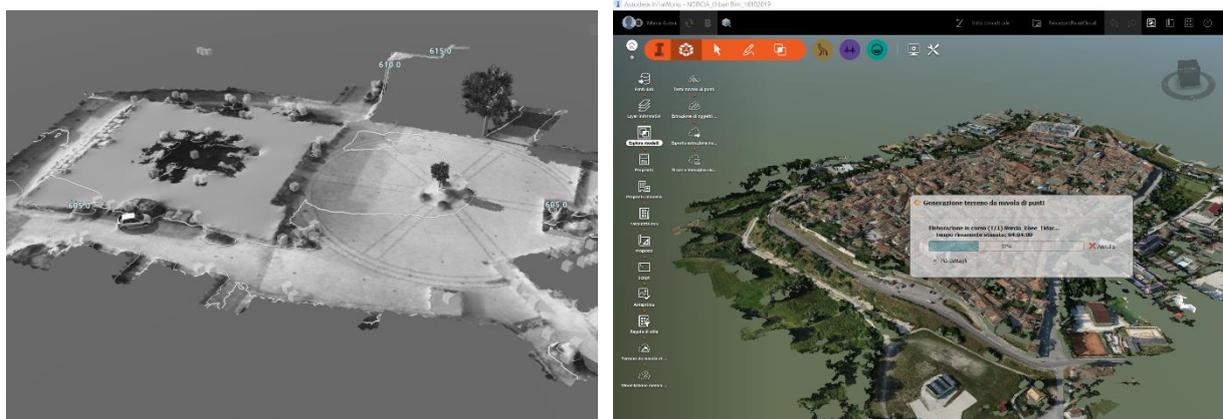


Figura 156: Utilizzo del comando "Terreno da nuvola di punti" applicato alla nuvola di punti della Piazza S.Benedetto (sinistra) e alla nuvola completa della città di Norcia (destra) – Autodesk InfraWorks 2018.



Figura 157: Vista Sud del modello UrbanBIM della città di Norcia – Autodesk Infraworks 2018.



9. ANALISI DEI DATI DEL RILEVAMENTO 3D E URBAN BIM A SUPPORTO DEL DISASTER MANAGEMENT

Le frequenti calamità naturali che investono il nostro pianeta (terremoti, alluvioni, frane ecc.) hanno portato il settore della Geomatica a sviluppare e ricercare costantemente nuovi sistemi e tecniche, da affiancare a quelle consolidate e tradizionali (telerilevamento), in grado di fornire valide soluzioni in situazioni di emergenza (ad esempio aerofotogrammetria da UAV). Si inseriscono in scenari di questo tipo le operazioni di *Emergency Mapping*, ovvero spedizioni condotte per documentare ed estrarre informazioni, nella maniera più rapida possibile (*Rapid Mapping*), in ambienti diversamente accessibili e complessi, come nel caso ad esempio di realtà urbane ed edifici colpiti da eventi sismici. Lo sfruttamento degli strumenti tecnologici innovativi dovrebbe fornire quindi un contributo notevole nella gestione di simili eventi, offrendo dati geospaziali dall'elevato livello di affidabilità in supporto alle operazioni di *Disaster Management*.

A tal proposito il lavoro di questa tesi, ed in modo particolare l'UrbanBIM di Norcia, si inserisce perfettamente in questo scenario come una piattaforma in grado di indagare a diverse scale un territorio, quello nursino, gravemente colpito dallo sciame sismico del 2016-2017, sfruttando i dati derivanti dalle operazioni di *Emergency Mapping* effettuate in situ.

9.1 Analisi multiscala e tematizzazione del modello

Per attestare le effettive potenzialità del modello UrbanBIM di Norcia sono state quindi effettuate analisi di diverso tipo sull'agglomerato urbano. In modo particolare, per supportare efficacemente le operazioni di *Disaster Management* sono state eseguite quattro differenti tipologie di analisi:

- Classificazione del danno edilizio mediante analisi dati UAV;
- Individuazione interventi di adeguamento post sisma;
- Esempio di documentazione di Beni Culturali;
- Esempio di possibile collocazione di SAE.

9.1.1 Classificazione del danno edilizio mediante analisi dati UAV

La prima analisi effettuata ha riguardato la valutazione del danno relativo al tessuto edilizio nurmino, focalizzando l'attenzione sempre sulla ZR, la zona più fragile della città. Negli ultimi anni, in modo particolare nelle operazioni di BDA (*Building Damage Assessment*), si sta assistendo all'utilizzo di nuove piattaforme (UAV) in grado di acquisire immagini ad alta risoluzione del territorio al fine di riprodurre validi dati 3D (con un livello di dettaglio più elevato rispetto ai metodi consolidati del telerilevamento) a supporto della mappatura di emergenza¹⁵⁸. In aree sismiche, insicure e spesso inagibili, l'utilizzo della fotogrammetria da UAV agevola le operazioni di rilievo e permette agli addetti ai lavori di operare in completa sicurezza, grazie alla possibilità di controllare da remoto il mezzo. Rispetto ad un rilievo terrestre inoltre la tecnologia UAV è in grado di restituire dati ed informazioni sull'eventuale stato di danneggiamento delle coperture. Nonostante ciò la fotogrammetria aerea necessita di essere integrata a rilievi terrestri per fornire un'analisi completa relativa al danno di un edificio. Tuttavia l'esempio di questo caso studio ha dimostrato come il solo utilizzo di questa tecnica possa fornire ottime risposte in tempi brevi, fattore fondamentale in situazioni di emergenza, dove la tempestività d'intervento è fondamentale.

Attualmente attraverso il Programma Copernicus EMS, come descritto nel capitolo 5, è possibile avere a disposizione mappature rapide di grandi porzioni di territorio colpite da calamità naturali, sulla base di immagini satellitari. Nonostante queste mappe siano in grado di descrivere in maniera generale scenari di emergenza, uno dei grandi limiti attribuibili a questo sistema è legato al fatto che in molti casi non risulta chiaro il livello di danno presente nell'area monitorata. Nel caso ad esempio di un evento sismico non si riesce solitamente a distinguere dalle sole immagini satellitari un edificio implosivo da uno integro: in molti casi infatti il cedimento delle murature provoca dei crolli verticali della struttura senza danni apparenti alle coperture, le quali continuano ad essere visibili dall'immagine satellitare. Tale rappresentazione potrebbe quindi provocare delle valutazioni errate del danno effettivamente presente in un'area. Le operazioni di volo condotte a Norcia, per mezzo del drone *eBee* e *Spark DJI*, hanno invece permesso di superare questo ostacolo e localizzare in maniera accurata il livello di danno in cui versavano gli edifici della ZR. In modo particolare dall'ortofoto ad alta risoluzione prodotta dall'*eBee* si sono potute ricavare le informazioni relative ai crolli degli edifici, ben visibili grazie all'alto livello di risoluzione spaziale che garantisce il drone in questione ($GSD = 1.5$

¹⁵⁸ Calantropio, et al., 2018, p. 121.

cm/px¹⁵⁹). Informazioni ancora più dettagliate sono state ricavate dall'unione delle nuvole di punti generate da entrambi i voli: le riprese nadirali da un lato e quelle inclinate a 45° dall'altro hanno infatti permesso di acquisire dati non solo relativi alle coperture, ma anche alle facciate di molti edifici, rendendo più semplice la fase di individuazione di danni locali.

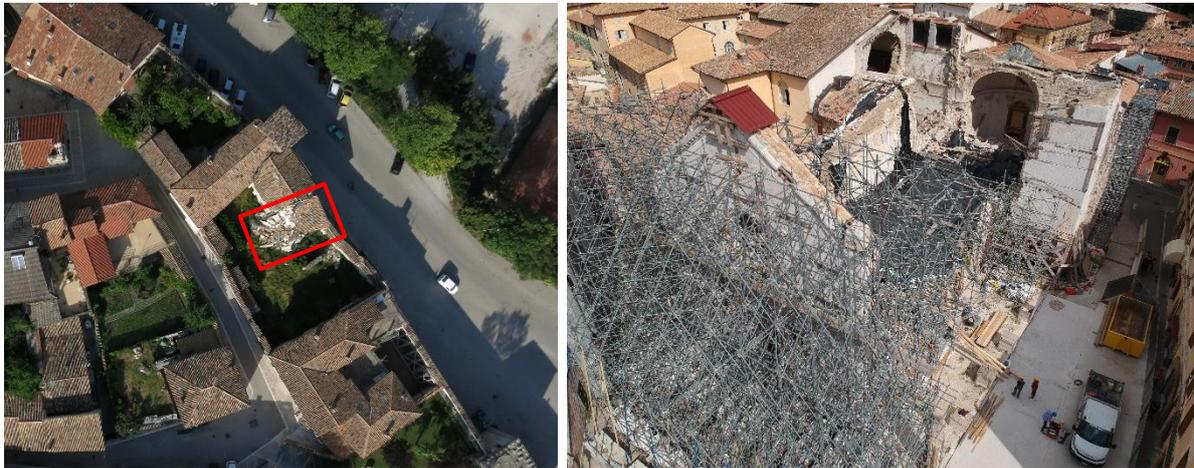


Figura 158: Esempio di fotogramma generato dal volo nadirale eBee (sinistra) e di fotogramma generato dal volo inclinato a 45° Spark DJI (destra).

Fonte: Team DIRECT Politecnico di Torino.

Per quanto riguarda la mappatura del livello di danno dei fabbricati della ZR è stato deciso di utilizzare la scala adottata da Copernicus EMS¹⁶⁰, nata per descrivere lo stato in cui verteva l'edificato dei centri urbani del centro Italia colpiti dagli eventi sismici del 2016-2017. La mappatura proposta da Copernicus prevede quattro tipologie differenti di danno:

- Distrutto (collasso di più del 50% degli elementi dell'edificio);
- Danneggiato (ribaltamenti della muratura o collasso di parti di essa);
- Moderatamente danneggiato (lesioni lievi);
- Verosimilmente danneggiato (le immagini non permettono di individuare il tipo di danno);
- Edifici integri (nessun danno riscontrato).

¹⁵⁹ Il GSD, *Ground Simple Distance*, rappresenta la distanza misurata a terra tra due pixel adiacenti dell'immagine, ovvero la dimensione del pixel sul campo. Una GSD di 1.5 cm/px significa che ogni pixel corrisponde a 1.5 cm, un dato che permette di ottenere un set di fotogrammi nettamente migliori di quelli generati dai satelliti (telerilevamento tradizionale).

¹⁶⁰ Fonte: <https://emergency.copernicus.eu/mapping>.

Dopo un'attenta analisi dei fotogrammi generati da UAV si è notato che il tessuto della ZR presenta solo occasionalmente danni visibili all'esterno, mentre analisi più approfondite all'interno dell'area hanno rilevato la presenza di gravi danni a numerosi altri edifici, fattore che ha portato alla decisione da parte degli organi competenti di rendere la zona *off limits* (Fig.159). In quest'area sono stati riscontrati in modo particolare tre casi in cui si sono verificati crolli di più del 50% del fabbricato, facilmente individuabili dall'ortofoto generata dal volo *eBee* che mostra chiaramente le macerie. Gli edifici in questione sono: la Basilica di S.Benedetto (edificio 30) ubicata nell'omonima piazza, la chiesa di S.Maria Argentea (edificio 11) adiacente alla fortezza della Castellina e un edificio in Via Legnano 52 costruito a ridosso delle mura cittadine (edificio 49). Per quanto riguarda le due chiese l'aggiunta dei dati relativi al volo *Spark* ha permesso di ottenere ulteriori informazioni relative alla muratura lesionata o



Figura 159: Ortofoto generata a partire dal volo *eBee* della ZR di Norcia con numerazione edifici ed individuazione del livello di danno in cui vertono gli stessi secondo la classificazione fornita da Copernicus EMS.

crollata del tutto, dati che hanno permesso di affinare la documentazione dello stato di fatto dei fabbricati.

Per ciò che concerne invece gli edifici “danneggiati” con ribaltamenti delle murature o collasso di parti di essa i casi riscontrati sono stati sei. I primi due casi hanno riguardato ribaltamenti di porzioni di mura cittadine poste a Sud della città individuati tramite ortofoto *eBee*, da cui si sono potuti estrapolare dei fotogrammi dove erano ben visibili alcune macerie ai piedi dell’edificio (edifici 45-75). Crolli parziali hanno interessato anche il campanile del Palazzo Comunale (edificio 29), individuati in modo particolare grazie alla nuvola di punti generata dal volo *Spark*. Per quanto riguarda infine il campanile della chiesa di S.Lorenzo (edificio 42), il muro di cinta dell’edificio di Via Anicia 121 (edificio 41) e l’edificio adiacente alla chiesa di S.Maria Argentea (edificio 10) il livello di danno è stato estrapolato grazie all’ortofoto. In modo particolare l’edificio 10 mostra assenza materica del manto di copertura, fattore che avrebbe dovuto portare alla scelta di inserire il fabbricato tra quelli “moderatamente danneggiati”; tuttavia dalla lettura della nuvola di punti generata dal volo *Spark* è stato possibile individuare anche un crollo parziale della muratura confinante con il campanile di S.Maria Argentea, fattore che portato ad assegnare all’edificio un livello di danno maggiore (“danneggiato”).

In ultima analisi dall’unione dell’ortofoto e delle nuvole di punti è stato possibile individuare, sul monumento della Castellina (edificio 01), un livello di danno moderato, coincidente con alcune assenze materiche riscontrate nel manto di copertura del chiostro. Discorso analogo è stato fatto per la Porta Ascolana in Via della Circonvallazione (edificio 56), che ha mostrato anch’essa danni lievi sul manto di copertura e in facciata.



Figura 160: Individuazione dei crolli subiti dalla chiesa di S.Maria Argentea da immagine nadirale del volo *eBee* (sinistra) e da nuvola di punti unita del volo *eBee* e *Spark* DJI (destra).

DANNEGGIATO



Figura 161: Individuazione dei danni subiti da una porzione delle mura sud della città di Norcia da immagine nadirale del volo eBee (sinistra) e da nuvola di punti unita del volo eBee e Spark DJI (destra).

LIEVEMENTE DANNEGGIATO



Figura 162: Individuazione delle assenze materiche presenti sulla copertura del chiostro interno della Castellina da immagine nadirale del volo Spark DJI (sinistra) e da nuvola di punti unita del volo eBee e Spark DJI (destra).

Questa simulazione permette di ottenere degli ottimi risultati di mappatura dei danni del tessuto edilizio soltanto utilizzando dati da piattaforme UAV. Tuttavia le operazioni di sorvolo della ZR sono state effettuate a posteriori rispetto alle ispezioni che hanno permesso di classificare il danno da parte degli organi competenti, avvenute nei mesi immediatamente post sisma. Se i dati dei voli fossero stati disponibili subito dopo il tragico evento avrebbero permesso non solo di mappare il danno nella maniera sopra descritta, ma avrebbero giocato un ruolo fondamentale per le operazioni di pianificazione e gestione dell'emergenza. Dall'ortofoto e dai singoli

fotogrammi è infatti possibile estrapolare numerose informazioni precise e dettagliate sullo stato in cui verte l'area, in modo da facilitare l'organizzazione delle suddette operazioni speditive in situ. Ovviamente i dati aerei non possono considerarsi esaustivi per il monitoraggio di ogni aspetto di un'area così fragile, e necessitano quindi di essere integrati con altre analisi e rilievi. Tuttavia attraverso un processo di questo tipo l'operatore non si espone mai in prima persona in un'area a rischio, ma utilizza uno strumento (drone) che lo sostituisce nelle operazioni di monitoraggio, garantendo anche la sicurezza per operazioni future.

Una volta che sono stati individuati i vari livelli di danno degli edifici si è provveduto a trasferire queste informazioni al modello UrbanBIM. Il software Infracore mette a disposizione a tal proposito alcuni strumenti in grado di interrogare i vari modelli presenti nell'ambiente di lavoro. Se da un lato i modelli BIM importati non hanno mantenuto molti dei dati inseriti in ambiente Revit, dall'altro è possibile aggiungere direttamente in Infracore informazioni aggiuntive, chiamate *tooltips*. Queste informazioni possono essere di diversa natura (numerica, semantica) oppure associati ad immagini, documenti o altre risorse esterne. Per documentare al meglio i danni della ZR si è proceduto inizialmente ad individuare (attraverso un'interrogazione del modello) sia gli edifici dell'intera ZR (Fig.163), sia quelli i cui danni sono stati ricavati mediante i fotogrammi da drone (Fig.164). In seguito sono state eseguite altre analisi su questi ultimi edifici grazie all'inserimento di appositi *tooltips*: sono perciò stati attribuiti inizialmente tre valori, uno per ogni livello di danno precedentemente individuato dai fotogrammi da UAV, e successivamente sono stati attribuiti al parametro "descrizione". Gli edifici a cui non è stato inserito un valore "descrizione" identificano fabbricati della ZR senza alcun danno visibile da drone.

Tabella 11: Livello di danno individuato da UAV e attribuito in Infracore agli edifici della ZR.

LIVELLO DI DANNO	TOOLTIPS INFRAWORKS
Distrutto	ZR_Destroyed
Danneggiato	ZR_Damaged
Lievemente danneggiato	ZR_Moderately Damaged

Il procedimento di inserire dei nuovi parametri descrittivi per ogni modello da un lato ha permesso al software di identificare ogni edificio all'interno dello spazio, e dall'altro ha reso possibile tematizzare l'UrbanBIM. Attraverso la creazione di apposite espressioni è stato infatti possibile analizzare l'intera ZR filtrando i dati relativi al livello di danno degli edifici, creando delle mappature del danno a scala urbana. In questo modo si possono eseguire delle rapide

analisi a livello urbano e territoriale, come ad esempio quantificare ed individuare i fabbricati che hanno subito crolli rispetto a quelli danneggiati in maniera più o meno grave.

Zona Rossa █

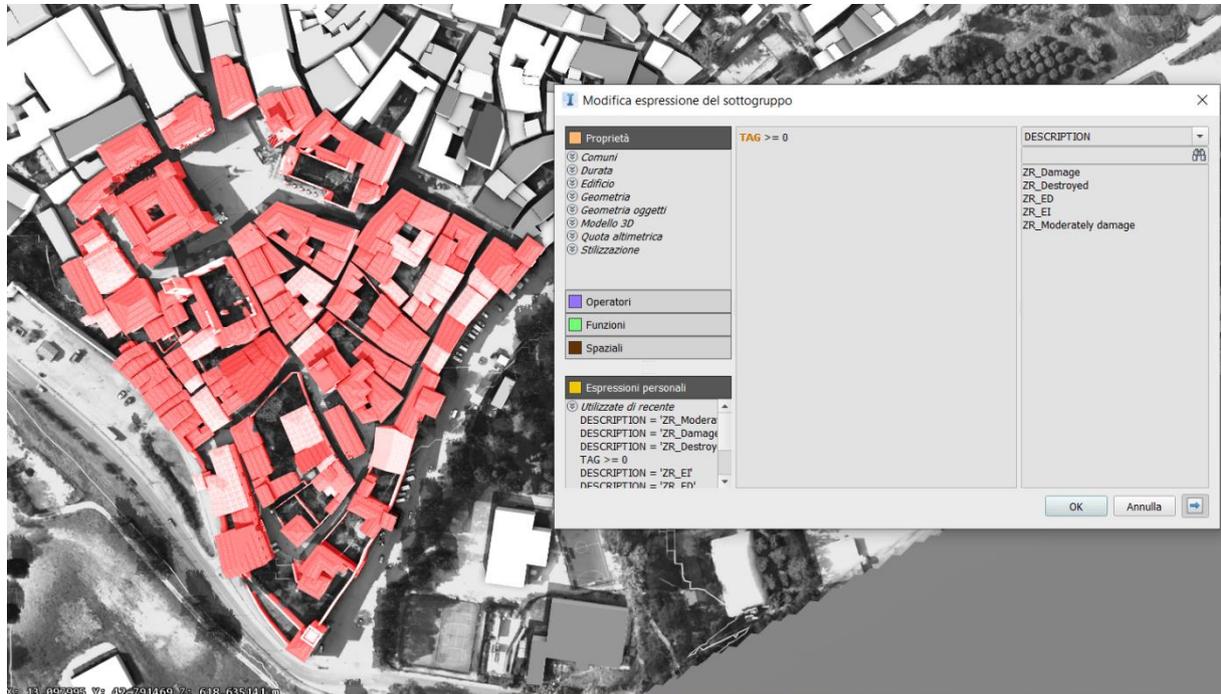


Figura 163: Interrogazione del modello UrbanBIM di Norcia che individua la ZR e l’espressione utilizzata per raggiungere tale scopo – Autodesk Infraworks 2018.

Edifici Zona Rossa con danni visibili da UAV █

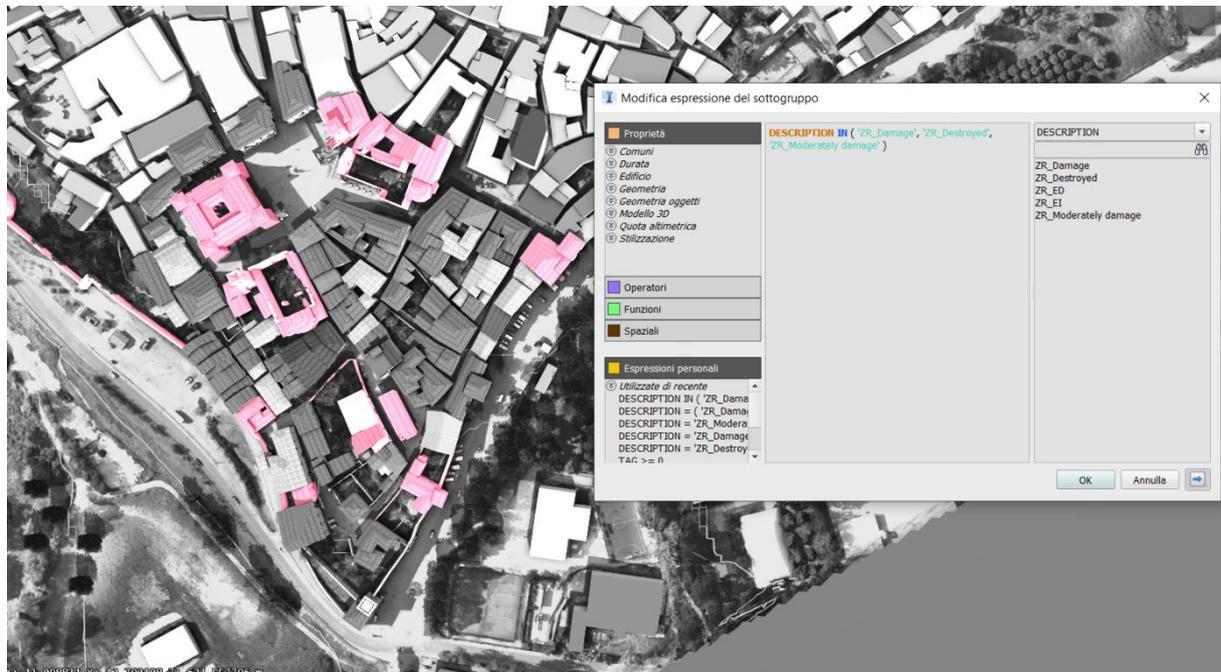


Figura 164: Interrogazione del modello UrbanBIM di Norcia che individua tutti gli edifici della ZR che hanno subito dei danni visibili da UAV e l’espressione utilizzata per raggiungere tale scopo – Autodesk Infraworks 2018.

EDIFICIO 42
Chiesa di San Lorenzo
DANNEGGIATO

EDIFICIO 49
Via Legnano 54-56-58
DISTRUTTO

EDIFICIO 45
Via Legnano 47
DANNEGGIATO

EDIFICIO 75
Via Anicia 139
DANNEGGIATO

EDIFICIO 41
Via Anicia 121
DANNEGGIATO

EDIF
Piazz
DAN

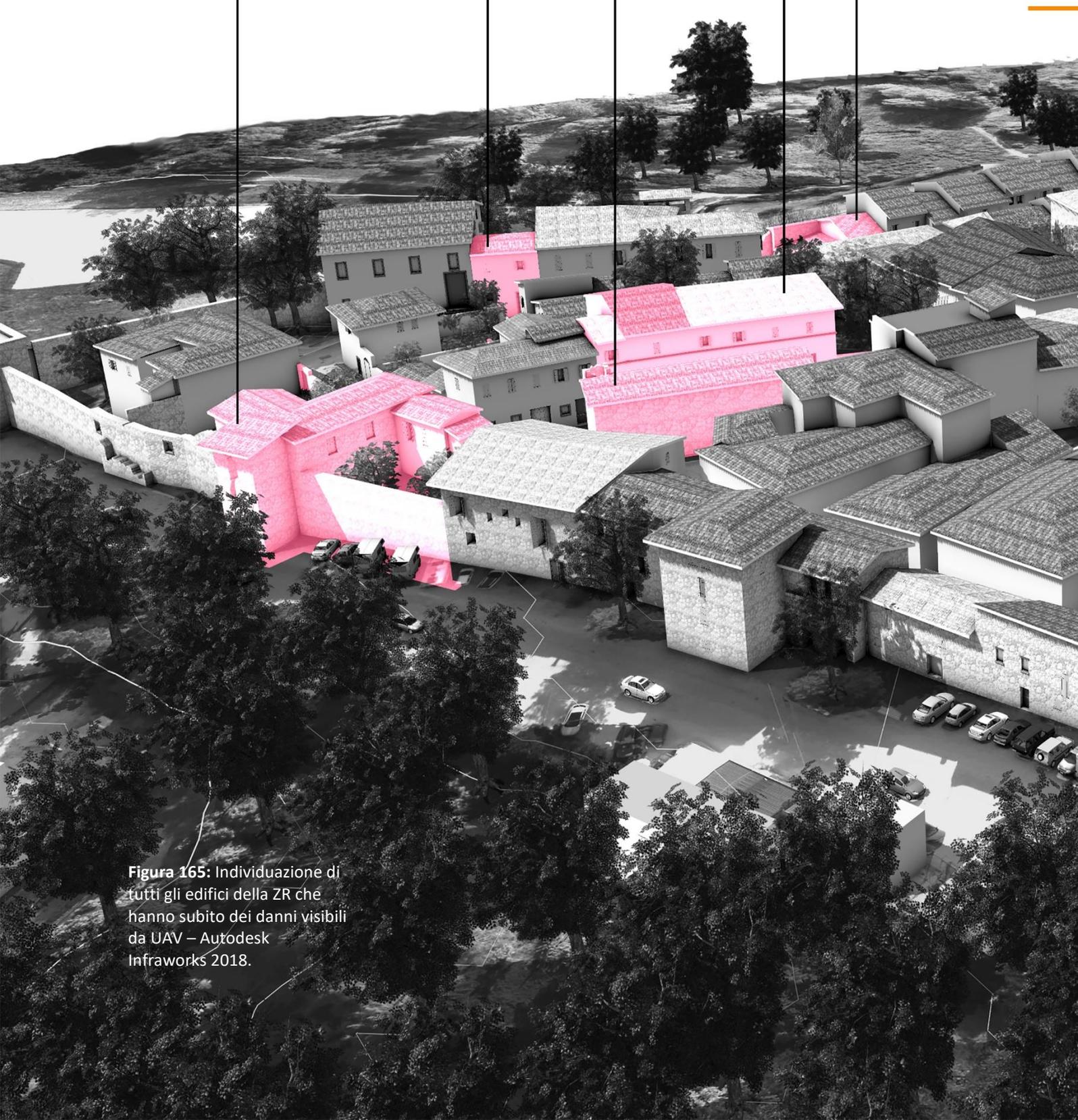


Figura 165: Individuazione di tutti gli edifici della ZR che hanno subito dei danni visibili da UAV – Autodesk InfraWorks 2018.

EDIFICIO 01
Fortezza della Castellina
LIEVEMENTE DANNEGGIATO

EDIFICIO 30
Basilica S. Benedetto
DISTRUTTO

EDIFICIO 11
Chiesa di S. Maria Argentea
DISTRUTTO

EDIFICIO 56
Porta Ascolana
LIEVEMENTE DANNEGGIATO

EDIFICIO 29
Palazzo Comunale
DANNEGGIATO

EDIFICIO 10
Piazza del Duomo
DANNEGGIATO

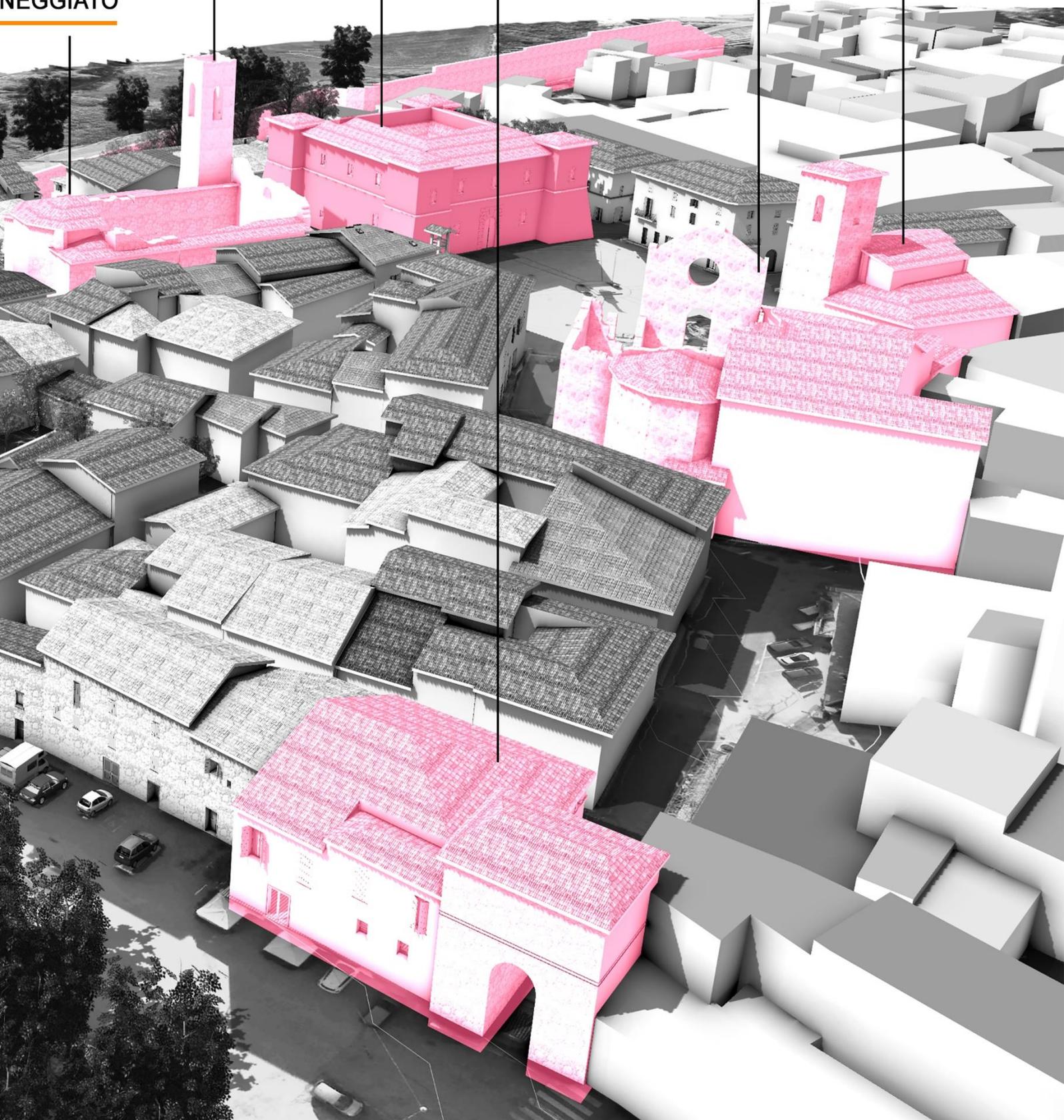




Figura 166: Individuazione degli edifici “distrutti” all’interno del modello UrbanBIM di Norcia (sinistra) e relativo zoom sulla chiesa di S.Maria Argentea (destra) – Autodesk Infracore 2018.



Figura 167: Individuazione degli edifici “danneggiati” all’interno del modello UrbanBIM di Norcia (sinistra) e relativo zoom sugli edifici adiacenti alle mura (destra) – Autodesk Infracore 2018.

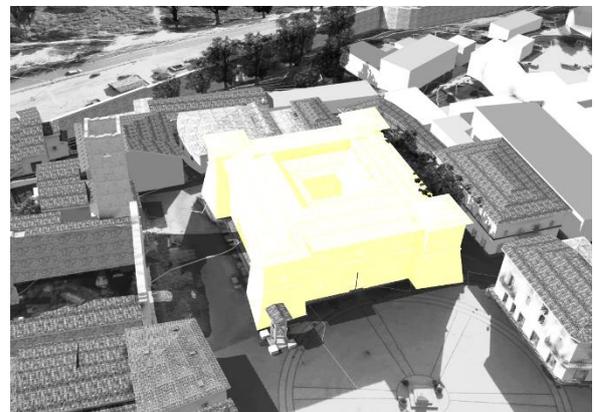


Figura 168: Individuazione degli edifici “lievemente danneggiati” all’interno del modello UrbanBIM di Norcia (sinistra) e relativo zoom sulla fortezza della Castellina (destra) – Autodesk Infracore 2018.

9.1.2 Individuazione di interventi di adeguamento post sisma

Tra le varie possibilità offerte dal software Infracworks vi è la possibilità di creare scenari differenti all'interno della scena. Ogni nuovo progetto inizia con un determinato scenario di default denominato "principale", che di solito coincide con la situazione iniziale di un progetto, ovvero lo stato di fatto. Nel momento in cui si presenta la necessità di esplorare nuove alternative (progettuali, di pianificazione ecc.) all'interno del modello principale, Infracworks permette di creare proposte per diverse soluzioni progettuali. Attraverso questo strumento il programma permette di gestire in un'unica piattaforma diversi scenari, utili per pianificare attività di vario genere a scala urbana/territoriale.

A tal proposito nel modello UrbanBIM di Norcia è stata creato inizialmente uno scenario denominato ZR, in cui sono stati importati tutti gli edifici modellati in Revit. Successivamente sono stati generati altri due scenari, uno chiamato "Opere_Adeguamento_sismico" e l'altro "SAE" (quest'ultimo verrà approfondito in seguito). Per quanto riguarda lo scenario relativo all'adeguamento sismico, è stato appositamente creato per individuare gli interventi antisismici effettuati sugli edifici della ZR a rischio di crollo. Nella sola città di Norcia infatti, in seguito ai terremoti del 2016-2017, sono state presentate 27 domande di intervento immediato per la messa in sicurezza di altrettanti edifici ad evidente rischio di crollo, tanto che l'allora Presidente della Regione – Vice Commissario, ha adottato, con decreto 28 Settembre 2017, n.12 un primo programma di interventi di ristrutturazione e messa in sicurezza per 56 alloggi individuati nel comune nursino. A tal proposito sono state prima modellate in ambiente BIM le strutture relative all'intervento antisismico e successivamente sono state inserite all'interno dello scenario "Opere_Adeguamento_sismico". In questo modo è stato possibile assegnare le modellazioni pre e post sisma a due scenari differenti all'interno dello stesso modello UrbanBIM. L'individuazione di queste opere all'interno di una piattaforma condivisa come Infracworks potrebbe agevolare eventuali pianificazioni future di interventi analoghi.

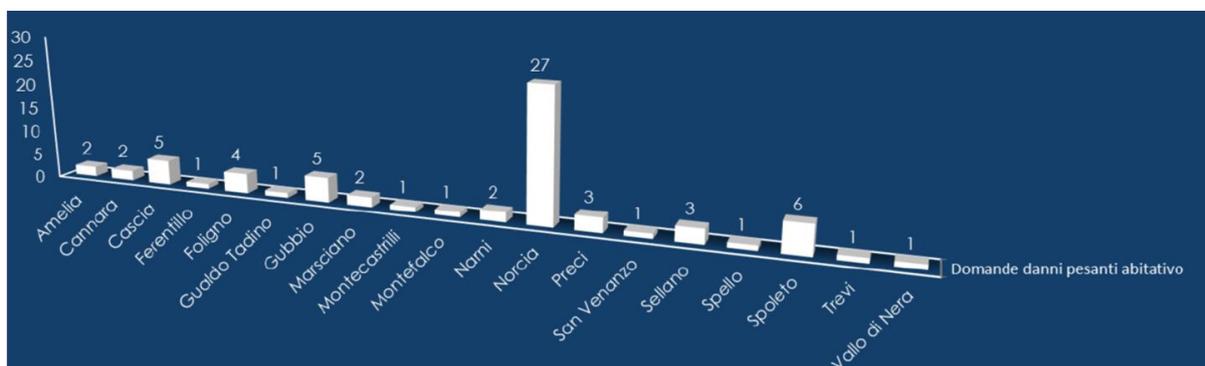


Figura 169: Quadro riepilogativo delle domande di danno pesante abitativo ricevute al 15 Ottobre 2018 dall'USR Umbria, suddivise per Comune.

Fonte: U.S.R. Umbria, Report "Due anni dal sisma. 30 Ottobre 2016 -30 Ottobre 2018", Ottobre 2018.

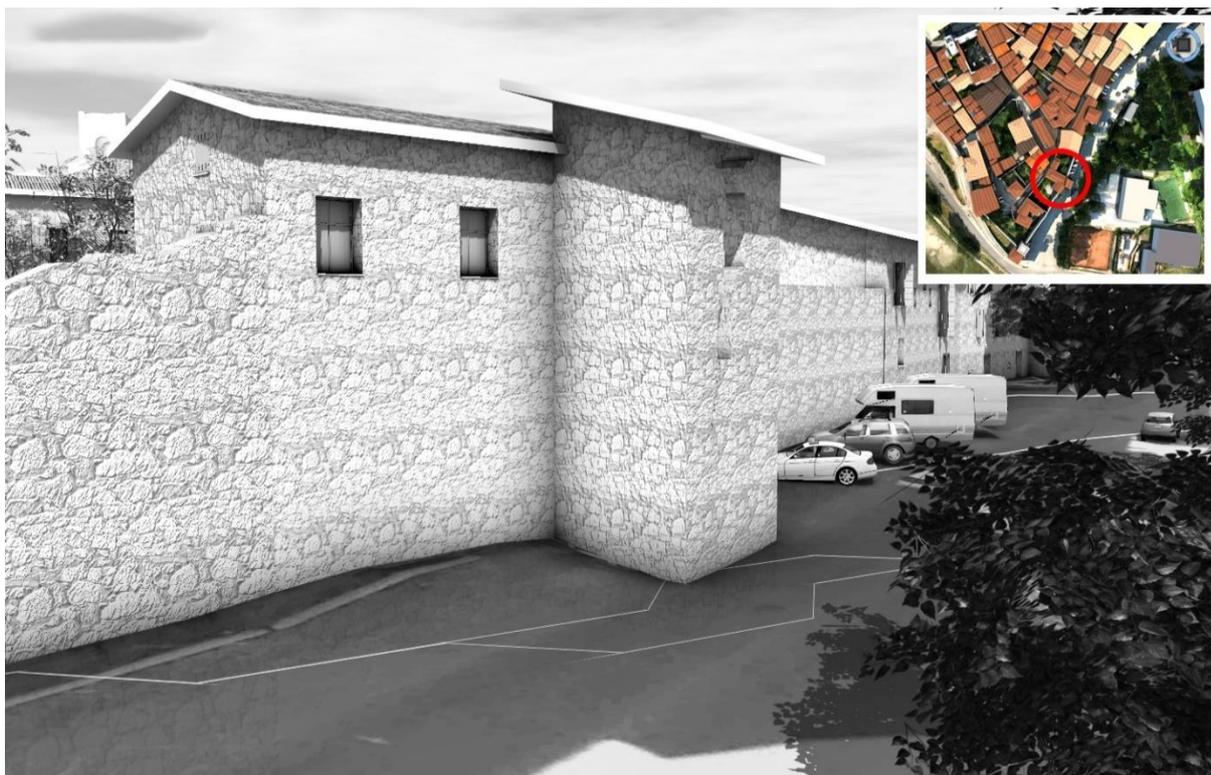


Figura 170: Edificio 49 del modello UrbanBIM di Norcia pre intervento di adeguamento sismico – Autodesk Infracore 2018.



Figura 171: Edificio 49 del modello UrbanBIM di Norcia post intervento di adeguamento sismico – Autodesk Infracore 2018.

9.1.3 Esempio di documentazione di Beni Culturali

Un'ulteriore analisi molto significativa che è stata eseguita all'interno del programma ha riguardato la possibilità di implementare il livello di informazioni di determinati edifici ritenuti di elevato pregio artistico, con la finalità di conservarne la memoria e promuoverne la valorizzazione. Attraverso la semplice navigazione del modello UrbanBIM si possono effettuare delle interrogazioni virtuali su ogni modello presente nello spazio, ottenendo delle informazioni utili a conoscere diversi aspetti della struttura: immagini, dati relativi alla sua storia, data di costruzione, progettisti, uso e funzione ecc.

Per quanto riguarda l'UrbanBIM di Norcia il primo edificio che è stato utilizzato come esempio per sperimentare questo tipo di interrogazione spaziale in ambiente 3D è rappresentato dalla fortezza della Castellina, monumento simbolo della città nonché oggetto di studio approfondito in questo lavoro di tesi. In modo particolare si è proceduto inizialmente con la generazione di un nuovo *tooltips* che ha permesso di generare un "comando descrizione", ovvero uno strumento in grado di attivarsi nel momento in cui si seleziona con il mouse l'edificio in questione. All'interno di questo comando è stato possibile inserire, attraverso il linguaggio html, dapprima il testo contenente le informazioni del monumento (Nome, progettista, anno di costruzione, uso e funzione, breve storia della fortezza), e in un secondo momento un'immagine raffigurante la Castellina scattata dalla Piazza S.Benedetto. Anche per l'immagine si è dovuto utilizzare il linguaggio html per permettere al software di collegarsi direttamente alla posizione specifica del file all'interno dell'archivio dati. Il secondo edificio su cui è stato applicato il "comando descrizione" è la basilica di S.Benedetto, a cui è stata semplicemente associata un'immagine che raffigura il complesso prima del crollo all'interno dello scenario "Opere_Adeguamento_sismico", in modo da utilizzare il modello per un confronto pre e post sisma.



Figura 172:
Interrogazione del
monumento della
Castellina –
Autodesk
Infraworks 2018.

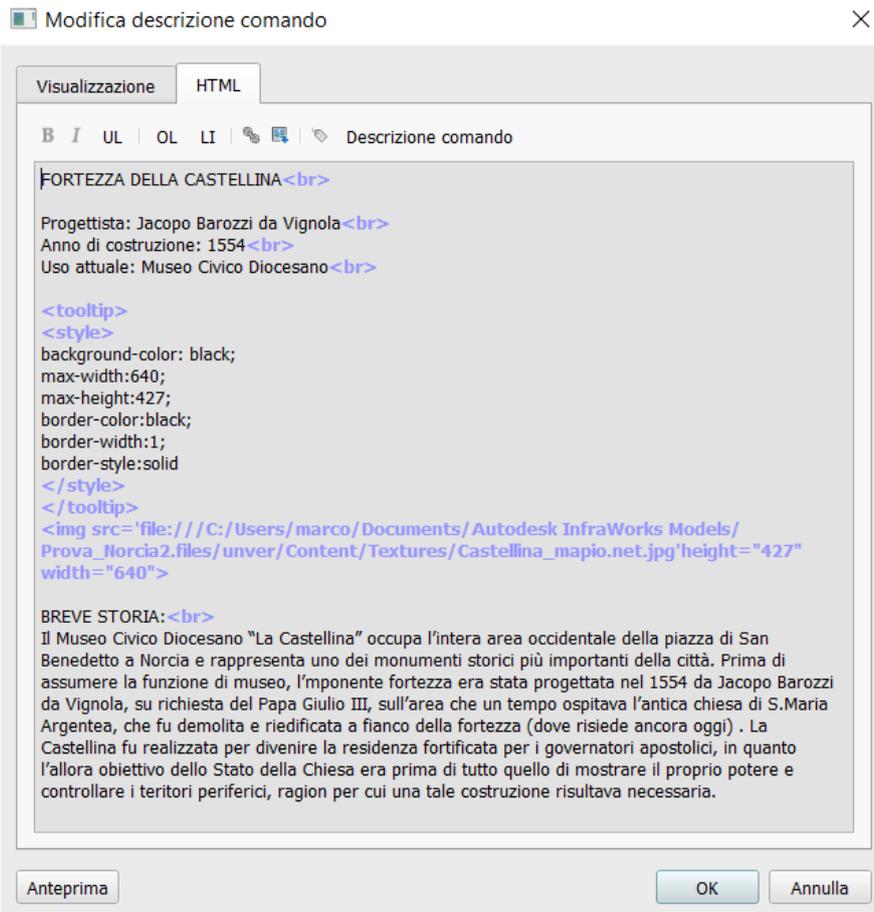


Figura 173: Esempio di linguaggio html per l'inserimento delle informazioni legate al monumento della Castellina – Autodesk Infracworks 2018.



Figura 174: Interrogazione della basilica di S.Benedetto – Autodesk Infracworks 2018.

9.1.4 Esempio di pianificazione SAE

Sin dall'inizio questo lavoro di tesi ha avuto come obiettivo principale quello di fornire uno strumento (piattaforma) che fosse in grado di supportare la gestione di eventi catastrofici come quelli sismici. A tal proposito l'ultima analisi condotta ha permesso di indagare possibili scenari di pianificazione strategica post sisma, simulando una situazione che ogni città o comune colpiti da tali eventi si è trovata ad affrontare. Si sta parlando delle attività condotte dalla Protezione Civile per garantire una sistemazione di breve periodo ai cittadini del comune nursino con casa inagibile o ubicata in ZR, in modo di permettere loro di continuare a vivere nei territori colpiti fino alla ricostruzione. In seguito al terremoto del 24 Agosto 2016 le Regioni e i comuni interessati, tra cui Norcia, hanno potuto avvalersi dell'Accordo quadro per la fornitura di SAE (*Soluzioni Abitative di Emergenza*), attivando specifici appalti per la loro realizzazione¹⁶¹.

Le SAE sono specifiche soluzioni abitative antisismiche con un metratura che varia dai 40 agli 80 mq, che possono essere smontate e riconvertite, completamente arredate, circondate da aree verdi e percorsi pedonali, prive di barriere architettoniche e adatte a qualsiasi situazione climatica. In questo lavoro di tesi non è stato affrontato il tema dell'efficacia complessiva di questa soluzione abitativa di emergenza, dibattito che ha visto e vede tutt'ora coinvolti i colleghi progettisti e le autorità competenti. L'obiettivo principale rimane infatti quello di capire come, in queste situazioni di emergenza, l'utilizzo di piattaforme di archiviazione d'informazioni eterogenee (derivanti dal rilievo di queste aree) possa supportare eventuali attività di pianificazione strategica. Si è deciso quindi di creare un apposito scenario in Infracore in modo da simulare come tale piattaforma potesse essere d'aiuto nella pianificazione di tali attività. Per la realizzazione delle SAE infatti la Protezione Civile si avvale di apposito personale di esperti e tecnici che hanno il compito di valutare i luoghi migliori in cui ubicare i nuovi insediamenti e le opere di urbanizzazione, in base ai fabbisogni diversi da comune a comune. L'unione dei dati



Figura 175: Esempio di SAE in fase di realizzazione nel comune nursino.

Fonte: U.S.R. Umbria, *Report "Due anni dal sisma. 30 Ottobre 2016 -30 Ottobre 2018"*, Ottobre 2018.

¹⁶¹ Protezione Civile, *Soluzioni abitative: SAE e container*, Sito del Dipartimento della Protezione Civile – Presidenza del Consiglio dei Ministri, Web. Gennaio 2020, Fonte: <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/emergenze/centro-italia-2016/soluzioni-abitative>.

territoriali (terreno e ortofoto) derivati dai voli UAV insieme alle possibilità offerte dal modello UrbanBIM hanno permesso la creazione in Infraworks dello scenario denominato “SAE”, che ha permesso di simulare un possibile collocamento delle soluzioni abitative antisismiche in una zona libera extra moenia, a sud della città. Si è ipotizzato la costruzione di cinque SAE, di cui tre composte da tre unità abitative da 50 mq ciascuna, e due composte invece da due unità abitative da 80 mq ciascuna. Il programma mette a tal proposito a disposizione un set di strumenti per la creazione di semplici modelli di edificio e di arredo urbano, in modo da simulare diversi scenari urbani e territoriali. Il modello UrbanBIM ha quindi permesso di navigare virtualmente nella scena pre e post intervento, offrendo la possibilità di effettuare diverse analisi multiscala: architettoniche, urbanistiche, impatto delle SAE sull’ambiente, rapporto con il territorio, analisi sulla viabilità, distanze dalla città ecc.



Figura 176: Viste dell’area a sud della città di Norcia pre e post realizzazione delle SAE – Autodesk Infraworks 2018.



Figura 177: Vista Est del modello UrbanBIM di Norcia – Autodesk InfraWorks 2018.





Figura 178: Vista Sud della
Zona Rossa della città di
Norcia – Autodesk
Infraworks 2018.



10. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Al termine degli studi svolti in questa tesi si può affermare che attraverso l'utilizzo delle innovative tecniche di rilievo 3D proprie della Geomatica è oggi possibile generare un modello UrbanBIM multiscala in grado di contenere al suo interno contemporaneamente dati ed informazioni appartenenti ai sistemi BIM e GIS. È stato infatti possibile dar vita ad uno strumento potenzialmente utilizzabile in differenti contesti operativi, dalla documentazione e rappresentazione del patrimonio costruito e del territorio fino alla gestione di emergenze in supporto ad operazioni di *Disaster Management*.

I risultati ottenuti nascono dalla sempre maggiore richiesta di modelli 3D ad alta risoluzione e facilmente gestibili in grado di documentare il patrimonio dei Beni Culturali e Paesaggistici. Nel caso di questo lavoro di tesi il Bene in questione è rappresentato da un intero complesso urbano, la città di Norcia, gravemente colpita da eventi sismici nel biennio 2016-2017. In modo particolare è stata analizzata la Zona Rossa, ovvero quella parte di città inagibile dove sono stati riscontrati i danni maggiori all'edificato. Trattandosi di un agglomerato storico e di una zona ad alto rischio ambientale è stato fondamentale l'utilizzo di diverse tecniche di rilievo 3D integrate, dalla topografia tradizionale, al laser scanner fino ad arrivare alla fotogrammetria aerea da UAV. Quest'ultima in modo particolare risulta essere un'efficace strategia di rilievo speditivo per il monitoraggio di queste aree e per l'eventuale pianificazione di interventi tecnici urgenti (messa in sicurezza, ricostruzione, soluzioni abitative d'emergenza ecc.) nell'immediato post sisma. Data l'efficacia dimostrata da tale strategia, in seguito alle onerose attività di elaborazione dei dati provenienti dalla campagna di rilievo, è stato deciso di utilizzare i soli dati provenienti dalle piattaforme UAV (*eBee* e *Spark DJI*) al fine di creare un modello UrbanBIM della città, consapevoli del fatto che in futuro tale modello potrà essere implementato sfruttando anche gli altri dati provenienti dal rilievo laser scanner da posizioni fisse e SLAM based.

A partire dall'unione delle nuvole di punti dense generate dai fotogrammi acquisiti dal volo dei suddetti droni, è stato possibile generare in ambiente BIM (Autodesk Revit) i 90 modelli degli edifici rappresentanti la ZR, ed in ambiente GIS (QGIS) il modello del terreno, producendo un database denso di informazioni eterogenee (stratigrafie, materiali, elementi tecnologici, volumetria e coperture degli edifici, coordinate geografiche, altimetria ecc.). Tali informazioni derivano dal fatto che la modellazione è avvenuta secondo differenti livelli di dettaglio e rappresentazione (LOD): per ciò che concerne gli edifici della Zona Rossa modellati in

ambiente BIM, le nuvole di punti hanno permesso di raggiungere LOD B-C-D (*Level of Development*), mentre per la modellazione dei restanti fabbricati della città è stato raggiunto un LOD 1 (*Level of Detail*) utilizzando dati territoriali GIS. Il modello UrbanBIM è stato definito quindi multiscala, in quanto è possibile compiere al suo interno differenti analisi: inquadramenti e pianificazioni urbani/territoriali (scale 1:5000 – 1:1000 – 1:500), proposte progettuali preliminari e planimetriche (scala 1:200), proposte progettuali ed analisi dello stato di fatto alla scala architettonica (scala 1:100).

In seguito alla modellazione parametrica dell'ambiente urbano e territoriale di Norcia, è stata ricercata la soluzione migliore per assicurare una lettura simultanea di entrambi i dati all'interno di un unico ambiente, in grado di garantire la georeferenziazione dei modelli in un unico sistema di riferimento. La piattaforma che in tal senso ha fornito più garanzie è stata individuata nel software Infraworks di Autodesk. Gli esiti derivanti dai test condotti su questa piattaforma hanno prodotto ottimi risultati in termini di georeferenziazione dei modelli (GIS-BIM), di resa grafica e visualizzazione, di gestione del fattore tempo (possibilità di creare scenari per pianificazione strategica sul territorio), di integrazione di dati cartografici, di modellazione contestuale, di analisi, di interrogazione di elementi informatizzati e di simulazione. Nonostante la possibilità di supportare i flussi di lavoro BIM e GIS, non è però ancora stata raggiunta un'interoperabilità completa tra i due sistemi. La problematica principale è stata riscontrata in modo particolare nella perdita di informazioni durante il passaggio di dati da un software all'altro. Ad esempio nell'importazione di dati IFC in Infraworks si è riscontrata la perdita di molte informazioni, quali le stratigrafie, i singoli elementi costruttivi, i principali parametri geometrici ecc., tutte legate al settore AEC. L'edificio modellato in ambiente BIM mantiene soltanto i dati legati alla sua visualizzazione (colore, texture) e viene considerato come un blocco non modificabile. Discorso diverso invece ha riguardato i dati GIS, i quali vengono riconosciuti più facilmente dal programma tanto che è possibile parametrizzare gli attributi tipici di un file GIS (.shp, IMX ecc.) implementando così le informazioni del modello 3D.

Nonostante alcune criticità, le maggiori conferme volte a dimostrare la bontà del presente lavoro sono giunte dalla possibilità di tematizzare ed analizzare il modello UrbanBim. Le potenzialità di tale modello derivano dal fatto che potrebbe essere utilizzato dalle autorità competenti come strumento condivisibile in grado di gestire situazioni di emergenza. Nel caso studio della città di Norcia, la ricostruzione fedele del territorio e del centro urbano (modelli parametrici ed informazioni geospaziali), ha permesso a tal proposito quattro differenti analisi utili per far fronte a diverse problematiche post sisma: valutazione del livello di danno dell'edificato

relativo alla ZR, identificazione delle opere di adeguamento sismico effettuate nella ZR, documentazione di Beni Culturali in aree sismiche ed infine proposta di pianificazione strategica relativa alla realizzazione di soluzioni abitative di emergenza per la popolazione che ha perso la propria casa a seguito del sisma (SAE).

Questo lavoro di tesi dimostra come un UrbanBIM sia adatto per documentare ed analizzare aree colpite da calamità naturali, e si inserisce perfettamente all'interno delle ricerche che si stanno sviluppando in questi anni sul tema dell'interoperabilità tra i sistemi BIM e GIS. Si può considerare come un primo passo verso la creazione di un workflow efficace che permetta di utilizzare un'unica piattaforma al cui interno possano coesistere dati eterogenei, favorendo inoltre lo scambio di informazioni tra professionisti di diversi settori. Ulteriori studi saranno necessari per indagare maggiormente queste tematiche e i risultati di questo lavoro, con l'obiettivo di migliorare ulteriormente l'efficacia dello scambio dei dati e ridurre al massimo la perdita di informazioni che si verifica in seguito alla loro importazione in una piattaforma comune.

BIBLIOGRAFIA

- AIA California Council, *A Working Definition – Integrated Project Delivery*, Mc Graw Hill Construction, 2007.
- Alpa, G., Premessa, in E.TOSI, “*I problemi giuridici di Internet. Dall'E-Commerce all'E-Business*”, Giuffrè, 2001, XIII.
- Antonelli, G., *Umbria*, Tuttitalia Enciclopedia dell’Italia antica e moderna, Edizioni Sadea, Sansoni Firenze, 1964.
- Balzani, M., *BIM, PIM, AIM e il progetto sul patrimonio esistente*, Architetti.com, articolo, 22 Giugno 2017, Web Dic. 2019, Fonte: <https://www.architetti.com/bim-pim-aim-progetto-patrimonio-esistente.html>.
- Bascones Recio, R., *The Secret to Landscape Modeling whith InfraWorks*, Autodesk Istruotional Demo, Las Vegas, 2018.
- Bartolucci, D., “*Principi di laser scanning 3D*”, D. Flaccovio Editore, Palermo 2009.
- Batty, M., *Big Data and the City*, articolo in *Built Environment*, vol.42, n. 3, Ottobre 2016, p. 321-326.
- Bertocci, S., Bini, M., *Manuale di Rilievo Architettonico e Urbano*, Città Studi Edizioni, de Agostini Scuola Spa, Novara, 2012.
- Biljecki, F., *Level of Detail in 3D City Models*, doctoral dissertation at Delft University of Technology, 2017, p.3.
- Bollettino Sismico Italiano (BSI) - Gruppo di Lavoro Sequenza Centro Italia (2019). Rapporto Bollettino Sismico Italiano sulla revisione dei giorni 24-26 agosto; 26-27 ottobre; 30 ottobre-1 Novembre 2016.
- Burrough, P.A., *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey*, No. 12, Oxford Science Publications, New York 1986.
- Calantropio, A., Chiabrandò, F., Sammartano, G., Spanò, A., Teppati Losè, L., *UAV strategies validation and remote sensing data for damage assessment in post-disaster scenarios*, in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2018, 42 (3W4), pp. 121-128. DOI: [10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-121-2018](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-121-2018).
- Calderini, M., Reviglio, E., Camerano, S., Carriero, A., Del Bufalo, G., Alterio, D., De Marco, A., Michelucci, F.V., Neirotti, P., Scorrano, F., premessa in “*Smart City. Progetti di sviluppo e strumenti di finanziamento.*”, Cassa depositi e prestiti S.p.A., 2013.

- Cannarozzo, R., Cucchiarini, L., Meschieri, V., “*Genesi e definizioni*” in “*Misure, rilievo, progetto*”, Zanichelli, Bologna, 2012, p.11.
- Chiabrando, F., Della Coletta, C., Sammartano, G., Spanò, A., Spreafico, A., “*TORINO 1911*” project: *A contribution of a SLAM-based survey to extensive 3D heritage modeling*, in *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-225-2018.
- Chiabrando, F., Di Lolli, A., Patrucco, G., Spanò, A., Sammartano, G., Teppati Losè, L., *Multitemporal 3d Modelling For Cultural Heritage Emergency During Seismic Events: Damage Assesment Of S. Agostino Church In Amatrice (RI)*. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42, 2017.
- Chiabrando, F., Lingua, A., Maschio, P., Rinaudo, F., Spanò, A., *Mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo per il rilievo fotogrammetrico in ambito archeologico*, Maggio 2012, p.2.
- Chiabrando, F., Lingua, A., Maschio, P., Teppati Losè, L., *The influence of flight planning and camera orientation in UAVs Photogrammetry. A test in the area of Rocca San Silvestro (LI), Tuscany*, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2017 ,pp.163-170.
- Chiabrando, F., Sammartano, G., Spanò, A.T., *Historical Building Models and their handling via 3D survey: from points clouds to user-oriented HBIM*, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2016, XLI-B5: 633-640.
- Colucci, E., Abbate, E., Mantello, F., Sammartano, G., Spanò, N., *Approcci GIS ed HBIM integrati per l’analisi del patrimonio paesaggistico*, in XXIII Conferenza Nazionale ASITA, 12-14 novembre 2019, Trieste pp.285-286.
- Cuzzocrea, F., Priori, F., *Le tecniche topografiche applicate al soccorso*, in *GEOMedia* n°3-2014, pp.10-14.
- Dantas, H.S., Sousa, J.M.M.S., Melo, H.C., *The importance of City Information Modeling (CIM) for cities’ sustainability*, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 225 012074, 2019.
- De Chiaro, M., *Smart City e Smart People: dalla realtà urbana alla realtà mista.*, tesi di laurea magistrale, Politecnico di Torino, a.a. 2017-2018, rel. G. Garnero.
- De Meis, G., *Manuale sull’impiego dei droni*, Phasar Edizioni, Firenze, 2018, pp.191-242.
- De Ruvo, V., Colucci, E., Matrone, F., Lingua, A., Spanò, A., *HBIM in un 3D GIS semantico*, in XXIII Conferenza Nazionale ASITA, 12-14 novembre 2019, Trieste.

- Di Filippo, A., Sanchez Aparicio, L.J.,; Barba, S., Martin-Jimenez, J.A., Mora, R., Aguilera, D.G., *Use of a Wearable Mobile Laser System in Seamless Indoor 3D Mapping of a Complex Historical Site*, 2018, in Remote Sensing, 2018.
- Dominici, G., Fichera, D., *ICity Rate rapporto annuale 2018*, in *ICity LAB*, FPA Digital 360, Firenze, 17-18 Ottobre 2018.
- Esri Italia, *L'impegno della Protezione Civile a un anno dal terremoto in Centro Italia*, 2020. Fonte: <https://www.esriitalia.it/case-history/public-safety/374-protezione-civile-cartografare-l-emergenza>.
- Fujisawa SST Council, *Fujisawa Concept Book*, in Consiglio di Amministrazione Fujisawa SST 2018, 6th edizione.
- G.De Meis, *Manuale sull'impiego dei droni.*, 2. ed., Phasar Edizioni, 2018, p.12.
- Galgano, M., postfazione a *Norcia città sismica. La basilica di San Benedetto paradigma di rinascite.*, di Gigliozzi, M.T., Campisano Editore, Roma, 2019.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., Meijers, E., *Smart Cities - Ranking of European medium-sized cities*, Vienna University of Technology, 2007.
- Gigliozzi, M.T., *Norcia città sismica. La basilica di San Benedetto paradigma di rinascite.*, di M.T. Gigliozzi, Campisano Editore, Roma, 2019.
- Jacobsen, K., *3D Working Method 2006*, Digital Construction, bips, Ballerup, Denmark, Aprile 2007.
- Jernigan, F.E., *BIG BIM little bim. The practical approach to building information modeling. Integrated Practice done the right way!*, Salisbury, USA, 2007.
- Kraus, K., *Fotogrammetria, Vol. 1, Teoria e Applicazioni*, 1994, p. 3.
- Lemmens, M., *Point Clouds and Smart Cities. The Need of 3D Geodata and Geomatics Specialists.*, in *Gim-International Magazine*, 25 Ottobre 2018, Web. 18 Nov. 2019.
- Lowe, D. G., *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*, International journal of computer vision, 60 (2), 2004, pp. 91-110.
- Maxwell, L., *From BIM to CIM: why building and city information modelling are essential to the development of Smart Cities*, articolo in *Bimcommunity.com*, 16 Luglio 2018. Fonte: <https://www.bimcommunity.com/news/load/917/from-bim-to-cim-why-building-and-city-information-modelling-are-essential-to-the-development-of-smart-cities>.
- MiBACT, *Museo civico e diocesano di Norcia*, Web Dic. 2019, Fonte: <https://www.beniculturali.it/mibac/opencms/MiBAC/sito->

MiBAC/Luogo/MibacUnif/Luoghi-della-Cultura/visualizza_asset.html?id=150471&pagenome=57.

- Mikhail, E.M., Betel, J.S., McGlone, J.C., *Modern photogrammetry*, John Wiley & Sons, 2001.
- Moshe ben Daniel, *Libro di Preghiere*, traduzione in Chiaverini, Saverini 2003, pp.36-37, nota 14.
- Murphy, M., McGovern, E., Pavia, S., *Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture*. ISPRS J. Photogram. Remote Sensing, 2013, Doi: 10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006.
- Negri, R., 2019. Fonte: <https://www.bimportale.com/scan-to-bim-dalle-nuvole-punti-al-modello-digitale-seconda-parte>.
- Negri, R., *Scan to BIM: dalle nuvole di punti al modello digitale (prima parte)*, Bimportale, articolo, 10 Maggio 2019. Web Dic. 2019, Fonte: <https://www.bimportale.com/scan-to-bim-dalle-nuvole-punti-al-modello-digitale-parte>.
- *Nuovo PRG – Parte Strutturale*, Aprile 2019, p. 39.
- Osello, A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, 2012, Dario Flaccovio Editore, p.25.
- Pagana, P., *Sismicità storica in Umbria. Ricostruzione e studio dei principali terremoti verificatisi a partire dal III secolo a.C*, 2013, Web Dic. 2019, Fonte: <http://www.binapg.it/wp-content/uploads/2013/11/Sismicità-storica-in-Umbria-e-legislazione-in-materia-di-terremoti.modifica-7-novembreottobre-20135-copy.pdf>.
- Pagani, R., Chiesa, G., *Urban data. Tecnologie e metodi per la città algoritmica*, Ricerche di tecnologie per l'architettura FRANCO ANGELI, Milano, 2016, p.244.
- Palma, V., Baima, L., Vetrò, A., Sammartano, G., Abbate, E., Iacovone, C., Todeschi, V., Rapelli, M., Taramino, R., *Which digital tools for the creation of a Digital Open Urban Twin ?*, Technical Report nr. 1/2019, FULL, p.30.
- Pellizzato, L., *Smart City secondo natura. Flussi urbani e gestione del verde*, in *Bergamo – I maestri del paesaggio*, atti del convegno di studi, Bergamo 2014.
- Peric, A., *Brownfield redevelopment versus Greenfield investment – Case Study Ecka industrial zone in Zrenjanin, Serbia*, in *Technics Technologies Education Management*, Gennaio 2011, Web. Ott. 2019, Fonte: <https://www.researchgate.net/publication/290941500>.

- Perri, S., *Metodi di rilievo metrico 3D multiscala per il patrimonio costruito. Applicazioni aeree e terrestri in differenti scenari*, tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile, Politecnico di Torino, a.a. 2017/2018, rel. Prof.ssa A. Spanò.
- Petz, I., *BIM and Urban Planning: "We need more details".*, Siemens, 4 Luglio 2016, Web. 18 Nov. 2019.
- Pozzoli, S., Bonazza, M., Werner, S.V., *Revit 2018 per l'Architettura. Guida completa per la progettazione BIM*, Autodesk, Collana AM4 Educational, Tecniche Nuove, Ottobre 2017.
- Pro Loco di Norcia, *"Vetusta Nursia". La storia della città di Norcia, dalle origini fino ad oggi*, Web Dic. 2019, Fonte: <https://www.proloconorcia.it/norcia>.
- Pro Loco di Norcia, *La Castellina, la fortezza delle ecclesiastici*, 11 Marzo 2019, Web Dic. 2019, Fonte: <https://www.proloconorcia.it/la-castellina-norcia>.
- Profumo, F., *"Città intelligenti?" Per una via italiana alle Smart Cities.*, a cura di A.Granelli, in rivista Media2000, 2012, Web. Nov. 2019 Fonte: <https://www.media2000.it>.
- Protezione Civile, *Soluzioni abitative: SAE e container*, Sito del Dipartimento della Protezione Civile – Presidenza del Consiglio dei Ministri, Web. Gennaio 2020, Fonte: <http://www.protezionecivile.gov.it/attivita-rischi/rischio-sismico/emergenze/centro-italia-2016/soluzioni-abitative>.
- Rapari, G., *Il mercato ICT e l'evoluzione digitale in Italia. Orientamenti della domanda, valori di spesa, scenari globali.*, Assintel Report 2019, p. 15.
- Redazione Tecnica, *La UNI 11337: gli standard italiani sul BIM*, in Edil Tecnico. Il quotidiano online per professionisti tecnici, articolo, 21 Maggio 2018, Web Dic. 2019, Fonte: <https://www.ediltecnico.it/63404/uni-11337-standard-italiani-bim>.
- Rinaudo, F., Dispense corso *GIS e Modellazione per i Beni Culturali, Fondamenti di GIS*, 2017, p.6.
- Ronconi, G.B.A., Batista, T.J., Merola, V., *The utilization of unmanned aerial vehicles (UAV) for military action in foreign airspace*, 2014, p.139.
- Russo M., et al., 2011, p.174-175.
- Russo, M., Remondino, F., Guidi, G., *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in Archeologia e Calcolatori, n.22, 2011, p.170.
- Sacerdote, F., Tucci, G., *"Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio"*, 2007, p. 11.
- Salvatorelli, L., *San Benedetto e l'Italia del suo tempo*, Gius. Laterza & Figli, Editori-Bari, 1983.

- Sammartano, G., Spanò N., *Point clouds by SLAM-based Mobile Mapping Systems: accuracy and geometric contents validation in multi-sensor survey and stand-alone acquisition*, A. Appl Geomat, 2018, p.2, DOI: 10.1007/s12518-018-0221-7.
- Sammartano, G., Spanò, A., Teppati Losè, L., *A fusion-based workflow for turning slam point clouds and fisheye data into texture-enhanced 3d models*, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-2/W17, 295–302, 2019, p.1, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W17-295-2019.
- Sorigeniaup, *Un laboratorio a cielo aperto di innovazione e tecnologia applicate alla qualità della vita urbana: nei Paesi Bassi il primo centro al mondo che sfrutta le potenzialità dell'Internet of Things*, Sorigeniaup Magazine Online, 2014, Web. Nov. 2019, Fonte: <https://up.sorigenia.it>.
- Spanò, A., Dispense Laboratorio di geomatica per la modellazione dell'architettura, *"Principi del rilievo metrico"*, 2018, pp.9-13.
- Spanò, A., Dispense Laboratorio di geomatica per la modellazione dell'architettura, *"Strumenti di misura. Appunti di topografia"*, 2016, p.1.
- Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali 2018, *"Documentazione del patrimonio"*, pp.9-15.
- Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, *"Cenni su sistema GPS/GNNS"*, 2018, p.11-13.
- Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, *Fotogrammetria digitale*, 2018.
- Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, *"Sistemi a scansione. LiDAR Technology"*, 2018.
- Spanò, A., Dispense Workshop di fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, *"Sistemi a scansione. Acquisizione"*, 2018.
- Spanò, A., Dispense, *Fotogrammetria digitale e scansioni 3D*, 2016.
- Spanò, A., Donadio, E., Chiabrando, F., *Modelli 3D densi tra esperienze didattiche e ricerche di soluzioni fruibili*, in *Polimia. Studi di archeologia n.8*, 2017, p.85.
- Spanò, A., *Versatilità di metodi e tecniche della Geomatica per la documentazione del patrimonio costruito. Approcci sostenibili per la valutazione sismica*, in *Patrimonio architettonico e rischio sismico. Un percorso tra conoscenza e obiettivi di conservazione*, R. Ientile, M. Naretto, CELID, 2013, p.89.
- Surace, L., *La Georeferenziazione delle informazioni territoriali*, in *GeoforUS, Geography & Technology Network*, 2010.

- Team Autodesk, *Growing responsibly. Autodesk InfraWorks helps a Swiss canton visualize and analyze future growth.*, PlanIng and Autodesk collaboration, in *Autodesk Customer Success Story*, 2013.
- Tobiàs, P. (2016), *BIM, GIS and semantic models of cultural heritage buildings*, Geoinformatics FCE CTU, 15(2): 27-41.
- Wolf OSB, P.N., estratto da prefazione a *Norcia città sismica. La basilica di San Benedetto paradigma di rinascite.*, di M.T. Gigliozzi, Campisano Editore, Roma, 2019.

SITOGRAFIA

- ec.europa.eu
- up.sorgenia.it
- www.agid.gov.it
- www.architetti.com
- www.assintel.it
- www.autodesk.it
- www.beniculturali.it
- www.biblus.acca.it
- www.bimportale.com
- www.bumcommunity.com
- www.canon.it
- www.comune.norcia.pg.it
- www.dji.com
- www.ediltecnico.it
- www.esriitalia.it
- www.faro.com
- www.gopro.com
- www.ingenio-web.it
- www.leica-geosystems.com
- www.media2000.it
- www.proloconorcia.it
- www.protezionecivile.gov.it
- www.repubblica.it
- www.sensefly.com
- www.sismaumbria2016.it
- www.sony.it
- www.wikipedia.org
- zonesismiche.mi.ingv.it

INDICE DEGLI ACRONIMI

ADI: Agenda Digitale Italiana
AEC: Architecture, Engineering and Construction
AGID: Agenzia per l'Italia Digitale
ASC: Amsterdam Smart City
BIM: Building Information Modelling
CAD: Computer-Aided Design
CIPA: International Committee for Documentation of Cultural Heritage
CORENET: Construction and Real Estate Network
CP: Control Point
DEM: Digital Elevation Model
DIRECT: Disaster Recovery Team
DTM: Digital Terrein Model
EMS: Emergency Management Service
FM: Facility Management
GCP: Ground Control Point
GIS: Geographic Information System
GNSS: Global Navigation Satellite System
HBIM: Historic Building Information Model
IAI: International Alliance for Interoperability
ICCROM: International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property
ICOMOS: International Council of Monuments and Sites
ICT: Information and Communications Technology
IDT: Infrastruttura di Dati Territoriali
IT: Information Technology
IFC: Industry Foundation Classes
LIDAR: Light Detection and Ranging
LOD: Level of Detail/Development
LOG: Level of Geometry
LOI: Level of Information
MEP: Mechanical, Electrical and Plumbing
NBIMS: National BIM Standard
ONSC: Osservatorio Nazionale delle Smart City
ONU: Organizzazione delle Nazioni Unite
OOCAD: Object-Oriented CAD
RTK: Real Time Kinematic
SAPR: Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto
SfM: Structure for Motion
SLAM: Simultaneous Localization and Mapping
UAV: Unmanned Aerial Vehicle
UNESCO: Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Istruzione, la Scienza e la Cultura
ZR: Zona Rossa

INDICE DELLE FIGURE

Le immagini senza fonte sono state realizzate appositamente per questo lavoro.

FIGURA 1: IMMAGINE CHE RAFFIGURA LA SMART CITY COME UN IDEALE CONTENITORE TECNOLOGICO IN CUI CONFLUISCONO UNA QUANTITÀ IMMENSA DI DATI.	7
FIGURA 2: GRAFICO RAFFIGURANTE GLI ATTRIBUTI DELLE SMART CITIES E LA LORO INCIDENZA ALL'INTERNO DELLA CITTÀ, REALIZZATO DAL GRUPPO DI RICERCA RESLOG DEL POLITECNICO DI TORINO.	9
TABELLA 1: LE SEI CARATTERISTICHE SMART IDENTIFICATE DALL'UNIVERSITÀ DI TECNOLOGIA DI VIENNA.	10
FIGURA 3: IMMAGINE IN CUI È RAFFIGURATA UNA PARTE DELLA CITTÀ DI FUJISAWA, DOVE EMERGONO LE ABITAZIONI UNIFAMILIARI INDIPENDENTI, OGNUNA DOTATA DI PANNELLI SOLARI.	12
FIGURA 4: IMMAGINE CHE RAFFIGURA IL CENTRO DI COMANDO DELLA CITTÀ NELLA PIAZZA PRINCIPALE.	12
FIGURA 5: IMMAGINE CHE RAFFIGURA IL MERCATO ICT PER REGIONE, 2019.	15
FONTE: RAPARI, G., 2019.	15
TABELLA 2: CLASSIFICA GENERALE ICITY RATE PRODOTTA DA FPA DIGITAL 360.	16
FIGURA 6: GRAFICO RAFFIGURANTE LE TRE CITTÀ PIÙ "SMART" D'ITALIA.	17
FIGURA 7: VISTA A VOLO D'UCCELLO DEL MODELLO 3D DEL CANTONE DI APPENZELL INNERHODEN.	19
FIGURA 8: PRIMO SCENARIO DELL'ESPANSIONE URBANA DEL CANTONE DI APPENZELL INNERHODEN.	20
FIGURA 9: SECONDO SCENARIO CON AUMENTO DELLA DENSITÀ ABITATIVA NEL CENTRO DEL CANTONE DI APPENZELL INNERHODEN.	20
FIGURA 10: IMMAGINE RAFFIGURANTE UN TIPICO PROCESSO BIM PER LA REALIZZAZIONE DI UN'INFRASTRUTTURA.	24
FIGURA 11: APPROCCIO CAD VS APPROCCIO BIM.	27
FIGURA 12: IMMAGINE RAFFIGURANTE IL CONCETTO DI INTEROPERABILITÀ BIM PER I SETTORI DELL'ARCHITETTURA, DELL'INGEGNERIA STRUTTURALE E DELL'IMPIANTISTICA.	29
FIGURA 13: DIAGRAMMA DI P. MACLEAMY RAFFIGURANTE L'INTENSITÀ DELLO SFORZO PROGETTUALE NELLE VARIE FASI, UTILIZZANDO UN APPROCCIO TRADIZIONALE O BIM, IN RELAZIONE AI COSTI E AGLI SFORZI PRODOTTI.	30
FIGURA 14: SCHEMA DEL PROCESSO DI STANDARDIZZAZIONE DELLE INFORMAZIONI DI UN MODELLO PER MEZZO DEL FORMATO IFC.	32
FIGURA 15: SCHEMA DI STRUTTURAZIONE DEI LOD ITALIANI.	34
FIGURA 16: SCHEMA RIEPILOGATIVO DEI LOD ITALIANI IN RIFERIMENTO AD UNA PARETE.	35
FIGURA 17: L'IMMAGINE RAFFIGURA UN ESEMPIO DI RETE TOPOGRAFICA RELATIVA ALLE AULE I DEL POLITECNICO DI TORINO (A) E SUCCESSIVAMENTE UNA SCHEMATIZZAZIONE DEL PROCESSO CELERIMETRICO (B).	42
FIGURA 18: IMMAGINE RAFFIGURANTE LA STAZIONE TOTALE LEICA TS10.	43
FIGURA 19: IMMAGINE RAFFIGURANTE IL SATELLITE GALILEO PROGETTATO DALL'UE E LANCIATO IN ORBITA NEL 2011.	44
FIGURA 20: IMMAGINE RAPPRESENTANTE UN DISPOSITIVO LEICA VIVA GNSS CON RICEVITORE GS10 E RELATIVO DISPOSITIVO DI COMANDO.	46
FIGURA 21: TECNICA FOTOGRAMMETRICA E PROSPETTIVA CENTRALE.	48
FIGURA 23: PARAMETRI DI ORIENTAMENTO DELLA CAMERA CON CENTRO DI PRESA IN O.	50
FONTE: KRAUS, K., 1994	50

FIGURA 22: RELAZIONE ESISTENTE TRA I PUNTI IMMAGINE E I PUNTI OGGETTO.	50	COMPONENTI (A) ED ESEMPIO DI UN VEICOLO SU STRADA UTILIZZATO PER MAPPARE IL TERRITORIO CON SISTEMI LIDAR E GPS(B).	68
FIGURA 24: COPPIA STEREOSCOPICA, INTERSEZIONE DEI RAGGI OMOLOGHI PER LA RICOSTRUZIONE SEMPLIFICATA DELLA GEOMETRIA DEL PUNTO P.51	51	FIGURA 37: SISTEMA ZEB REVO RT.	70
FIGURA 25: REGOLE PROIETTIVE RELATIVE ALLA GEOMETRIA EPIPOLARE.	52	FIGURA 38: SCANSIONE SLAM NELLA VALLE DEI RE (KINGDOM VALLEY, EGITTO).	72
FIGURA 26: IMMAGINI CHE MOSTRANO PARTENDO DA SINISTRA UNA CAMERA COMPATTA, LA SONY DSC- RX100M4, UNA REFLEX CANON EOS M-50 ED INFINE UNA CAMERA PANORAMICA GOPRO FUSION 360.	54	FIGURA 39: ESEMPIO DI ELABORAZIONE CARTOGRAFICA RAFFIGURANTE LA ZONIZZAZIONE DELLE AREE FINALIZZATA ALLA RICERCA DI PERSONE DISPERSE.	80
FIGURA 27: IMMAGINI CHE MOSTRANO PARTENDO DA SINISTRA UN PALLONE AEROSTATICO EQUIPAGGIATO CON CAMERA PER RIPRESE AEREE, UN AEROPLANO PER FOTOGRAMMETRIA AEREA ED INFINE UN DRONE UAV.	54	FIGURA 40: ESEMPIO DI ELABORAZIONE CARTOGRAFICA RELATIVA ALLA VIABILITÀ DEL CENTRO DELL'AQUILA DURANTE IL TERREMOTO DEL 2009.	80
FIGURA 28: IMMAGINE RAFFIGURANTE L'ATTACCO AUSTRIACO DEL 22 AGOSTO 1849 ALLA SERENISSIMA PER MEZZO DI PALLONI ESPLOSIVI.	55	FIGURA 41: ESEMPIO DI ELABORAZIONE CARTOGRAFICA DI UN TRACCIATO UTILE PER LA LOCALIZZAZIONE DI PERSONE DISPERSE MEDIANTE ANALISI DELLE COPERTURE DELLE CELLE PER LA TELEFONIA MOBILE.	81
FIGURA 29: SCHEMA DEI PARAMETRI RELATIVI ALL'ORIENTAMENTO INTERNO DI UNA CAMERA MONTATA SU UN VELIVOLO.	56	FIGURA 42: MAPPE INTERATTIVE E CARTOGRAFIA ONLINE MESSA A DISPOSIZIONE SUL SITO DELLA PROTEZIONE CIVILE A SEGUITO DEGLI EVENTI SISMICI DEL 2016-2017.	82
FIGURA 30: PIANO DI VOLO IDEALE – CASO GENERALE	57	FIGURA 43: ORDINI ARCHITETTONICI E LORO RAPPRESENTAZIONE IN AMBIENTE BIM.	85
FIGURA 31: BASE DI PRESA DA GARANTIRE IN UN RILIEVO AEREO-FOTOGRAMMETRICO.	58	FIGURA 44: RAPPRESENTAZIONE DELLA CAPPELLA DEL CASTELLO DEL VALENTINO GENERATA ATTRAVERSO LA SOVRAPPOSIZIONE DI UNA NUVOLA DI PUNTI SPARSA, DENSA E DI UNA TEXTURE.	86
FIGURA 32: PRESA AEREA IDEALE PER LA RESTITUZIONE 3D DEGLI EDIFICI.	59	FIGURA 45: TIPICO WORKFLOW SCAN-TO BIM RELATIVO AL PLUGIN POINTSENSE FOR REVIT PRODOTTO DALLA FARO.	87
FIGURA 33: IMMAGINE RAFFIGURANTE LA NUVOLA DI PUNTI DELLA PIAZZA S. BENEDETTO DI NORCIA.	62	FIGURA 46: VISTA IN SEZIONE DI UNA NUVOLA DI PUNTI CHE INDIVIDUA UN MURO OSPITANTE UN SERRAMENTO ALL'INTERNO DEL SOFTWARE REVIT (SINISTRA) E RELATIVA GENERAZIONE DI UN OGGETTO MURO E DI UNA FINESTRA ATTRAVERSO IL PLUGIN POINTSENSE FOR REVIT (DESTRA).	87
FIGURA 34: SCHEMA CHE RAFFIGURA IL METODO A CAMERA SINGOLA PRIMA E A CAMERA DOPPIA DOPO PER L'ACQUISIZIONE DELLE COORDINATE SPAZIALI DI UN PUNTO IN SISTEMI TRIANGOLATORI.	65	FONTE: MANUAL POINTSENSE FOR REVIT 18.5, FARO TECHNOLOGIES, INC.	87
FIGURA 35: SCHEMA CHE RAFFIGURA IL METODO PER L'ACQUISIZIONE DELLE COORDINATE SPAZIALI DI UN PUNTO IN SISTEMI DISTANZIOMETRICI.	66		
FIGURA 36: RAPPRESENTAZIONE DI UN RILIEVO FOTOGRAMMETRICO AEREO CON RELATIVE	68		

FIGURA 47: RAPPRESENTAZIONE DI UNA SMART CITY DEL XXI SECOLO.	89	FIGURA 58: IMMAGINE CHE RAFFIGURA IL PALAZZO COMUNALE DI NORCIA E LA CHIESA DI S.BENEDETTO DOPO IL TERREMOTO DEL 22 AGOSTO 1859.	112
FIGURA 48: INTEGRAZIONE BIM E GIS PER LA GENERAZIONE DI UN CITY INFORMATION MODEL.	90	FIGURA 59: MAPPA DELL'EVENTO SISMICO DEL 30 OTTOBRE 2016 DELLE ORE 06:40:17 UTC E RELATIVA LOCALIZZAZIONE EPICENTRALE.	113
FIGURA 49: I CINQUE LODS RELATIVI AGLI OGC CITYGML.	92	FIGURA 60: PERICOLOSITÀ SISMICA EVENTO DEL 2016-10-30	114
FIGURA 50: ESEMPI DI 3D CITY MODELS REALIZZATI IN DIFFERENTI LOD (LEVEL OF DETAIL). PARTENDO DALL'ALTO A SINISTRA: ETTENHEIM (GERMANY), PUNGGOL (SINGAPORE), NEW YORK CITY, (UNITED STATES), CHONGQING (CINA), NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY, HSINCHU (TAIWAN), ADELAIDE (AUSTRALIA).	93	FIGURA 61: MAPPA DELL'EVENTO SISMICO DEL 18 GENNAIO 2017 DELLE ORE 09:25:40 UTC E RELATIVA LOCALIZZAZIONE EPICENTRALE.	114
FIGURA 51: LOD (LEVEL OF DEVELOPMENT) IN UN TIPICO PROCESSO BIM. IN PARTICOLARE PASSAGGIO DAL DIMENSIONAMENTO DELL'INGOMBRO DI UNA TRAVE, FINO AD ARRIVARE ALL'ELABORAZIONE DI AS BUILT E CONSEGUENTE INSERIMENTO NEL PROGETTO.	94	FIGURA 62: PERICOLOSITÀ SISMICA EVENTO DEL 2017-01-18	115
FIGURA 52: IMMAGINE CHE MOSTRA UN AEREO UTILIZZATO PER RILIEVI TERRITORIALI CHE INTEGRANO TECNOLOGIA LIDAR E TECNICHE FOTOGRAMMETRICHE.	100	FIGURA 63: SERIE DI IMMAGINI RAFFIGURANTI SCORCI DELLA CITTÀ DI NORCIA PRE E POST SISMA DEL 2016: BASILICA DI S.BENEDETTO (A)(B)(C), CROLLI DI EDIFICI NELLA "ZONA ROSSA" (D)(E), CHIESA DI S.MARIA ARGENTEA (F)(G).	116
FIGURA 53: PIANTA DI NORSIA (NORCIA), INIZIO XVII SECOLO.	103	TABELLA 7: MANIFESTO PER LA RICOSTRUZIONE DI NORCIA, ESTRATTO DAL NUOVO PRG DI NORCIA PT.08.	119
FIGURA 54: IMMAGINE RAFFIGURANTE LA PORTA ROMANA DI NORCIA, UNA DELLE SETTE PORTE D'INGRESSO ALLA CITTÀ.	104	TABELLA 8: MANIFESTO PER LA RICOSTRUZIONE DI NORCIA, ESTRATTO DAL NUOVO PRG DI NORCIA IG.01.	119
FIGURA 55: CARTOLINA STORICA RAFFIGURANTE PIAZZA VITTORIO EMANUELE A NORCIA, DOVE SI DISTINGUONO IL MUNICIPIO, LA BASILICA DI S.BENEDETTO E LA STATUA DEL SANTO.	105	TABELLA 9: MANIFESTO PER LA RICOSTRUZIONE DI NORCIA, ESTRATTO DAL NUOVO PRG DI NORCIA IG.03.	119
FONTE: COLLEZIONE PRIVATA GIAMPAOLO NATICCHIONI.	105	FIGURA 64: SCHEMA GENERALE ATTUATIVO DEL NUOVO PRG DI NORCIA.	120
FIGURA 56: LA FORTEZZA DELLA CASTELLINA IN PIAZZA S.BENEDETTO A NORCIA.	107	FIGURA 65: ORTOFOTO DELLA CITTÀ DI NORCIA EFFETTUATA DAL DRONE UAV EBEE DOVE VENGONO EVIDENZIATI I CONFINI DELLA ZONA ROSSA E I PRINCIPALI MONUMENTI STORICI PRESENTI AL SUO INTERNO.	122
FIGURA 57: RAPPRESENTAZIONE DEI DANNI A SEGUITO DEL TERREMOTO DEL 1703 SUGLI EDIFICI DI PIAZZA S.BENEDETTO. DISEGNO A MATITA DI UN AUTORE ANONIMO	111	FIGURA 67: RETE DI INQUADRAMENTO DELLA PIAZZA S.BENEDETTO DI NORCIA.	123
		FIGURA 68: RICEVITORE SATELLITARE GPS/GNSS IN FASE DI ACQUISIZIONE DEL VERTICE NOR300 NELLA PIAZZA S.BENEDETTO.	124

FIGURA 69: SCHEMA DELLA RETE DI INQUADRAMENTO REALIZZATA PER IL RILIEVO DELLA FORTEZZA DELLA CASTELLINA.	124	FIGURA 84: ALLINEAMENTO PER FORMA DELLE SCANSIONI DELLA "PIAZZA_1" E RELATIVO REPORT – FARO SCENE.	137
FIGURA 70: FASE DI COLLIMAZIONE DEI TARGET CON STAZIONE TOTALE ED ESEMPIO DI TARGET POSIZIONATI SULLE FACCIATE DELL'EDIFICATO DELLA ZONA ROSSA.	125	FIGURA 85: ALLINEAMENTO PER FORMA DELLE SCANSIONI DELLA "PIAZZA_2" E RELATIVO REPORT – FARO SCENE.	138
FIGURA 71: TARGET UTILIZZATI PER IL RILIEVO AEROFOTOGRAMMETRICO DEL DRONE EBEE.	126	FIGURA 86: ALLINEAMENTO PER TARGET DELLE SCANSIONI UNITE DELLA "PIAZZA_1" E "PIAZZA_2" CON RELATIVO REPORT – FARO SCENE.	139
FIGURA 72: OVERLAPPING DEI FOTOGRAMMI SCATTATI DAL DRONE EBEE.	127	FIGURA 87: VISTA DELLE SCANSIONI LIDAR UNITE DELLA PIAZZA S.BENEDETTO – FARO SCENE.	139
FIGURA 73: IMMAGINE RAFFIGURANTE IL DRONE UAV EBEE CLASSIC DELL'AZIENDA SENSEFLY.	128	FIGURA 88: NUVOLA DI PUNTI RADA DELLA PIAZZA S.BENEDETTO DI NORCIA, 497.585 PUNTI – AGISOFT PHOTOSCAN.	141
FIGURA 74: SIMULAZIONE DEL PIANO DI VOLO EBEE REALIZZATO PER IL RILIEVO DELLA CITTÀ DI NORCIA.	129	FIGURA 89: NUVOLA DI PUNTI Densa DELLA PIAZZA S.BENEDETTO DI NORCIA, 10.444.874 PUNTI – AGISOFT PHOTOSCAN.	141
FIGURA 75: FASE DI LANCIO DEL DRONE EBEE.	129	FIGURA 90: MESH MODELLO POLIGONALE DELLA PIAZZA S.BENEDETTO DI NORCIA – AGISOFT PHOTOSCAN.	142
FONTE: TEAM DIRECT POLITECNICO DI TORINO.	129	FIGURA 91: MODELLO TEXTURIZZATO DELLA PIAZZA S.BENEDETTO DI NORCIA – AGISOFT PHOTOSCAN.	142
FIGURA 76: IMMAGINE RAFFIGURANTE IL MINIDRONE SPARK DELL'AZIENDA DJI.	130	FIGURA 92: POSIZIONE DEI FOTOGRAMMI E COLLEGAMENTI E CORRISPONDENZA FRA DI ESSI – PIX4DMAPPER	143
FIGURA 77: ESEMPIO DI RILIEVO FOTOGRAMMETRICO CON IL DRONE SPARK DJI DELLA FORTEZZA DELLA CASTELLINA. IN PARTICOLARE VOLO NADIRALE (SINISTRA) E VOLI ORBITALI (DESTRA).	131	FIGURA 93: DSM GENERATO PRIMA DELLA DENSIFICAZIONE DELLA NUVOLA – PIX4DMAPPER	144
FIGURA 78: POSIZIONAMENTO DEI LASER SCANNER DA CUI SONO STATE ESEGUITE LE SCANSIONI.	132	FIGURA 94: ORTOMOSAICO GENERATO DOPO LA DENSIFICAZIONE DELLA NUVOLA – PIX4DMAPPER	144
FIGURA 79: SCHEMA CHE ILLUSTRRA IL METODO DI MISURAZIONE DEL LASER SCANNER FARO MODELLO CAM2 FOCUS 350.	133	FIGURA 95: GENERAZIONE DEL DTM DAL COMANDO SURVEYING/GROUND EXTRACTOR – 3DRESHAPER.	146
FIGURA 80: IMMAGINE RAFFIGURANTE LO STRUMENTO LASER SCANNER FARO MODELLO FOCUS 3D 120.	133	FIGURA 96: GENERAZIONE DELLE CUDI LIVELLO DAL COMANDO SURVEYING/CONTOURN LINES – 3DRESHAPER.	146
FIGURA 81: SISTEMA ZEB REVO RT.	134	FIGURA 97: SOVRAPPOSIZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI SPARK AL DTM – 3DRESHAPER	147
FIGURA 82: ESEMPIO DI NUVOLE DI PUNTI GENERATE DALLO STRUMENTO ZEB REVO RT RELATIVO AD UNA PARTE DELLA ZONA ROSSA DI NORCIA (TRE MISSIONI DI SCANSIONI UNITE) – 3DRESHAPER.	135	FIGURA 98: SOVRAPPOSIZIONE DELLE NUVOLE DI PUNTI SPARK ED EBEE AL DTM – 3DRESHAPER	147
FIGURA 83: AVVICINAMENTO MANUALE DELLE SCANSIONI DELLA PIAZZA S.BENEDETTO DI NORCIA – FARO SCENE.	137		

FIGURA 99: URBANBIM DI NORCIA, LOD 1 – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	154	FIGURA 112: INSERIMENTO DEI LIVELLI NELLA VISTA DI SEZIONE RAFFIGURANTE LA FACCIATA PRINCIPALE DELLA CASTELLINA – AUTODESK REVIT 2017.	166
FIGURA 100: URBANBIM DI NORCIA, LOD B-C – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	154	FIGURA 113: COSTRUZIONE DEI CONTORNI CHIUSI DELLE MASSE RELATIVE ALLE TORRI E AL COMPLESSO CENTRALE DELLA CASTELLINA – AUTODESK REVIT 2017.	168
FIGURA 101: URBANBIM DI NORCIA, LOD D – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	154	FIGURA 114: MODIFICA DELLA MASSA CENTRALE DEL COMPLESSO CON L’INSERIMENTO DI UN VUOTO CENTRALE IN CORRISPONDENZA DEL CHIOSTRO – AUTODESK REVIT 2017.	168
FIGURA 102: ESEMPIO DI FINESTRA PARAMETRICA A DUE ANTE MESSA A DISPOSIZIONE NELLE FAMIGLIE DI SISTEMA DI REVIT – AUTODESK REVIT 2017	157	FIGURA 115: GENERAZIONE DELLE MASSE CONCETTUALI DELLA CASTELLINA IN RAPPORTO CON LA NUVOLA DI PUNTI – AUTODESK REVIT 2017.	169
FIGURA 103: FILE DWG DELLE CURVE DI LIVELLO DEL TERRENO DI NORCIA (SINISTRA) E METODO DI IMPORTAZIONE DELLO STESSO, CON RELATIVI SETTAGGI, IN AMBIENTE REVIT (DESTRA) – AUTODESK REVIT 2017.	159	FIGURA 116: VISTA ASSONOMETRICA DEL MODELLO DELLE MASSE DELLA CASTELLINA – AUTODESK REVIT 2017.	169
FIGURA 104: PALETTE DEI COMANDI PER LA GENERAZIONE DI UNA SUPERFICIE TOPOGRAFICA A PARTIRE DA UN FILE DWG COLLEGATO – AUTODESK REVIT 2017.	160	FIGURA 117: CONFIGURAZIONE DEL MURO DELLA CASTELLINA CON I RELATIVI PARAMETRI ED ESEMPIO DI CONCATENAMENTO DEI MURI DELLA TORRE COSTRUITI A PARTIRE DA ASSI NON ALLINEATI – AUTODESK REVIT 2017.	170
FIGURA 105: VISTA ASSONOMETRICA DEL MODELLO DEL TERRENO DI NORCIA – AUTODESK REVIT 2017.	160	AUTODESK REVIT 2017.	171
FIGURA 106: INDIVIDUAZIONE ED INSERIMENTO DELLE COORDINATE DEL PBP (A) E CONSEGUENTE SPOSTAMENTO DEL PBP NEL PUNTO DI ORIGINE DEL PROGETTO DI REVIT DI COORDINATE 0,0,0 (B) – AUTODESK REVIT 2017.	161	FIGURA 119: VISTA ASSONOMETRICA RAPPRESENTANTE I MURI DELLA FORTEZZA GENERATI A PARTIRE DA UNA SUPERFICIE – AUTODESK REVIT 2017.	172
FIGURA 107: INSERIMENTO LOCALITÀ DI PROGETTO IN REVIT.	162	FIGURA 120: VISTA DI SEZIONE DELLA FORTEZZA PER LA GENERAZIONE DEL PORTICO DEL CHIOSTRO INTERNO – AUTODESK REVIT 2017.	172
FIGURA 108: MODELLO DEL TERRENO DI NORCIA – AUTODESK REVIT 2017.	163	FIGURA 121: VISTA DI SEZIONE DELLA MANICA SUD-OVEST DELLA FORTEZZA CON L’INDIVIDUAZIONE DEI TETTI CREATI – AUTODESK REVIT 2017.	173
FIGURA 109: MODELLO DEL TERRENO DI NORCIA CON SOVRAPPOSIZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI COMPLETA – AUTODESK REVIT 2017.	163	FIGURA 122: VISTA ASSONOMETRICA DEL MODELLO BIM DELLA FORTEZZA COMPOSTO DA ELEMENTI MURARI COPERTURE, CON INDIVIDUAZIONE DEI TETTI DELLA MANICA SUD-OVEST – AUTODESK REVIT 2017.	173
FIGURA 110: VISTA DELLA NUVOLA DI PUNTI COMPLETA DI NORCIA GENERATA DALL’UNIONE DELLA NUVOLA GENERATA DAL VOLO EBEE E DAL VOLO SPARK DJI – AUTODESK RECAP.	164	FIGURA 123: INSERIMENTO DELLE QUOTE E GENERAZIONE DEI VINCOLI – AUTODESK REVIT 2017.	176
FIGURA 111: INSERIMENTO DI ASSI FISSI E GRIGLIE NELLA VISTA PLANIMETRICA DELLA NUVOLA DI PUNTI DELLA CASTELLINA – AUTODESK REVIT 2017.	166		

FIGURA 124: GENERAZIONE ED INSERIMENTO DI NUOVI PARAMETRI DEL PORTALE – AUTODESK REVIT 2017.	176	FIGURA 136: VISTA ASSONOMETRICA DELL'EDIFICIO 2 E SOVRAPPOSIZIONE DEL MODELLO BIM CON LA NUVOLA DI PUNTI – AUTODESK REVIT 2017.	186
FIGURA 125: ESEMPIO DEGLI ELEMENTI DA CUI È COMPOSTA LA FINESTRA A: CORNICE (A), VETRO (B), TELAIO FISSO E MOBILE (C), GRATE (D) – AUTODESK REVIT 2017.	178	FIGURA 137: LOCALIZZAZIONE EDIFICIO 30, OVVERO LA BASILICA DI S.BENEDETTO, E PORZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI GENERATA DAL VOLO EBEE E SPARK CHE EVIDENZIA I PRINCIPALI CROLLI DEL COMPLESSO – AUTODESK REVIT 2017.	187
FIGURA 126: GENERAZIONE DEL NUOVO TIPO DI FAMIGLIA FINESTRA A (100X170 CM) – AUTODESK REVIT 2017.	178	FIGURA 138: VISTA DI SEZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI CHE HA PERMESSO LA COSTRUZIONE DEL MURO CROLLATO DELLA NAVATA PRINCIPALE DELLA BASILICA DI S. BENEDETTO – AUTODESK REVIT 2017.	188
FIGURA 127: VISTA ASSONOMETRICA DELLA FORTEZZA DELLA CASTELLINA E SOVRAPPOSIZIONE DEL MODELLO BIM CON LA NUVOLA DI PUNTI.	179	FIGURA 140: VISTA ASSONOMETRICA DELLA BASILICA DI S. BENEDETTO E SOVRAPPOSIZIONE DEL MODELLO BIM ALLA NUVOLA DI PUNTI – AUTODESK REVIT 2017.	189
FIGURA 128: VISTA ASSONOMETRICA DEL MODELLO BIM DELLA FORTEZZA DELLA CASTELLINA.	179	FIGURA 139: SEZIONE A-A' CON IN EVIDENZA IL MURO CROLLATO DELLA NAVATA PRINCIPALE DELLA BASILICA DI S.BENEDETTO – AUTODESK REVIT 2017.	189
FIGURA 129: A SINISTRA LA NUVOLA DI PINTI COMPLETA DELLA CITTÀ DI NORCIA, MENTRE A DESTRA IL RITAGLIO RELATIVO ALLA ZR – AUTODESK REVIT 2017.	180	FIGURA 141: PROBLEMA DI UNIONE TRA PARETI CHE PRESENTANO ASSI DIFFERENTI – AUTODESK REVIT 2017.	191
FIGURA 130: LOCALIZZAZIONE DELL'INSIEME DI EDIFICI UBICATI IN VIA LEGNANO (SINISTRA) E PORZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI GENERATA DAL VOLO EBEE CHE EVIDENZIA LA MANCANZA DI DATI RELATIVI AI FRONTI DI TALI EDIFICI (DESTRA).	182	FIGURA 142: SCHEMA RELATIVO ALL'UTILIZZO DEL SOFTWARE INFRAWORKS COME PIATTAFORMA IN GRADO DI OSPITARE DIVERSI FORMATI UTILI ALLA GENERAZIONE DELL'URBANBIM DI NORCIA.	193
FIGURA 131: SEZIONE SU VIA LEGNANO CHE MOSTRA I PROSPETTI DEI MODELLI 3D DEGLI EDIFICI.	183	FIGURA 143: GENERAZIONE DELL'AMBIENTE DI LAVORO RELATIVO AL TERRITORIO DI NORCIA TRAMITE LA FUNZIONALITÀ MODEL BUILDER – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	194
FIGURA 132: VISTA ASSONOMETRICA DEI MODELLI 3D DEGLI EDIFICI CON SOVRAPPOSIZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI.	183	FIGURA 144: SOVRAPPOSIZIONE TRA IL MODELLO DEL TERRENO GENERATO CON INFRAWORKS E QUELLO GENERATO CON REVIT, ED INDIVIDUAZIONE DEL PBP – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	195
FIGURA 133: LOCALIZZAZIONE DELL'EDIFICIO 2 UBICATO IN VIA SOLFERINO (SINISTRA) E PORZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI GENERATA DAI VOLI EBEE E SPARK CHE BEN EVIDENZIA GLI ELEMENTI ARCHITETTONICI PRESENTI SUI FRONTI (DESTRA).	184	FIGURA 145: REALIZZAZIONE DEL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO ALL'INTERNO DEL SOFTWARE QGIS – QGIS 2.18.19.	196
FIGURA 135: PROSPETTO SUD DELL'EDIFICIO 2 SUL QUALE SONO STATI INDIVIDUATI E POI MODELLATI GLI ELEMENTI DI PORTE, FINESTRE, VETRINE E BALCONI – AUTODESK REVIT 2017.	186	FIGURA 146: ORTOFOTO GENERATA A PARTIRE DAI DATI FORNITI DA BING MAPS E SOVRAPPOSIZIONE AL TERRENO –	197

AUTODESK INFRAWORKS 2018.	197	GENERATO IN QGIS SULLA BASE DEI DATI	
FIGURA 147: ORTOFOTO GENERATA A PARTIRE DAI DATI		ACQUISITI DALLA CAMPAGNA DI RILIEVO 3D	
ACQUISITI DALLA FOTOGRAMMETRIA AEREA		(DESTRA) – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	204
(VOLO EBEE) E SOVRAPPOSIZIONE AL TERRENO –		FIGURA 156: UTILIZZO DEL COMANDO “TERRENO DA	
AUTODESK INFRAWORKS 2018.	197	NUVOLA DI PUNTI” APPLICATO ALLA NUVOLA DI	
FIGURA 148: ESEMPIO DI COME IL SOFTWARE		PUNTI DELLA PIAZZA S.BENEDETTO (SINISTRA) E	
INFRAWORKS SEMPLIFICA LA RAPPRESENTAZIONE		ALLA NUVOLA COMPLETA DELLA CITTÀ DI NORCIA	
DIGITALE DEGLI EDIFICI – AUTODESK INFRAWORKS		(DESTRA) – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	205
2018.	198	FIGURA 157: VISTA SUD DEL MODELLO URBANBIM	
FIGURA 149: VISTA ASSONOMETRICA DEL MODELLO		DELLA CITTÀ DI NORCIA – AUTODESK	
VOLUMETRICO GENERATO CON INFRAWORKS ED		INFRAWORKS 2018.	206
ASSEGNAZIONE DI TEXTURES DI DEFAULT ALLE		FIGURA 158: ESEMPIO DI FOTOGRAMMA GENERATO	
SUPERFICI DEGLI EDIFICI – AUTODESK		DAL VOLO NADIRALE EBEE (SINISTRA) E DI	
INFRAWORKS 2018.	199	FOTOGRAMMA GENERATO DAL VOLO INCLINATO	
FIGURA 150: VISTA ASSONOMETRICA DEL MODELLO		A 45° SPARK DJI (DESTRA).	211
VOLUMETRICO GENERATO CON INFRAWORKS E		FIGURA 159: ORTOFOTO GENERATA A PARTIRE DAL	
SUCCESSIVA ELIMINAZIONE DEGLI EDIFICI UBICATI		VOLO EBEE DELLA ZR DI NORCIA CON	
NELLA ZR – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	199	NUMERAZIONE EDIFICI ED INDIVIDUAZIONE DEL	
FIGURA 151: VISTA DALL’INTERNO DEL PALAZZO		LIVELLO DI DANNO IN CUI VERTONO GLI STESSI	
COMUNALE CHE PERMETTE DI NOTARE COME IL		SECONDO LA CLASSIFICAZIONE FORNITA DA	
MATERIALE “VETRO”, APPLICATO IN REVIT, ABBIA		COPERNICUS EMS.	212
MANTENUTO LE STESSA PROPRIETÀ IN		FIGURA 160: INDIVIDUAZIONE DEI CROLLI SUBITI DALLA	
INFRAWORKS – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	200	CHIESA DI S.MARIA ARGENTEA DA IMMAGINE	
FIGURA 152: EDIFICIO 75 CORRETTAMENTE		NADIRALE DEL VOLO EBEE (SINISTRA) E DA	
GEOREFERITO ALL’INTERNO DELL’URBANBIM DI		NUVOLA DI PUNTI UNITA DEL VOLO EBEE E SPARK	
NORCIA –	201	DJI (DESTRA).	213
AUTODESK INFRAWORKS 2018.	201	FIGURA 161: INDIVIDUAZIONE DEI DANNI SUBITI DA	
FIGURA 153: CONFIGURAZIONE DELL’EDIFICIO 75 E SUA		UNA PORZIONE DELLE MURA SUD DELLA CITTÀ DI	
GEOREFERENZIAZIONE SECONDO LE COORDINATE		NORCIA DA IMMAGINE NADIRALE DEL VOLO EBEE	
DEL PBP INDIVIDUATO SULLO SFONDO		(SINISTRA) E DA NUVOLA DI PUNTI UNITA DEL	
DALL’INCROCIO DEI TRE ASSI CARTESIANI –		VOLO EBEE E SPARK DJI (DESTRA).	214
AUTODESK INFRAWORKS 2018.	201	FIGURA 162: INDIVIDUAZIONE DELLE ASSENZE	
FIGURA 154: VISTA DELLA PIAZZA DI S.BENEDETTO		MATERICHE PRESENTI SULLA COPERTURA DEL	
ALL’INTERNO DEL MODELLO URBANBIM DI		CHIOSTRO INTERNO DELLA CASTELLINA DA	
NORCIA CHE MOSTRA LA CORRETTA		IMMAGINE NADIRALE DEL VOLO SPARK DJI	
GEOREFERENZIAZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI,		(SINISTRA) E DA NUVOLA DI PUNTI UNITA DEL	
DEI MODELLI BIM E DEL TERRENO – AUTODESK		VOLO EBEE E SPARK DJI (DESTRA).	214
INFRAWORKS 2018.	202	FIGURA 163: INTERROGAZIONE DEL MODELLO	
FIGURA 155: NUVOLA DI PUNTI GENERATA DAL VOLO		URBANBIM DI NORCIA CHE INDIVIDUA LA ZR E	
SPARK IMPORTATA IN INFRAWORKS SUL DTM		L’ESPRESSIONE UTILIZZATA PER RAGGIUNGERE	
CREATO DAL MODEL BUILDER (SINISTRA) E STESSA		TALE SCOPO – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	216
NUVOLA DI PUNTI IMPORTATA SUL DTM			

FIGURA 164: INTERROGAZIONE DEL MODELLO URBANBIM DI NORCIA CHE INDIVIDUA TUTTI GLI EDIFICI DELLA ZR CHE HANNO SUBITO DEI DANNI VISIBILI DA UAV E L'ESPRESSIONE UTILIZZATA PER RAGGIUNGERE TALE SCOPO – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	216	FIGURA 170: EDIFICIO 49 DEL MODELLO URBANBIM DI NORCIA PRE INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SISMICO – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	222
FIGURA 165: INDIVIDUAZIONE DI TUTTI GLI EDIFICI DELLA ZR CHE HANNO SUBITO DEI DANNI VISIBILI DA UAV – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	218	FIGURA 171: EDIFICIO 49 DEL MODELLO URBANBIM DI NORCIA POST INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SISMICO – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	222
FIGURA 166: INDIVIDUAZIONE DEGLI EDIFICI “DISTRUTTI” ALL’INTERNO DEL MODELLO URBANBIM DI NORCIA (SINISTRA) E RELATIVO ZOOM SULLA CHIESA DI S.MARIA ARGENTEA (DESTRA) – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	220	FIGURA 172: INTERROGAZIONE DEL MONUMENTO DELLA CASTELLINA – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	223
FIGURA 167: INDIVIDUAZIONE DEGLI EDIFICI “DANNEGGIATI” ALL’INTERNO DEL MODELLO URBANBIM DI NORCIA (SINISTRA) E RELATIVO ZOOM SUGLI EDIFICI ADIACENTI ALLE MURA (DESTRA) – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	220	FIGURA 173: ESEMPIO DI LINGUAGGIO HTML PER L’INSERIMENTO DELLE INFORMAZIONI LEGATE AL MONUMENTO DELLA CASTELLINA – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	224
FIGURA 168: INDIVIDUAZIONE DEGLI EDIFICI “LIEVEMENTE DANNEGGIATI” ALL’INTERNO DEL MODELLO URBANBIM DI NORCIA (SINISTRA) E RELATIVO ZOOM SULLA FORTEZZA DELLA CASTELLINA (DESTRA) – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	220	FIGURA 174: INTERROGAZIONE DELLA BASILICA DI S.BENEDETTO – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	224
FIGURA 169: QUADRO RIEPILOGATIVO DELLE DOMANDE DI DANNO PESANTE ABITATIVO RICEVUTE AL 15 OTTOBRE 2018 DALL’USR UMBRIA, SUDDIVISE PER COMUNE.	221	FIGURA 175: ESEMPIO DI SAE IN FASE DI REALIZZAZIONE NEL COMUNE NURSINO.	225
		FIGURA 176: VISTE DELL’AREA A SUD DELLA CITTÀ DI NORCIA PRE E POST REALIZZAZIONE DELLE SAE – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	226
		FIGURA 177: VISTA EST DEL MODELLO URBANBIM DI NORCIA – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	228
		FIGURA 178: VISTA SUD DELLA ZONA ROSSA DELLA CITTÀ DI NORCIA – AUTODESK INFRAWORKS 2018.	230

INDICE DELLE TABELLE

- **Tabella 1:** Le sei caratteristiche smart identificate dall'Università di Tecnologia di Vienna.
- **Tabella 2:** Classifica Generale iCity Rate prodotta da FPA Digital 360.
- **Tabella 3:** Classificazione LOD secondo la UNI 11337:2017 e secondo la PAS 1192-2:2013.
- **Tabella 4:** Classificazione degli UAVs Tactic a cura della Unmanned Vehicle Systems International Association, con evidenziazione delle sottocategorie Micro e Mini.
- **Tabella 5:** Numero degli Indicatori della ISO 37120:2018 classificati per Temi.
- **Tabella 6:** Manifesto per la ricostruzione di Norcia, estratto dal Nuovo PRG di Norcia PT.01.
- **Tabella 7:** Manifesto per la ricostruzione di Norcia, estratto dal Nuovo PRG di Norcia PT.08.
- **Tabella 8:** Manifesto per la ricostruzione di Norcia, estratto dal Nuovo PRG di Norcia IG.01.
- **Tabella 9:** Manifesto per la ricostruzione di Norcia, estratto dal Nuovo PRG di Norcia IG.03.
- **Tabella 10:** Le tre Famiglie di finestre create in Revit per la realizzazione della Fortezza della Castellina.
- **Tabella 11:** Livello di danno individuato da UAV e attribuito in Infracore agli edifici della ZR.

Il presente Manifesto è una rielaborazione effettuata per questo lavoro di tesi tratta dal Nuovo PRG di Norcia – Parte Strutturale, Aprile 2019.

<p>PT.01 Norcia Città Sicura</p> <p><i>La sicurezza. Essenziale per il nostro patrimonio immobiliare. Il terremoto nella nostra terra non è un caso, né un incidente di percorso e né tanto meno qualcosa da nascondere a noi stessi. Dobbiamo ricostruire con la consapevolezza che le nostre case, chiese ed edifici pubblici, dovranno poterci difendere dal terremoto. Dovremmo poter dire: a Norcia, si è sicuri! Per poterlo fare, dobbiamo spendere quanto più diligentemente possibile le risorse economiche che ci verranno messe a disposizione; attivare virtuosi processi di conoscenza delle caratteristiche sismiche dei nostri suoli anche al di là degli strumenti e delle norme ora disponibili. Dobbiamo spingere tutti, istituzioni, professionisti, imprese e cittadini, ciascuno per le proprie competenze, verso un processo di responsabilizzazione all'uso delle nuove tecniche e tecnologie di ricostruzione e monitoraggio. E dobbiamo comunque attrezzarci con spazi che, qualora dovessero servirci, possano facilmente accogliere attività e necessità legate dell'emergenza. Si può fare. Lo dobbiamo fare!</i></p>	<p>PT.06 Norcia Città Inclusiva</p> <p><i>Gli anziani. Il nostro esempio, la testimonianza di resistenza ai terremoti, di tenacia e coraggio. Loro hanno tracciato la strada nel 1979. Dobbiamo sentirci tutti impegnati a restituirgli, presto, le case. Oggi temono di finire i giorni terreni senza esserci rientrati. Case che oggi dovremo progettare con spazi tali da garantire nel tempo una corretta deambulazione. Non può però esaurirsi qui la mission della ricostruzione per gli anziani e le persone più deboli. Una città europea dovrà preoccuparsi di creare spazi dove i nostri "vecchi", uomini e donne, possano mettere a disposizione le proprie esperienze, interagire con le nuove generazioni per raccontare, dare testimonianza, trasmettere il preziosissimo patrimonio di competenze antiche e autentiche e l'amore per questa terra. I centri sociali che abbiamo pensato di realizzare dovranno essere luoghi di incontro e socializzazione, come pure gli impianti sportivi creati per i giovani. Il tempo e la pazienza degli anziani potranno essere preziosi per la custodia e conservazione dei nuovi impianti. L'energia dei ragazzi sarà determinante per la qualità di vita di coloro che vi entreranno in contatto. La sfida sarà pertanto quella di ricostruire una città davvero inclusiva, capace di garantire un giusto rapporto persona/ambiente e far sentire tutti partecipi della costruzione di una comunità accogliente e solidale.</i></p>
<p>PT.02 Norcia Città del Paesaggio</p> <p><i>Il Paesaggio rappresenta un grande valore, è la nostra risorsa più preziosa e delicata. Abbiamo la grande responsabilità di trasmetterla in perfetto stato alle generazioni che verranno! Vivere a Norcia dopo la ricostruzione dovrà significare vivere in una città aperta, fruibile a tutti, in cui la qualità della vita dovrà essere di alto livello. Dovremo sentirci impegnati non solo a riqualificare gli edifici ma anche gli spazi privati adiacenti, il verde pubblico e privato, il recupero delle siepi e dei filari nelle strade di campagna e più in generale, alla riqualificazione del paesaggio rurale. Particolare attenzione dovremo riservare agli arredi urbani che qualificano il paesaggio costruito, uniformando per questi design, materiali, colori e semplificando le procedure autorizzative. Nel Progetto di Riqualificazione delle aree dell'emergenza e Pianificazione dei nuovi spazi, il tema della riduzione del consumo di suolo e della semplificazione, perseguito e praticato già in fase di adozione del nuovo PRG, risulterà determinante. La città dovrà prepararsi alla cura del particolare nella consapevolezza che ognuno di noi può partecipare alla qualificazione e valorizzazione del paesaggio, dai più rilevanti interventi di ricostruzione e riqualificazione, fino a quegli aspetti che possono sembrare secondari ma che fanno la differenza. Si pensi ad una tavola imbandita: sono i particolari che la rendono più bella e più ricca. Qualità dovrà essere ovunque la parola d'ordine!</i></p>	<p>PT.07 Norcia Città del Prodotto Autentico</p> <p><i>Non è più il tempo di parlare solo di tipicità, dovremo essere creatori di prodotti Autentici (es.: la lenticchia, 'lenta', di Castelluccio, i salumi e i formaggi di Norcia,...). Il recupero di antichi mestieri ed allevamenti 4.0, materiali da costruzione in linea con le nuove biotecnologie, bilancio energetico positivo, cura degli ambienti interni ed esterni, spazi di accoglienza e degustazione, evoluzione del concetto di museo antropologico quale fonte di un benessere anch'esso autentico, dovranno trovare concreta ispirazione anche e soprattutto negli ambienti delle aziende che andremo a ricostruire. Un futuro nel solco della tradizione si prepara predisponendo spazi di espressione dei valori e dell'identità aziendale, comunicata da personale appositamente formato, trasformando le reception in space planning delle aree di lavoro. Una zona più ampia dedicata alle attività di comunicazione e riunione per la visione di filmati emozionali e/o slide show che raccontino le loro storie (come ad esempio hanno superato il terremoto) con l'apertura di "finestre" sugli spazi di produzione. Questo dovrebbe divenire il trend delle nuove progettazioni. Abbiamo l'occasione di ricostruire secondo questa visione, di inquadrare in una complessiva operazione di riqualificazione architettonica, ambientale e paesaggistica, le aree produttive che possono diventare così luoghi accoglienti ed esemplari dell'evoluzione sostenibile delle nostre tradizioni più autentiche.</i></p>
<p>PT.03 Norcia Città dei Castelli</p> <p><i>275 kmq di territorio, 25 frazioni, tanti nuclei e case sparse! Un'enorme ricchezza e potenzialità ancora tutta da sviluppare. Borghi diffusi, panorami mozzafiato, casolari dal sapore antico ed aziende agricole all'avanguardia. Innovazione e Tradizione, cura degli spazi pubblici e privati, dovranno essere le parole d'ordine della Ricostruzione anche nei nostri piccoli centri abitati. Punti di ristoro e degustazione dei nostri prodotti dovranno qualificare l'offerta ai tanti che da tutto il mondo giungono nella nostra città per percorrere sentieri suggestivi e farsi "rapire" dal nostro ambiente. Ogni frazione sarà chiamata a fare proprie le indicazioni di questo documento, per rendere i nostri paesaggi sempre più belli e accoglienti.</i></p>	<p>PT.08 Norcia Città Smart</p> <p><i>Una città "intelligente" per una comunità "smart". Il cittadino al centro del sistema dei servizi. Una città nuova dovrà essere anche innovativa. La capacità di innovare nel solco della tradizione dovrà essere caratteristica fondamentale del sistema dei servizi alla persona, aziendali, pubblici e turistici. Con la fibra aumenteranno le opportunità di connessione tra P.A. e cittadini. Avremo una smart grid al servizio della quotidianità, attraverso la quale poter disporre di sistemi di domotica in tutti gli edifici, di servizi di ricarica di automobili e "device" diffusi sul territorio. Tutte le nostre case dovranno essere predisposte per l'ingresso e la distribuzione della fibra e favorire l'interconnessione, mediante canalizzazioni interne. Efficientamento energetico, qualità dell'aria, qualità delle acque, monitoraggio delle strutture, videosorveglianza, BigData, mobilità dolce,</i></p>

<p>PT.01 Norcia Città Sicura</p>	<p>PT.06 Norcia Città Inclusiva</p> <p><i>fibra e 5G, sono temi che dovranno essere presi in considerazione da ogni tecnico in coerenza con il più ampio concetto di città smart.</i></p>
<p>PT.04 Norcia Città di San Benedetto</p> <p><i>La Basilica di San Benedetto rappresenta certamente il Simbolo delle nostre radici e dovrà essere ricostruita dov'era prima, com'era prima, più sicura di prima. Da quando Paolo VI ha proclamato San Benedetto "Patrono principale d'Europa", non abbiamo mai smesso di sottolineare che i soli valori politici ed economici, non possono essere sufficienti per far battere all'unisono i cuori dei cittadini europei. Occorrono radici solide; siamo certi che in San Benedetto e nell'opera dei suoi monaci possiamo trovare le nostre radici identitarie. Oggi l'Europa guarda a Norcia ed al suo figlio prediletto con molto interesse. Chi arriverà a Norcia dovrà respirare "aria d'Europa" in ogni dove. Il progetto dei giovani del Corpo di Solidarietà Europeo, presenti ormai ogni anno nella nostra città, potrà contribuire a fare di Norcia la Capitale Europea della Solidarietà.</i></p>	<p>PT.09 Norcia Città del Benessere</p> <p><i>L'indice di BES (Benessere Equo e Sostenibile) misura non solo la crescita economica, ma anche la qualità della vita di un Paese. Stiamo lavorando insieme ai Comuni delle Aree Interne ad un unico sistema della scuola, della sanità e dei trasporti.</i></p> <p><i>Una idonea, adeguata risposta alle domande dei nostri cittadini più deboli (non autosufficienti e diversamente abili), deve rappresentare una priorità dell'intera comunità norcina e caratterizzare la sistemazione di spazi e servizi pubblici e privati per assicurare accessibilità e fruibilità in condizioni di sicurezza e comfort. Il sistema dei trasporti dovrà trovarci tutti impegnati, a partire dalla Pubblica Amministrazione, nell'abbracciare la mobilità dolce che dovrà caratterizzare gli spostamenti sul territorio, anche quelli verso Castelluccio. La circolazione e la sosta delle auto nel centro storico, come la logistica a servizio delle attività economiche, dovranno essere ripensate. Disponiamo oggi di tutte le tecnologie per farlo. Occorre un approccio culturale adeguato, solidale, sostenibile e innovativo. La genuinità del cibo, un ambiente salvaguardato e reso bello dai nuovi insediamenti della ricostruzione, una agricoltura che riavvicini tutti noi ad un rapporto migliore con la natura, un paesaggio curato, accogliente e riconoscibile, dovranno costituire caratteristica fondante del nuovo modello di vivibilità per noi e per quanti ci verranno a visitare.</i></p>
<p>PT.05 Norcia Città per i Giovani</p> <p><i>Viviamo un'epoca in cui le nostre migliori risorse lasciano l'Italia per trovare importante valorizzazione all'estero. Con la Ricostruzione dovremmo poter dire ai nostri giovani che questa terra, la loro terra, può costituire l'opportunità che cercano lontano da qui. Stiamo preparando spazi di relazione, impianti sportivi, il rinnovo del plesso scolastico e delle aree pubbliche intorno; ed ancora "il progetto ARCA", fucina delle idee per la Norcia del futuro e luogo dove offrire ai nostri bambini, ragazzi ed alle loro famiglie il miglior supporto extrascolastico e ludico possibile. La visibilità mediatica avuta a causa degli eventi sismici, ha fatto della nostra Piazza il simbolo di questo dramma ma oggi anche simbolo della Ricostruzione. Ciò determinerà, a nostro avviso, l'arrivo di migliaia e migliaia di persone. Abbiamo bisogno di inventare nuovi e sempre più richiesti servizi attraverso specifica formazione e di consulenza, capace di supportare le aziende nei sempre più complessi percorsi di adesione ai finanziamenti della nuova programmazione regionale, nazionale e soprattutto europea. La nostra Scuola che, nonostante tutto, ha continuato a distinguersi per risultati didattici e organizzativi, ha avviato l'innovazione dei piani di studio in linea con le esigenze del territorio e per avvicinarci sempre più ai migliori modelli nazionali ed Europei, (ad es. un liceo che si completerà in soli 4 anni, la richiesta di un corso di studio sui 'Sistemi informatici aziendali').</i></p>	<p>PT.10 Norcia Città Resiliente</p> <p><i>La nostra comunità oggi ovunque è sinonimo di Resilienza. La capacità di adattarsi il più velocemente possibile al mutare delle condizioni e di saper reagire agli eventi, è divenuta caratteristica fondamentale di competitività di un territorio e componente essenziale dello sviluppo sostenibile. Ogni progetto di ricostruzione, pubblico e privato, dovrà essere immaginato con caratteristiche di estrema versatilità e compatibilità paesaggistico-ambientale ed energetica. La necessaria ripianificazione del territorio di Norcia e delle Frazioni, assicurerà il quadro di riferimento per rafforzare le capacità di flessibilità e sostenibilità del nostro ambiente di vita. Questa è la Norcia che vogliamo. Ricostruiamola insieme!</i></p>

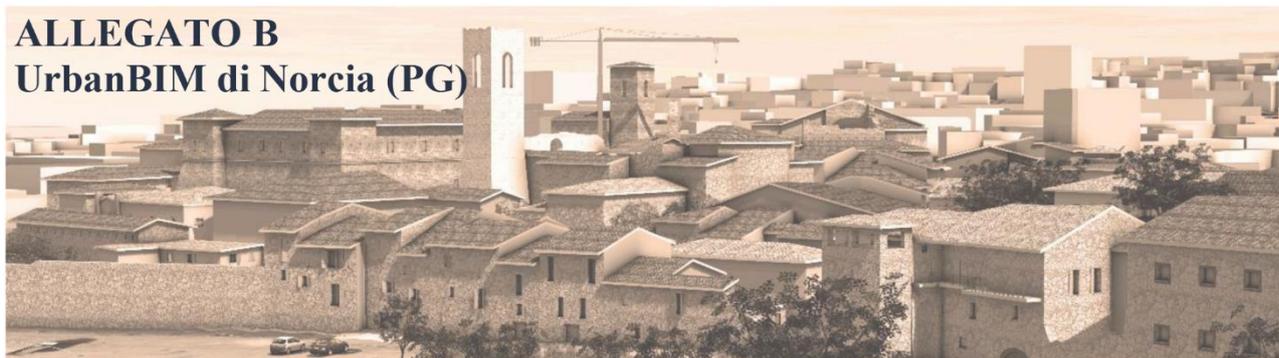
IG.nn	Indirizzi Generali	Op.n.nn Obiettivi di Piano
IG.01	<p>→ Ridurre i rischi naturali per la città e il territorio</p> <p>La riduzione dei rischi naturali dell'ambiente urbano e del territorio è un obiettivo primario per il DP del nuovo PRG di Norcia, insieme con gli obiettivi di sviluppo sostenibile, e si inserisce in un contesto di sempre maggiore consapevolezza delle importanti fragilità cui il Comune è sottoposto. Prima fra queste, anche a causa dei ripetuti eventi cui il territorio è stato colpito, quella relativa al rischio sismico.</p>	<p>Op.1.1. Definire le previsioni di crescita e sviluppo urbano in coerenza con gli strumenti di prevenzione multirischi.</p> <p>Op.1.2. Rafforzare la capacità di tenuta del capoluogo, delle frazioni e del territorio agli eventi sismici.</p> <p>Op.1.3. Incrementare le dotazioni di aree per usi di protezione civile nelle prossimità degli abitati, in coordinamento con il sistema delle infrastrutture e delle funzioni urbane.</p> <p>Op.1.4. Favorire interventi di rafforzamento sismico sulle parti di insediamento che interessano le connessioni strategiche.</p> <p>Op.1.5. Definire un programma per le zone instabili per il territorio.</p>
IG.02	<p>→ Tutelare e valorizzare le risorse ambientali e paesaggistiche di Norcia - Il sistema naturalistico</p> <p>La straordinaria ricchezza del palinsesto territoriale nursino in termini di valori naturalistico-ambientali si coniuga ad un altrettanto rilevante patrimonio storico e architettonico e il paesaggio che ne deriva, articolato in ambiti dalle caratteristiche e valenze differenziate, è oggetto di valorizzazione e tutela di importanza strategica per lo sviluppo del territorio. Gli obiettivi di tutela e valorizzazione delle risorse ambientali e paesaggistiche del territorio nursino vengono articolati con riguardo alle risorse naturalistiche, al sistema insediativo e al patrimonio</p>	<p>Op.2.1. Tutelare, salvaguardare e valorizzare le risorse del territorio che presentano più alti livelli di naturalità ai fini della prioritaria conservazione della biodiversità.</p> <p>Op.2.2. Assicurare lo svolgimento dei cicli biologici ed ecologici nel territorio e negli insediamenti.</p> <p>Op.2.3. Realizzare e mantenere la Rete Ecologica Locale.</p> <p>Op.2.4. Garantire il regolare deflusso delle acque superficiali e la caratterizzazione paesaggistica del reticolo idrografico.</p> <p>Op.2.5. Definire azioni per la riduzione degli inquinanti sulle aree interessate da vulnerabilità degli acquiferi.</p> <p>Op.2.6. Governare le aree boscate.</p> <p>Op.2.7. Favorire la manutenzione e la cura delle aree a pascolo.</p> <p>Op.2.8. Tutelare e salvaguardare gli ambienti di particolare valore geobotanico al fine di mantenere le attività agricole che vi si svolgono e di promuoverne la conoscenza anche attraverso la definizione di</p>
	<p>storico-culturale; al paesaggio e alla Rete Ecologica Locale.</p>	<p>modalità di gestione</p> <p>Op.2.9. Sostenere il mantenimento delle aree agricole per il notevole contributo fornito alla biodiversità ambientale e per sostenere e sviluppare a tecniche agronomiche compatibili.</p>
IG.03	<p>→ Tutelare e valorizzare le risorse ambientali e paesaggistiche di Norcia - Il sistema insediativo di impianto storico</p> <p>Gli obiettivi definiti dal DP per il sistema insediativo e il patrimonio storico-culturale, integrano gli obiettivi di ricostruzione, ripristino, consolidamento e riduzione della vulnerabilità del patrimonio stesso, sia alla scala edilizia che urbana e territoriale, con quelli di valorizzazione e rifunzionalizzazione per lo sviluppo.</p>	<p>Op.3.1. Salvaguardare e valorizzare la struttura insediativa storica del territorio, con particolare riferimento ai tessuti storici del capoluogo e delle frazioni, e al rapporto tra beni architettonici e storico-identitari e paesaggio.</p> <p>Op.3.2. Riqualificare e consolidare e le forme insediative presenti nello spazio rurale, con particolare attenzione ai Beni culturali ed edilizia rurale tipica, tenendo conto delle diverse situazioni ambientali in cui ricadono.</p> <p>Op.3.3. Recuperare e rifunzionalizzare il patrimonio edilizio rurale esistente, con riferimento alle opportunità in termini di ampliamento e cambio d'uso consentite dal T.U.</p> <p>Op.3.4. Promuovere la riqualificazione di aree ed edifici con particolari situazioni insediative nello spazio rurale che, per ubicazione, caratteri morfologici e ambientali e attività svolte, necessitano di attenzione dal punto di vista paesaggistico-ambientale.</p>

IG.nn	Indirizzi Generali	Op.n.nn Obiettivi di Piano
IG.04	<p>→ Tutelare e valorizzare le risorse ambientali e paesaggistiche di Norcia - Il Paesaggio</p> <p><i>Il Documento Programmatico assume il paesaggio come fondamentale risorsa per lo sviluppo e come indicatore della qualità del territorio e ne promuove la salvaguardia e la valorizzazione che, nel pieno rispetto di risorse e valori, integri conservazione e trasformazione all'interno del processo storico-culturale che ha formato l'attuale paesaggio del territorio nursino, esito anche dell'incessante processo di riparazione e ricostruzione che ciclicamente coinvolge le comunità i Norcia.</i></p> <p><i>Oltre agli obiettivi generali, il DP pone le basi per la definizione a livello di PRG di una disciplina di tutela, qualificazione, trasformazione e controllo del paesaggio; per questo individua e suddivide il territorio nursino in Paesaggi Locali (PL), intesi come unità elementari della struttura paesaggistica, sintesi delle caratteristiche ambientali e delle trasformazioni antropiche percepibili nel territorio.</i></p>	<p>Op.4.1. <i>Conservare e valorizzare la struttura paesaggistica del territorio, e il suo alto livello di qualità, in tutte le sue componenti connotative e in tutti i suoi valori identitari.</i></p> <p>Op.4.2. <i>Garantire e migliorare gli attuali livelli di biodiversità e favorire il funzionamento dei cicli biologici.</i></p> <p>Op.4.3. <i>Mantenere e valorizzare la connessione fra aree agricole e gli insediamenti rurali e urbani, rafforzare l'equilibrio ecologico-ambientale del mosaico paesaggistico, migliorando le relazioni percettive..</i></p> <p>Op.4.4. <i>Garantire, negli interventi edilizi ammessi nello spazio rurale, il livello minimo dell'effetto di frammentazione della trama agricola e il corretto inserimento paesaggistico.</i></p> <p>Op.4.5. <i>Integrare azioni di salvaguardia e conservazione con azioni di valorizzazione attiva e trasformazione del territorio nursino nel quadro del processo di ricostruzione e delle opportunità di miglioramento paesaggistico promosse dalla L.R. n. 8/2018.</i></p> <p>Op.4.6. <i>Riqualificare le situazioni di aggressione del paesaggio e definire le regole di intervento sui detrattori.</i></p> <p>Op.4.7. <i>Recuperare e rivitalizzare il patrimonio edilizio nello spazio rurale, come componente dei paesaggi nursini e come importante risorsa per ampliare l'offerta di siti e luoghi di particolare pregio da destinare ad usi compatibili, cin riguardo alla residenza ed alla ricettività diffusa.</i></p> <p>Op.4.8. <i>Riorganizzare le attrezzature necessarie delle attività agricole per ridurre gli impatti.</i></p> <p>Op.4.9. <i>Razionalizzare e regolamentare le modalità di accesso ai luoghi più attrattivi.</i></p>
IG.05	<p>→ La Rete Ecologica Locale</p> <p><i>Uno degli obiettivi principali del DP per il PRG è la definizione di un modello di REL che comporti la riorganizzazione della funzionalità ecologica del territorio nel suo complesso e che si ponga a fondamento di un nuovo scenario di gestione del territorio improntato sui criteri di sostenibilità ambientale, nel rispetto dei criteri fissati nel progetto di RERU.</i></p>	<p>Op.5.1. <i>Protezione, recupero e potenziamento delle componenti naturali esistenti che costituiscono il patrimonio di naturalità del territorio, con particolare attenzione alle aree protette e alle loro peculiarità, impostando una rete ecologica con ridotte necessità di manutenzione e dotata di elevata resilienza rispetto agli impatti esterni.</i></p> <p>Op.5.2. <i>Connessione e messa in continuità delle componenti naturali esistenti al fine di garantire la funzionalità ecologica.</i></p> <p>Op.5.3. <i>Individuazione, salvaguardia e riqualificazione della rete idrografica al fine di garantire il corretto funzionamento idraulico ed ecologico del sistema e la messa in sicurezza del territorio.</i></p> <p>Op.5.4. <i>Promozione di politiche e interventi per l'uso compatibile ed</i></p>

IG.nn	Indirizzi Generali	Op.n.nn Obiettivi di Piano
		<p><i>ecologicamente sostenibile delle risorse, per l'efficienza energetica e per la riduzione delle pressioni antropiche sull'ambiente, nell'ambito delle attività agricole, produttive e degli usi civili.</i></p>
IG.06	<p>→ Consolidare la struttura territoriale policentrica e favorire il presidio del territorio</p> <p><i>La conservazione e valorizzazione della struttura territoriale policentrica è da intendere nelle sue due accezioni principali, di valenza paesaggistica e di ruolo di presidio del territorio, nell'ottica multidimensionale della manutenzione del territorio, di riduzione dei rischi – in quanto forme di organizzazione del territorio contribuiscono anche alla mitigazione della vulnerabilità e a migliorare la gestione dell'emergenza – e di condizione essenziale per supportare la visione di sviluppo socio-economico sostenibile basata sulla produzione agro-alimentare di qualità e sull'accoglienza di visitatori e turisti in luoghi fortemente caratterizzati dalla qualità e dalla autenticità dei contesti paesaggistici. L'obiettivo di consolidamento e rafforzamento della struttura insediativa policentrica del comune di Norcia punta a contrastare fenomeni di abbandono, soprattutto in questa fase post-sisma e di avvio alla ricostruzione, e quindi a favorire il presidio di abitanti e attività capaci di assumere la cura e la manutenzione del territorio e del paesaggio. Pertanto si pone in relazione stretta e diretta con altri obiettivi del piano.</i></p>	<p>Op.6.1. Favorire il recupero dei centri e nuclei storici minori e del patrimonio edilizio rurale sparso (residenza, agriturismo e altre forme compatibili).</p> <p>Op.6.2. Rafforzare i poli di riferimento territoriale a livello di sottosistema per la riqualificazione e il potenziamento dei servizi di base e per la formazione di luoghi di socializzazione.</p> <p>Op.6.3. Favorire il riuso del patrimonio edilizio non utilizzato finalizzato al reinserimento della residenza e, nei centri più importanti (poli di riferimento di sottosistema) di funzioni commerciali e di servizio.</p> <p>Op.6.4. Riqualificare gli spazi di socializzazione e d'uso pubblico (giardini, spazi verdi attrezzati per il gioco e lo sport, piazze, etc.).</p> <p>Op.6.5. Conservare e valorizzare l'impianto urbanistico storico e il contesto paesistico e ambientale di appartenenza dei centri.</p> <p>Op.6.6. Ridefinire la forma e l'assetto complessivo dell'insediamento attraverso processi di ricomposizione della frattura verificatasi tra tessuto storico e espansioni recenti.</p> <p>Op.6.7. Ricomporre la morfologia del paesaggio urbano attraverso la ridefinizione-riqualificazione dei margini dell'edificato nella fascia di contatto con la campagna.</p> <p>Op.6.8. Migliorare la viabilità e l'accessibilità in termini di stato di manutenzione delle strade e di ingresso ai vari centri e nuclei;</p> <p>Op.6.9. Riqualificare dal punto di vista morfologico e ambientale le aree e gli edifici produttivi.</p> <p>Op.6.10. Riqualificare e riorganizzazione le aree e i manufatti destinati ad attività turistiche.</p> <p>Op.6.11. Favorire la creazione, per sottosistemi di frazioni, di condizioni favorevoli alla localizzazione di attività produttive compatibili ed attività di servizio private.</p> <p>Op.6.12. Definizione di un sistema territoriale minimo che assicuri la tenuta dell'intero territorio e la gestione efficace dell'emergenza, nel quale ogni sottosistema insediativo abbia una polarità di riferimento e sia dotato di aree attivabili ai fini dell'emergenza.</p> <p>Op.6.13. Qualificazione dell'offerta turistica non solo nel Capoluogo ma anche nelle frazioni, secondo le vocazioni prevalenti, e conseguenti azioni di cura degli spazi pubblici, di creazione di attività di accoglienza e di servizio rivolto all'ospitalità.</p>
IG.07	<p>→ Promuovere un turismo responsabile di qualità e una rete di servizi per il benessere</p> <p><i>Il territorio e il centro capoluogo di Norcia, date le risorse ambientali e paesaggistiche illustrate, presenta una forte potenzialità per diverse forme di turismo responsabile: il turismo culturale, il turismo naturalistico-ambientale, il turismo sportivo, il turismo religioso, il turismo di villeggiatura. Le diverse forme di turismo vanno sviluppate con politiche di accoglienza, con strutture di ricettività, con sistemi di servizi per il tempo libero, per il commercio e per la mobilità, differenziati ed adeguati alle diverse esigenze che tali forme esprimono.</i></p>	<p>Op.7.1. Qualificare ed articolare l'offerta della ricettività sia alberghiera che extralberghiera, sia in ambito urbano che in ambito rurale.</p> <p>Op.7.2. Estendere e qualificare le dotazioni infrastrutturali per l'accesso ai luoghi meta delle diverse forme di turismo, organizzare e attrezzare al meglio detti luoghi, con particolare riferimento alla qualità degli spazi e delle attrezzature pubbliche.</p> <p>Op.7.3. Favorire nuove attività e funzioni compatibili per il tempo libero in città e nel territorio, ed estendere, specializzare e diversificare le attività commerciali e di ristoro; ciò contribuendo a consolidare e ad arricchire e ampliare l'offerta turistica narsina;</p> <p>Op.7.4. Migliorare e rafforzare gli impianti del Capoluogo per lo sport agonistico, anche dilettantistico.</p> <p>Op.7.5. Promuovere un'accessibilità sostenibile e integrata, con riferimento a forme di mobilità lenta e alternativa;</p> <p>Op.7.6. Attrezzare in maniera compatibile i luoghi per lo sport all'aria aperta.</p>
IG.08	<p>→ Sostenere e valorizzare le attività produttive di qualità</p>	<p>Op.8.1. Promuovere in modo capillare il metodo dell'agricoltura biologica, nonché la multifunzionalità dell'azienda agricola.</p> <p>Op.8.2. Creare sul territorio una rete di servizi a sostegno della produzione e</p>

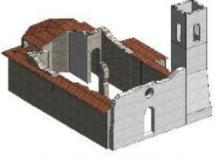
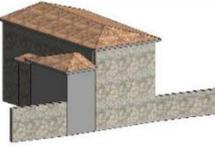
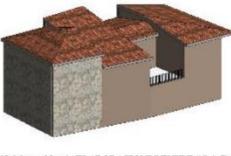
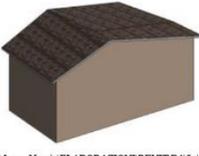
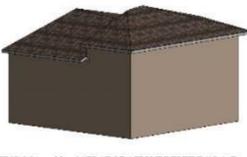
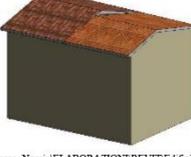
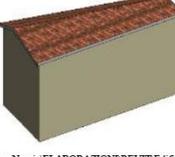
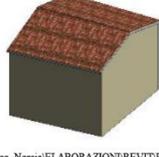
IG.nn	Indirizzi Generali	Op.n.nn Obiettivi di Piano
	<p><i>L'agricoltura e la zootecnia sono i principali settori produttivi sui quali, insieme alle diverse forme di turismo, si fonda il futuro di Norcia anche per la loro connaturata integrazione con i caratteri paesaggistico-ambientali, storico-culturali e tradizionali del territorio e della comunità locale. La crescente domanda di fruizione di luoghi e territori di alta qualità ambientale e paesaggistica, insieme a quella di prodotti agroalimentari tipici e di nicchia, consumabili anche nelle stesse zone rurali di produzione, rappresentano un importante stimolo per la strutturazione, la qualificazione e il rafforzamento delle attività agricole e zootecniche anche per il contributo che queste forniscono per il mantenimento della popolazione nei aree rurali e per la cura del territorio e del paesaggio.</i></p> <p><i>Per quanto riguarda le attività produttive dell'artigianato di trasformazione dei prodotti agricoli tipici, come per le attività artigianali produttive negli altri settori presenti a Norcia, queste rappresentano l'altro fronte del progetto di sviluppo economico locale. L'artigianato nursino, la cui produzione di qualità nasce dalla trasmissione nel tempo di tradizioni e mestieri, rappresenta una parte della storia e dell'identità della città che ha bisogno di essere ulteriormente valorizzata per motivi di occupazione e per il contributo che può offrire nell'integrazione con altri settori (turismo), per l'immagine complessiva di Norcia.</i></p>	<p><i>per la promozione dei prodotti del territorio.</i></p> <p>Op.8.3. <i>Rendere gli operatori consapevoli del ruolo di custodi del territorio e dell'importanza della multifunzionalità dell'azienda agricola;</i></p> <p>Op.8.4. <i>Valorizzare i prodotti tipici e autentici.</i></p> <p>Op.8.5. <i>Sviluppare l'agriturismo e il turismo rurale.</i></p> <p>Op.8.6. <i>Sostenere l'innovazione nel settore agricolo, favorendo - attraverso il processo di pianificazione favorisca l'adeguamento dell'attività agricola, in termini funzionali e infrastrutturali, ai nuovi obiettivi e contemperando le soluzioni compatibili (legate alla necessità di strutture e annessi) con le forme del paesaggio esistente, anche tramite una specifica disciplina e regole d'uso delle aree agricole.</i></p> <p>Op.8.7. <i>Promuovere la riqualificazione ambientale, architettonica e paesaggistica dell'area produttive di S. Scolastica, favorendone la trasformazione in Area produttiva paesaggisticamente ed ecologicamente attrezzata (APPEA).</i></p> <p>Op.8.8. <i>Razionalizzare e riorganizzare la rete della mobilità, tenendo conto delle esigenze dei diversi flussi di traffico (attraversamento, collegamento tra centri, distribuzione locale), per migliorare l'accessibilità dell'area produttiva anche con modalità alternative.</i></p> <p>Op.8.9. <i>Nell'ambito della fase di ricostruzione e ripresa, mitigare il rischio sismico alla scala di insediamento produttivo con interventi di riduzione della vulnerabilità edilizia, di localizzazione di spazi aperti sicuri, di miglioramento delle connessioni interne ed esterne al tessuto.</i></p> <p>Op.8.10. <i>Favorire il consolidamento delle attività produttive esistenti nelle frazioni;</i></p> <p>Op.8.11. <i>Sostenere forme condivise a supporto delle aziende per la fornitura di servizi, la promozione e commercializzazione dei prodotti, anche differenziando tali modalità secondo i diversi target.</i></p>

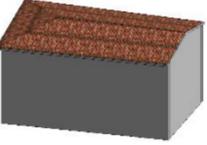
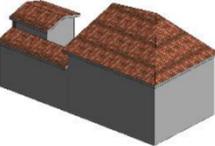
ALLEGATO B UrbanBIM di Norcia (PG)

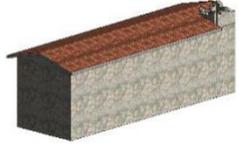


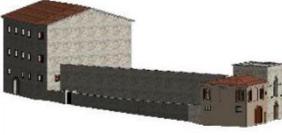
Edifici Zona Rossa

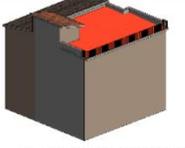
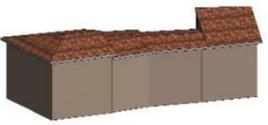
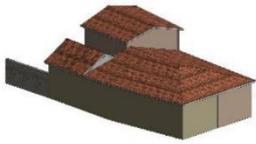
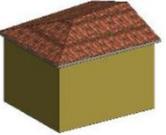
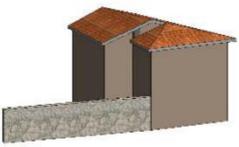
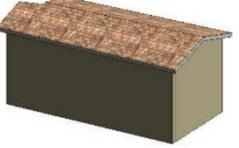
Modello BIM	BIM ID	LOD	Via	N. Civico	Dati Rilievo	Livello di danno
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	01_Castellina	D	Piazza S.Benedetto	/	Spark DJI	Lievemente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	02_ZR_Edificio	C	Via Verdi Via Cesare Battisti	1-2-3-4 1-3	Spark DJI eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	03_ZR_Edificio	C	Via Verdi	5-6-7-8	Spark DJI eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	04_ZR_Edificio 05_ZR_Edificio	C	Via Solferino	26 26 bis	Spark DJI eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	06_ZR_Edificio 07_ZR_Edificio	C	Via Solferino	24 24 bis	Spark DJI eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	08_ZR_Edificio	C	Via Solferino	22	Spark DJI eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	09_ZR_Edificio	C	Via Solferino Via San Martino	20 9	eBee	Verosimilmente danneggiato

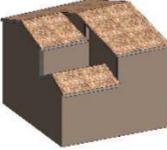
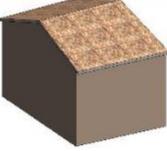
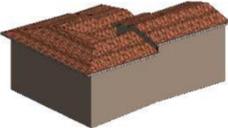
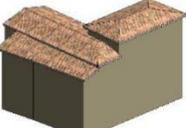
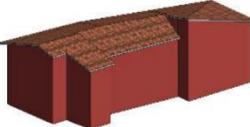
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	10_ZR_Edificio	C	Piazza del Duomo	1	Spark DJI eBee	Danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	11_ZR_Cattedrale S.Maria	C	Piazza del Duomo	/	Spark DJI eBee	Distrutto
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	12_ZR_Edificio	B	Via Solferino	9-11	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	13_ZR_Edificio 14_ZR_Edificio	B	Via Solferino	7-5-3	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	15_ZR_Edificio 16_ZR_Edificio	B	Via Anicia	129-131 133-135	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	17_ZR_Edificio	B	Via Anicia	127-125	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	18_ZR_Edificio	C	Piazza S.Benedetto	8-9-10	Spark DJI eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	19_ZR_Edificio	B	Via Zara	11-13	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	20_ZR_Edificio	B	Vicolo della Piazza	3	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	21_ZR_Edificio	B	Via Zara	9	eBee	Verosimilmente danneggiato

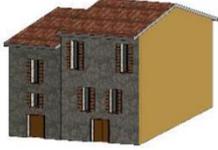
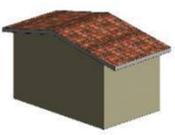
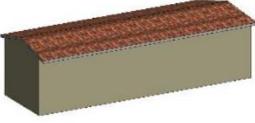
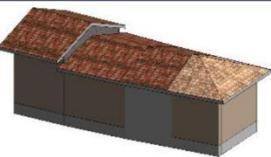
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	22_ZR_Edificio	B	Via Zara	7	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	23_ZR_Edificio	B	Via Zara Via Anicia	1-3-5 121-123	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	24_ZR_Edificio	B	Via Anicia Vicolo della Piazza	117-119 1	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	25_ZR_Edificio	C	Piazza S.Benedetto Via Mazzini	6-7 2-4-6	Spark DJI eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	26_ZR_Edificio	B	Via Mazzini	8-10-12	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	27_ZR_Edificio	B	Via Anicia	113	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	28_ZR_Edificio	B	Via Anicia Vicolo della Piazza	115 3-5	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	29_ZR_Edificio	C	Piazza S.Benedetto Via dei Priori	2	Spark DJI eBee	Danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	30_ZR_Basilica S.Benedetto	C	Piazza S.Benedetto	/	Spark DJI eBee	Distrutto
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	31_ZR_Edificio	C	Piazza S.Benedetto Corso Sertorio	2-4-6 1- 3-5	Spark DJI eBee	Verosimilmente danneggiato

 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	32_ZR_Edificio	C	Piazza S.Benedetto Corso Sertorio	8-10 12-14 2- 4	Spark DJI eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	33_ZR_Statua S.Benedetto	B	Piazza S.Benedetto	/	Spark DJI eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	34_ZR_Edificio	C	Via Anicia	104	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	35_ZR_Edificio	C	Via Legnano	51-53	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	36_ZR_Edificio	C	Via Legnano	43-45 47-49	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	37_ZR_Edificio	C	Via Legnano	39-41	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	38_ZR_Edificio	C	Via Legnano Piazza Carignano	37-35-33 8-9-10	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	39_ZR_Edificio 40_ZR_Edificio 41_ZR_Edificio	C	Piazza Carignano	11-12-13	eBee	Danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	42_ZR_Chiesa S.Lorenzo	C	Piazza Carignano	/	eBee	Danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	43_ZR_Edificio 44_ZR_Edificio	C	Via Legnano Via	66-68	eBee	Verosimilmente danneggiato

 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	45_ZR_Edificio	C	Via Legnano	64	eBee	Danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	46_ZR_Edificio 47_ZR_Edificio	C	Via Legnano Via Circonvallazione	62 50	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	48_ZR_Edificio	C	Via Legnano	54-56 58-60	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	49_ZR_Edificio	C	Via Legnano	50-52	eBee	Distretto
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	50_ZR_Edificio	C	Via Legnano	46-48	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	51_ZR_Edificio	C	Via Legnano Via Circonvallazione	40-42-44 40-42-44 46-48	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	52_ZR_Edificio	C	Via Legnano Via Circonvallazione	30-32-34 36-38 38	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	53_ZR_Edificio	C	Via Legnano Via Circonvallazione	22-24 26-28 34-36	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	54_ZR_Edificio	C	Via Legnano Via Circonvallazione Via Roma	12-14-16 18-20 30-32 22	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	55_ZR_Edificio	C	Via Legnano Via Circonvallazione	8-10 28	eBee	Verosimilmente danneggiato

 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	56_ZR_Edificio	C	Via Legnano Via Circonvallazione Via Roma	2-4-6 26 22	eBee	Lievemente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	57_ZR_Edificio	B	Piazza Carignano Via Anicia	1-2 96-98- 100	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	58_ZR_Edificio	B	Piazza Carignano	3-4	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	59_ZR_Edificio	B	Piazza Carignano	5-6-7	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	60_ZR_Edificio	B	Via Legnano Vicolo delle Pulzelle	21 1-2-3 4-5-6	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	61_ZR_Edificio	B	Via Legnano Via Patrizio Forti	24 1-3-5 7-9	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	62_ZR_Edificio	B	Via Anicia	96	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	63_ZR_Edificio	B	Via Anicia	94	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	64_ZR_Edificio	B	Via Anicia Via Patrizio Forti	92 2-4	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcio\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	65_ZR_Edificio	B	Vicolo delle Pulzelle	6-8	eBee	Verosimilmente danneggiato

 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	66_ZR_Edificio	B	Via Legnano Vicolo delle Pulzelle	22 10-12	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	67_ZR_Edificio	B	Via Legnano	18-20	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	68_ZR_Edificio	B	Via Legnano	14-16	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	69_ZR_Edificio	B	Via Legnano	12	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	70_ZR_Edificio	B	Via Legnano - Via Roma	2-4-6 8-10 16-18-20	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	71_ZR_Edificio	B	Via Roma	8-10 12-14	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	72_ZR_Edificio	B	Via Patrizio Forti	11-27	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	73_ZR_Edificio	B	Via Anicia	78-80-82 84-86 90-92	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	74_ZR_Edificio	B	Via Anicia	/	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcis\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	75_ZR_Edificio	C	Via Anicia Via San Martino	139 2	eBee	Danneggiato

 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	76_ZR_Edificio 77_ZR_Edificio	C	Via San Martino	4	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	78_ZR_Edificio	C	Via San Martino	6-8	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	79_ZR_Edificio 80_ZR_Edificio	C	Via San Martino Via Circonvallazione	10-12 66	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	81_ZR_Edificio	C	Via San Martino	20-22-24	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	82_ZR_Edificio	C	Via San Martino	26-28	eBee	Danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	83_ZR_Edificio	C	Via San Martino	30-32	eBee	Danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	84_ZR_Edificio	B	Via San Martino	34	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	85_ZR_Edificio	B	Via San Martino	36	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	86_ZR_Edificio	B	Via San Martino Via Solferino	1-3 2-4	eBee	Verosimilmente danneggiato
 <small>G:\TESI_Marco_Norcia\ELABORAZIONI\REVIT\Edifici_Zona Rossa</small>	87_ZR_Edificio 88_ZR_Edificio 89_ZR_Edificio 90_ZR_Edificio	B	Via San Martino Via Solferino	5-7 6-8-10	eBee	Verosimilmente danneggiato

RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo lavoro di tesi, è doveroso porre i miei più sentiti ringraziamenti a tutti coloro che a vario titolo mi hanno accompagnato in questo percorso di crescita personale e professionale.

Un sentito e profondo grazie va alla mia relatrice, la prof.ssa Spanò, per avermi dato l'opportunità di affrontare un tema delicato ma allo stesso tempo emozionante e pieno di significato. Grazie inoltre per la sua immensa pazienza, per l'infinita disponibilità, per i consigli e le conoscenze che mi ha trasmesso.

Grazie anche al mio correlatore, Emilio Abbate, per i suoi preziosi consigli e per avermi accompagnato durante il percorso di stesura della tesi.

Ringrazio inoltre tutti i componenti del Team DIRECT del Politecnico di Torino, i professori Filiberto Chiabrando e Fabio Tonolo, Alessio, Jack, Lorenzo, Giulia, Alessandra ed Elisabetta con i quali ho avuto il piacere di condividere la campagna di rilievo a Norcia oltre ai tanti momenti di laboratorio. Grazie per il vostro tempo, la vostra disponibilità e il vostro aiuto.

Non possono mancare in questi ringraziamenti tutte le persone con cui ho iniziato e condiviso i miei studi, con le quali e grazie alle quali ho trascorso momenti belli e faticosi, instaurando buone amicizie. Porterò sempre con me ogni vostro volto.

Un ringraziamento speciale va ai miei due colleghi, Vittorio e Mattia, compagni di magistrale ma prima di tutto amici con cui ho condiviso una parte importante del mio cammino, nella speranza che un giorno le nostre strade professionali possano congiungersi di nuovo.

Un grande grazie va invece a tutti i miei più cari amici, Fabio, Espo, Serena, Marta, Andrea, Enrico, Fra e Je, che in maniera diversa mi sono stati e mi sono continuamente vicino.

Vorrei infine dedicare gli ultimi ringraziamenti alle persone a me più care, la mia Famiglia. In particolare grazie a mia madre, mio padre e mia sorella, che mi hanno sempre sostenuto ed aiutato in questo cammino e senza i quali non sarei la persona che sono adesso.

Un enorme grazie va a mio nonno Gian, che anche da lassù ha continuato a fare il tifo per me durante questi anni. So che saresti fiero di me per questo traguardo.

L'ultimo ringraziamento lo intendo dedicare alla persona più speciale, la mia fidanzata e compagna Valentina che, oltre ad aver sempre creduto in me, è stata al mio fianco durante tutto questo percorso come costante punto di riferimento e di forza. A te dedico questo lavoro di tesi.