

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzioni e Città
Settembre 2019



HBIM, Realtà Virtuale e Aumentata a supporto della condivisione del modello BIM Social del Santuario del Trompone



Relatore: Prof.ssa Anna Osello
Relatore esterno: Ruggiero Lovreglio
Correlatore: Ing. Matteo Del Giudice

Candidati: Francesca Brruku
Chiara Cigliutti

POLITECNICO di TORINO

Corso di Laurea Magistrale in
ARCHITETTURA COSTRUZIONE
CITTA'



TESI DI LAUREA MAGISTRALE

HBIM, Realtà Virtuale e Aumentata
a supporto della condivisione del modello BIM Social
del Santuario del Trompone

Relatore

Anna OSELLO

Relatore esterno

Ruggiero LOVREGLIO

Correlatore

Matteo DEL GIUDICE

Candidati

Franceska BRRUKU

Chiara CIGLIUTTI

Alla mia famiglia

“Questo film lo dedichiamo ai folli, agli anticonformisti, ai ribelli, ai piantagrane, a tutti coloro che vedono le cose in modo diverso. Costoro non amano le regole, specie i regolamenti, e non hanno alcun rispetto per lo status quo. Potete citarli, essere in disaccordo con loro, potete glorificarli o denigrarli, ma l'unica cosa che non potrete mai fare è ignorarli, perché riescono a cambiare le cose, perché fanno progredire l'umanità. E mentre qualcuno potrebbe definirli folli, noi ne vediamo il genio. Perché solo coloro che sono abbastanza folli da pensare di poter cambiare il mondo, lo cambiano davvero”.

Think different - Steve Jobs

INDICE

EN.ABSTRACT	4
IT.ABSTRACT	5
INTRODUZIONE	7
1 PRAFAZIONE	8
2 DIGITALIZZAZIONE	10
3 DALLA NUVOVA DI PUNTI AL MODELLO BIM 11	
3.1 RILIEVO	12
3.1.1 RILIEVO TOPOGRAFICO	14
3.1.2 RILIEVO LASER SCANNER	15
3.1.3 RILIEVO FOTOGRAMMETRICO	16
3.2 LA MODELLAZIONE BIM	22
3.2.1 DIFFERENZE CAD - BIM	23
3.2.2 INTEROPERABILITÀ	24
3.3 IL MODELLO HBIM	27
3.3.1 COMPONENTI	30
3.3 LOD	32
3.3.1 LOD SECONDO AIA	32
3.3.2 LOD SECONDO LA NORMA UNI 11337:2017 ITALIANA	33
4 DAL MODELLO BIM ALLA VISUALIZZAZIONE	36
4.1 PROGETTAZIONE PARTECIPATA	36
4.2 LA VISUALIZZAZIONE	37
4.2.1 REALTÀ AUMENTATA (AR)	38
4.2.2 REALTÀ VIRTUALE (VR)	41
4.2.3 REALTÀ MISTA (MR)	43
4.2.4 REALTÀ ESTESA (XR)	44
4.3 SOCIAL MEDIA - SOCIAL NETWRK	45
4.3.1 ANALISI DELL'UTILIZZO	46
4.3.2 FACEBOOK	50
4.3.3 FUNDRAISING E CROUND FUNDING	54
5 IL SANTUARIO DEL TROMPONE	56
5.1 LA STORIA	60
6 OBIETTIVI	63
METODOLOGIA	65
1 ACQUISIZIONE DATI	68
1.1 RILIEVO	68
1.1.1 RILIEVO TOPOGRAFICO	68

1.1.2 RILIEVO LASER SCANNER	70
1.1.3 RILIEVO FOTOGRAMMETRICO	71
1.2 LO STATO DI FATTO	72
1.3 NUVOLA DI PUNTI	75
1.4 PROGETTAZIONE PARTECIPATA	77
2 ELABORAZIONE DATI	79
2.1 CATALOGAZIONE DELLE OPERE ARTISTICHE	79
2.2 ELABORATI ORTO-FOTOGRAFICI	82
2.3 ANALISI DELLE VOLTE	87
3 RESTITUZIONE DATI	89
3.1 DIGITALIZZAZIONE DEL TROMPONE	89
3.2 COMPONENTI	92
3.2.1 MODELLAZIONE DELLE VOLTE	93
3.3 CONFRONTO TRA LA NUVOLA DI PUNTI E IL MODELLO HBIM	100
3.4 LOD NEL CASO STUDIO	104
3.4.1 METODOLOGIE PER LA MAPPATURA DEL DEGRADO	106
3.4.2 MAPPATURA DEL DEGRADO	111
4 VISUALIZZAZIONE DATI	118
4.1 ELABORATI TECNICI	118
4.2 I RISULTATI DELLA PROGETTAZIONE PARTECIPATA	118
4.3 GLI OBIETTIVI DELLA VISUALIZZAZIONE	122
4.4 VISUALIZZAZIONE DELLE SUPERFICI	124
4.5 LE TEXTURE	124
4.5.1 TEXTURE ASSOCIATA AL MATERIALE IN REVIT	126
4.5.2 TEXTURE APPLICATA TRAMITE DYNAMO	133
4.5.3 TEXTURE APPLICATA IN 3DS MAX	134
4.5.4 TEXTURE APPLICATA IN UNITY	135
4.6 LA REALTÀ VIRTUALE (VR)	139
4.7 LA REALTÀ AUMENTATA (AR)	145
4.8 MODELLO BIM SOCIAL	148
4.8.1 LA CREAZIONE DI UN SITO DIVULGATIVO	150
4.8.2 FACEBOOK	152
4.8.3 INSTAGRAM	156
RISULTATI E SVILUPPI FUTURI	159
1 RISULTATI	160
2 SVILUPPI FUTURI	162
RIFERIMENTI	163

EN . A B S T R A C T

Technological innovation in the AEC sector (architecture, engineering and construction) has broadened the prospects for using the BIM (Building Information Modeling) methodology by optimizing the time and interoperability between the subjects participating in the project. The thesis aim is to show the potential and benefits of sharing HBIM projects (where H means Heritage) online. Although for Social BIM it is usual to consider a model shared among the participants in its realization, in the present thesis it assumes a meaning of wider sharing. The model becomes the basis for discussion and public awareness of the cultural aspect of the structure. The work focuses on the Sanctuary of the Trompone, which after the first significant phase was digitized according to the HBIM methodology, which provides for the creation of a “digital twin” of the royal religious building, highlighting the current state of affairs. The possibility of obtaining a useful model for online sharing for a wide audience, on internet platforms and social networks, brings users closer to the historical-artistic heritage, highlighting the critical issues and problems of the structure through VAR (Virtual and Augmented Reality) technologies. To obtain funds through the adoption of a fundraising project directly linked to the Sanctuary model.

IT. ABSTRACT

L'innovazione tecnologica nel settore AEC (architettura, ingegneria e costruzione) ha ampliato le prospettive dell'utilizzo della metodologia BIM (Building Information Modeling) ottimizzando i tempi e l'interoperabilità tra i soggetti partecipi al progetto. L'obiettivo della tesi è mostrare le potenzialità e i benefici riscontrabili nella condivisione di progetti HBIM (dove H significa Heritage) online. Sebbene per Social BIM sia solito considerare un modello condiviso tra i partecipanti alla sua realizzazione, nella presente tesi assume un significato di condivisione più ampia. Il modello diventa la base per la discussione e la sensibilizzazione del pubblico all'aspetto culturale della struttura. Il lavoro si concentra sul Santuario del Trompone, il quale dopo una prima fase di rilievo è stato digitalizzato secondo la metodologia HBIM, la quale prevede la realizzazione di un "gemello digitale" dell'edificio religioso reale, evidenziando lo stato di fatto attuale. La possibilità di ottenere un modello utile alla condivisione online per un ampio pubblico, su piattaforme internet e social network, avvicina gli utenti al patrimonio storico-artistico, evidenziando le criticità e le problematiche della struttura attraverso le tecnologie VAR (Virtual and Augmented Reality). Con l'obiettivo di ottenere fondi tramite l'adozione di un progetto di fundraising direttamente collegato al modello del Santuario.

INTRODUZIONE

1.PREFAZIONE

2.DIGITALIZZAZIONE

3.DALLA NUVOLA DI
PUNTI AL MODELLO BIM

4.DAL MODELLO BIM
ALLA SUA VISUALIZZA-
ZIONE

5.IL SANTUARIO DEL
TROMPONE

6.OBIETTIVI

1 | P R E F A Z I O N E

Il presente elaborato di tesi fa parte di un più ampio lavoro sostenuto dal Politecnico di Torino che riguarda il complesso del Trompone.

Nello specifico ci si è concentrati sulla creazione di un modello HBIM (*Heritage Building Information Modeling*) del Santuario del Trompone, a seguito di ricerche e di una fase di rilievo svolto in loco. Questo elaborato viene utilizzato per i seguenti scopi:

- Creazione delle **tavole dello stato di fatto**
- Creare un modello **Social BIM** condivisibile sul web e sui Social Network;
- Visualizzazione del modello con **Realtà Aumentata** (AR);
- Visualizzazione del modello con **Realtà Virtuale** (VR).

Questi obiettivi sono nati, a seguito di riflessioni, per indagare la possibilità di condividere con un ampio pubblico modelli BIM in modo tale da fornire informazioni della struttura, sensibilizzando l'utente al patrimonio culturale grazie alle nuove tecnologie.

Più precisamente, il modello Social BIM prevede la visualizzazione online del progetto, in modo tale da suscitare l'attenzione da parte degli utenti verso il Santuario e il mondo BIM, condividendo contenuti attraverso un sito web, creato ad hoc, e l'utilizzo dei Social Network, protagonisti indiscussi dei nostri tempi.

Parallelamente, viene creata la possibilità di visualizzare il Santuario con la Realtà Aumentata, utilizzando uno smartphone o un tablet, inquadrando la pianta del piano terra è possibile visualizzare il Santuario in 3D e compiere delle operazioni su di esso.

Infine, vi è la possibilità di visualizzare il Santuario servendosi della Realtà Virtuale, grazie a questo strumento si cerca di sensibilizzare il visitatore al patrimonio culturale costruito, evidenziando le zone degradate e fornendone le informazioni. Percorrendo il santuario è possibile inoltre cliccare “Dona” per fare un’offerta monetaria per sostenere i lavori di restauro e manutenzione.

2 | DIGITALIZZAZIONE

Negli ultimi anni la digitalizzazione dei beni ha cambiato l'approccio alla consultazione delle informazioni, modificando il modo in cui esso può essere divulgato. La rivoluzione digitale rappresenta un'opportunità di condividere la conoscenza, dando l'opportunità di accedere più facilmente alle informazioni favorendo la crescita culturale. La possibilità di visualizzare ed entrare in contatto anche con realtà geograficamente molto lontane dalla nostra, permette ad un numero sempre più ampio di persone di consultare contenuti condivisi online come possono essere le raccolte di un museo, visitare un edificio, leggere un libro o ascoltare un brano musicale, etc. Questa possibilità è dovuta all'introduzione di dispositivi in grado di processare grandi quantità di dati e di comunicare tra loro a velocità fino ad ora impensabili.

Fin dal 1993 l'Unesco (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'educazione, la scienza e la cultura), con il progetto "Memorie del mondo", ha sollecitato i governi a intraprendere azioni positive per conservare il patrimonio culturale mondiale.

Nel 2003 ha stilato una Carta per la salvaguardia del patrimonio culturale digitale, riconoscendone così l'importanza per la tutela della memoria e della stessa identità delle nostre civiltà^[1].

A supporto della digitalizzazione degli edifici architettonici sono state sviluppate tecnologie efficienti per il rilievo del patrimonio culturale e per la sua gestione. Seguendo l'idea alla base del progetto "Memorie del mondo" la digitalizzazione degli edifici risulta essere un modo per proteggere e preservare il patrimonio culturale architettonico.

1. S. Italia, Digitalia. Rivista del digitale nei beni culturali, Roma, Italia: ICCU, 2005.

3 | DALLA NUVOLA DI PUNTI AL MODELLO BIM

Ad oggi un edificio può essere **digitalizzato** partendo da una fase di **acquisizione dati**, volta a raccogliere le informazioni geometriche, le caratteristiche e tutti i dati utili per la comprensione dell'oggetto analizzato. La seconda fase prevede l'**elaborazione dei dati** per ottenere un modello tridimensionale **BIM** (*Building Information Modeling*), completo a livello geometrico e informativo.



Fig 1 - Organizzazione della ricerca
Fonte: P. Borin, BIM per il patrimonio culturale architettonico: sperimentazione per la chiesa degli Eremitani a Padova, 2015

3.1 RILIEVO

Oggigiorno è pratica comune nel campo dei beni culturali, per edifici d'interesse storico-artistico, eseguire una **documentazione tridimensionale**. Tale procedura supporta lo sviluppo del **modello 3D** che ne racchiude le **informazioni** essenziali, come dati alfanumerici e dimensionali.

Per poter eseguire un lavoro di restauro o valorizzazione del patrimonio storico artistico è indispensabile essere in possesso di una documentazione esaustiva circa l'opera. Il **rilievo** è uno strumento analitico e conoscitivo allo stesso tempo, volto alla comprensione delle **qualità** che definiscono un'architettura, quali le sue componenti geometriche, spaziali, storiche, strutturali e materiali².

Come primo step è necessario **predisporre il rilievo**, definendo le informazioni che saranno indispensabili per ottenere il risultato prefissato, si stabilisce il grado di dettaglio al quale verranno rappresentati gli elementi, e di conseguenza su quali soffermarsi in modo più accurato e quali lasciare con un dettaglio minore. Questo modo di agire infatti non è un processo standardizzato ma varia da caso a caso.

“Occorre sapere prima ciò che si deve disegnare e tener presente che non è il prospetto, la pianta e la sezione, come immagini, a cui si vuol pervenire in prima istanza, quanto la rappresentazione dello spazio fisico, della qualità architettonica e le trasformazioni strutturali avvenute nell'opera stessa (...) il rilievo architettonico è un'operazione volta a capire l'opera nella sua globalità (...); rilevare quindi significa innanzitutto comprendere l'opera che si ha davanti, coglierne tutti i valori, da quelli dimensionali a quelli costruttivi, da quelli formali a

2. Fonte: <https://www.slideshare.net/unmodelling/bim-per-il-patrimonio-culturale-architettonico-sperimentazione-per-la-chiesa-degli-eremitani-a-padova-paolo-borin>.

3. M. Ducci e D. Maestri, Manuale di rilevamento architettonico e urbano, Bari, Italia: Laterza, 2009.

*quelli culturali*³.”

Al fine di ottenere il massimo risultato si rende fondamentale integrare due metodologie: il rilievo tradizionale (o diretto) dove le operazioni di misurazione sono effettuate direttamente sull'oggetto e il rilievo indiretto. Il rilievo indiretto si effettua mediante l'impiego di strumenti ottici, meccanici o informatici di grande precisione, i quali comportano una serie di calcoli più o meno complessi in modo tale da conseguire, all'interno di un sistema dotato di coordinate spaziali, la traduzione grafica degli oggetti rilevati. Questi strumenti proiettano i punti dell'oggetto su un piano, pertanto diviene possibile misurarne le dimensioni, rappresentarli in scala ridotta e ottenere un'immagine proporzionale all'originale.

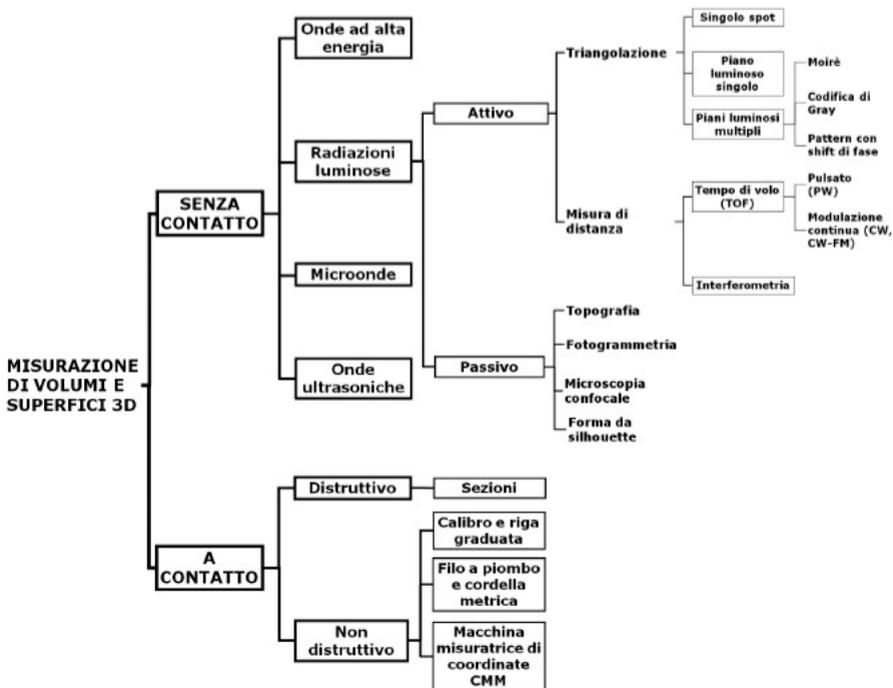


Fig 2 - Schema degli strumenti di acquisizione 3D - sensori ottici passivi.

Fonte: G. Guidi, F. Remondino, M. Russo, Principali tecniche e strumenti per il rilievo..., op. cit., p. 171.

3.1.1 RILIEVO TOPOGRAFICO

Il rilievo topografico è definito 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 territorio⁴”*.

La realizzazione della **rete topografica** è finalizzata a fornire **vertici di coordinate 3D note**, garantendo la possibilità di relazionare i dati ad un **unico sistema di riferimento**. Di conseguenza tutte le misurazioni e gli elaborati del rilievo saranno riferiti al medesimo sistema cartesiano. Inoltre permette il controllo della propagazione degli errori in modo tale da garantire le tolleranze richieste per il rilievo metrico dei beni architettonici.

Per effettuare le misurazioni viene impiegata la **stazione totale** (Fig 4) che consente di misurare angoli e distanze di una serie di punti e di determinarne l’esatta collocazione spaziale rispetto a un sistema di coordinate predefinito.

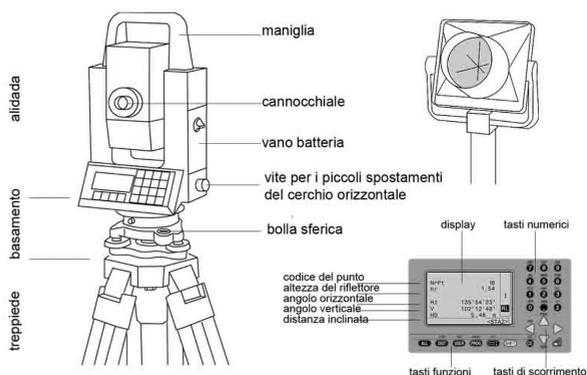


Fig 3 - Stazione totale
Fonte: <https://www.strumenti-topografici.it>

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

3.1.2 RILIEVO LASER SCANNER

Il laser scanner utilizza onde elettromagnetiche (**laser**) per fornire misure ripetute delle distanze. Lo strumento è in grado di eseguire **scansioni panoramiche sferiche**: la digitalizzazione avviene attraverso la misurazione della posizione di un elevato numero di punti. La fotocamera integrata permette di associare ad ogni punto l'informazione relativa al colore.

Il vantaggio del laser è che permette di ottenere una **nuvola di punti molto densa** con minimo sforzo e **tempi molto brevi**. La possibilità di ottenere un elevato numero di punti consente di avere un rilievo più preciso e dettagliato, utile alla modellazione tridimensionale.

Prima di procedere all'acquisizione delle scansioni è opportuno progettare in modo rigoroso questa fase. Va tenuto conto della geometria dell'oggetto da rilevare, nello specifico se si tratta di esterni o, come nel nostro caso, l'interno di un edificio. In secondo luogo, è opportuno stabilire i punti di presa nei quali andrà posizionato lo strumento. Questo passaggio è fondamentale poiché ogni scansione possiede un sistema di riferimento solidale allo strumento e non un sistema unico. Diviene così indispensabile avere una percentuale, almeno il 30% della totalità dei punti rilevati, in comune tra due scansioni consecutive, tale da permettere, in fase di registrazione, la rototraslazione del sistema di riferimento ad un unico sistema comune. Inoltre è utile avere posizionati i target in modo tale che lo strumento, con la sua capacità di misurare la riflessività dell'oggetto colpito dal fascio luminoso, ne catturi le informazioni. I target permettono la **georeferenziazione** della nuvola di punti e consentono la sua integrazione con modelli riferiti allo stesso manufatto ma derivanti da diverse elaborazioni. Per ottenere un buon risultato è necessario inserire un numero sufficiente di target,

in modo che siano ben visibili (ogni scansione deve rilevare almeno 3 target), per facilitarne l'acquisizione da parte dello strumento, in modo da ottenere un corretto allineamento e registrazione delle scansioni nelle fasi successive.

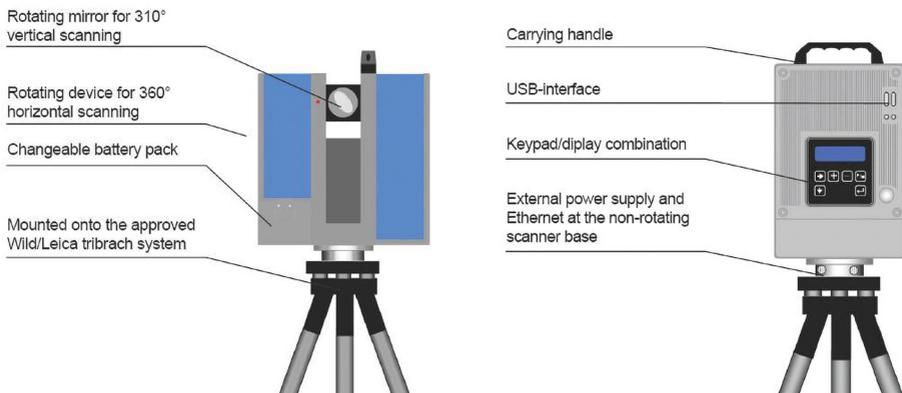


Fig 4 - laser scanner 3D
Fonte: <https://www.microgeo.it>

3.1.3 RILIEVO FOTOGRAMMETRICO

Lo sviluppo tecnologico e la rivoluzione delle **immagini digitali** hanno mutato e continuano tutt'ora a ridefinire le tecniche tradizionali di rilievo architettonico. La loro rapida affermazione è dovuta alla **facilità** e alla **velocità** di ottenere ed immagazzinare informazioni, in oltre i **costi sono molto ridotti** rispetto alle tecnologie tradizionali. Diviene sempre più forte il legame che c'è tra la disciplina del rilievo e l'innovazione delle tecniche a suo supporto.

“La fotogrammetria è la scienza che consente di ottenere misure accurate da fotografie (immagini) acquisite con sensori terrestri, aerei o satellitari. Partendo da diversi punti omologhi individuati nelle immagini, la tecnica fotogrammetrica consente di determinare informazioni metriche sulle dimensioni, forma e posizione di un oggetto o scena⁵”.

Questa metodologia di **rilievo indiretto**, permette di estrarre **informazioni metriche** (posizione, dimensione e forma) dell'ambiente fisico attraverso le immagini. La restituzione d'informazioni geometriche avviene attraverso l'unione di più fotografie, rendendo possibile la creazione digitale tridimensionale di edifici, siti archeologici, aree urbane e territori.

“In fotogrammetria, analogamente a quanto avviene nella visione umana, se un oggetto viene ripreso in almeno due immagini prese da punti di vista differenti, le diverse posizioni dell'oggetto nelle immagini (la cosiddetta parallasse) consentono di ottenere viste stereoscopiche e derivare informazioni 3D dalle aree di sovrapposizione nelle immagini⁵”.

Nonostante il processo sia altamente automatizzato il ruolo dell'operatore rimane fondamentale, perché risulta necessaria l'interpretazione e l'analisi delle geometrie dell'oggetto.

Nella prima fase viene predisposto il **progetto di presa fotografica**, questo studio risulta particolarmente importante per garantire l'acquisizione di dati validi e in quantità sufficiente, che verranno utilizzati nella fase successiva di modellazione, seguente le attività sul campo.

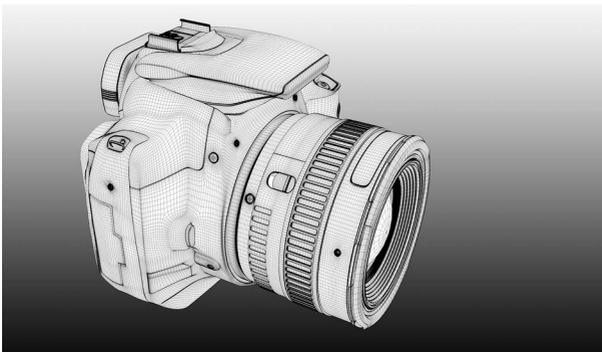


Fig 5 - IMacchina fotografica
Fonte: <https://abcamera.it>

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

Sono disponibili varie tecniche di ripresa fotografica che si integrano tra loro in modo tale da ottenere la restituzione dell'edificio. Per ottenere i dati necessari si adottano strategie consolidate che dettano i principi da seguire nelle fasi di acquisizione:

- **Relazioni geometriche tra le foto:** l'acquisizione deve essere eseguita in blocchi di immagini, mantenendo invariata la distanza focale, l'esposizione e possibilmente anche la macchina fotografica.
- **Distribuzione delle informazioni sulla foto:** l'oggetto deve occupare gran parte della scena per sfruttare appieno la risoluzione della macchina fotografica.
- **Distribuzione delle informazioni nello spazio:** prediligere l'acquisizione delle immagini ponendosi obliqui e non perpendicolari ai piani dominanti dell'oggetto indagato.
- **Complessità morfologica dell'oggetto:** individuare i piani dominanti dell'oggetto in modo tale da disporre almeno una coppia di fotogrammi per ognuno di essi⁶.

Il metodo di acquisizione delle immagini per ottenere un modello tridimensionale dell'edificio possono essere:

- **Ripresa fotografica ad assi convergenti** (Fig 6, lettera A): usata generalmente quando è possibile ruotare attorno al soggetto della ripresa.
- **Ripresa fotografica ad assi paralleli** (Fig 6, lettera B): usata generalmente su superfici piane o con andamento più o meno regolare in ambito architettonico, e in fotogrammetria aerea.
- **Ripresa cilindrica** (Fig 6, lettera C): usata generalmente per spazi esterni ma chiusi su tutti i lati (chiostri, piazze etc.). La ripresa vie-

6. N. Rapetti, Energy Park. Un vettore di conoscenza per la trasformazione smart di un territorio, Tesi di Laurea, Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzioni e Città, Politecnico di Torino, 2014.

ne effettuata mantenendo la fotocamera fissa in un punto, in modo tale da non variare la distanza focale.

- **Ripresa sferica** (Fig 6, lettera D): usata generalmente per il rilievo di interni, garantendo la documentazione di tutte le componenti dell'edificio (pavimenti, soffitti, elementi verticali, apparati decorativi) .
- **Ripresa a campo esteso** (Fig 6, lettera E): usata generalmente nel caso in cui siano presenti delle occlusioni ambientali o mancanza di spazio per il corretto inquadramento dell'oggetto (centri storici, tessuti urbani complessi e stretti etc.). È necessario creare una sovrapposizione verticale ed orizzontale tra i fotogrammi condividendo lo stesso centro ottico.

Ogni caso studio è differente, ciò comporta un diverso approccio per

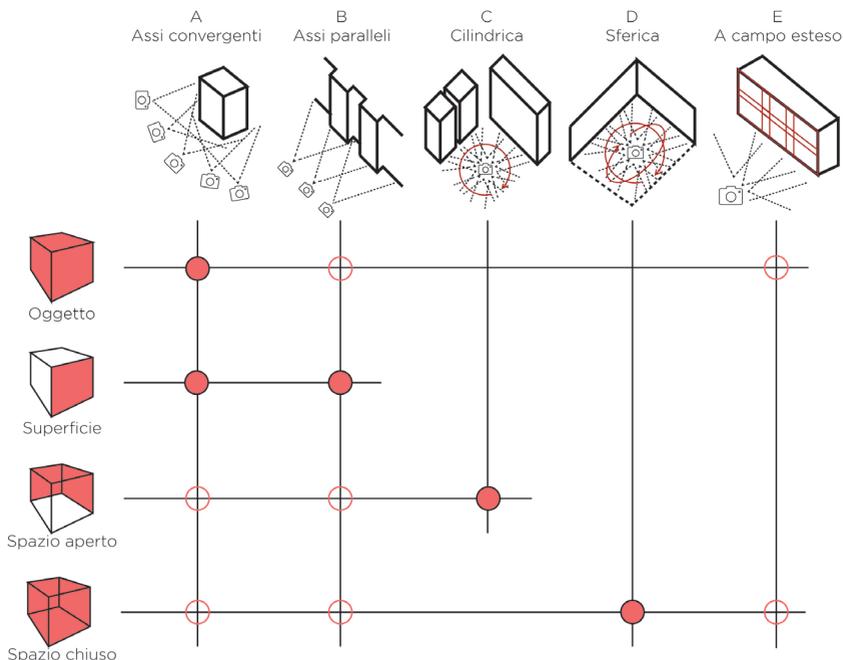


Fig 6 - Schema delle tecniche in base al soggetto della ripresa

Fonte: L. De Luca, la fotomodellazione architettonica, Palermo, Italia: Dario Flaccovio, 2011.

l'acquisizione dei dati, sarà quindi necessario individuare ogni volta una o più tecniche per ottenere la rappresentazione desiderata.

Negli ultimi anni sono stati introdotti, a fianco delle macchine fotografiche, dei nuovi dispositivi che permettono l'acquisizione di **immagini panoramiche**, in grado di ricoprire un ampio campo visivo. La **fotogrammetria sferica** ha trovato applicazione nel campo del rilievo, andando ad amplificare le possibilità di documentazione dal momento che una singola fotografia può sostituire molte immagini **riducendo i tempi e il numero di acquisizioni**.

Le immagini sferiche sono fotografie che coprono un campo di 360°

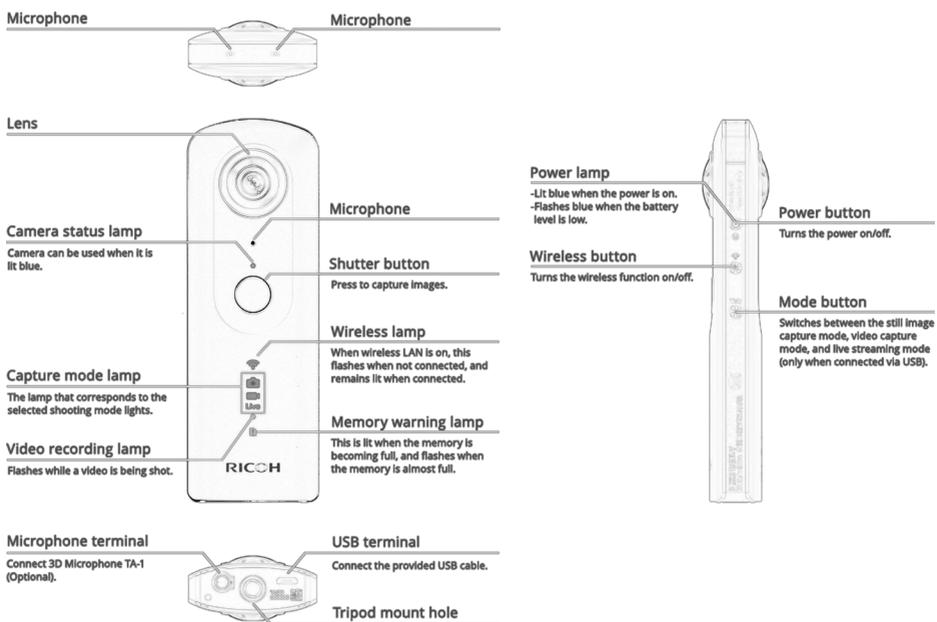


Fig 7 - Fotocamera sferica
Fonte: <https://theta360.com>

da un unico centro ottico: il punto nodale. Un panorama sferico, o una serie di essi, può essere utilizzato per la realtà virtuale, immergendo il soggetto all'interno della scena, ruotando il punto di vista si può

avere una visione completa dell'ambiente. Nell'ambito della fotogrammetria, le fotografie 360° vengono utilizzate perché consentono di estendere sul piano l'immagine della sfera, trasformando longitudine e latitudine in coordinate planari orizzontali e verticali, dove i poli della sfera sono rappresentati da due linee rette e parallele di lunghezza pari alla circonferenza, creando un panorama equirettangolare⁷.

Per utilizzare una fotografia piana ai fini fotogrammetrici, dalla quale ricavare la posizione spaziale di un punto è necessario che esso sia visibile almeno in due fotogrammi. Inoltre, è indispensabile conoscere i parametri di orientamento interno (posizione del punto principale, dimensione del fotogramma e distorsione focale etc.) oltre che i parametri di orientamento esterno relativi e assoluti (posizione relativa dei fotogrammi, scala ed orientamento assoluto del modello). Dalle fotografie sferiche è possibile, in modo analogo a quelle piane, procedere alle operazioni di orientamento e unione di più immagini per ottenere una **nuvola di punti**.

7. M. Cannella, Valutazioni sull'impiego della fotogrammetria sferica nella costruzione di modelli digitali 3D: l'oratorio della chiesa di Santa Caterina a Zejtun (Malta), DISEGNARECON, 2013.

3.2 LA MODELLAZIONE BIM

Una volta elaborati i dati è possibile utilizzarli per la creazione di un modello 3D, in modo da ricrearne le geometrie alle quali attribuire le informazioni alfanumeriche raccolte nella prima fase di acquisizione.

Negli ultimi anni la metodologia BIM si sta affermando, per la sua capacità di unire progettazione e gestione dati, ogni elemento del progetto ha associati i relativi parametri utili al progetto.

“Il BIM è anche un modello 3D, ma non tutti i modelli 3D sono BIM”⁸.

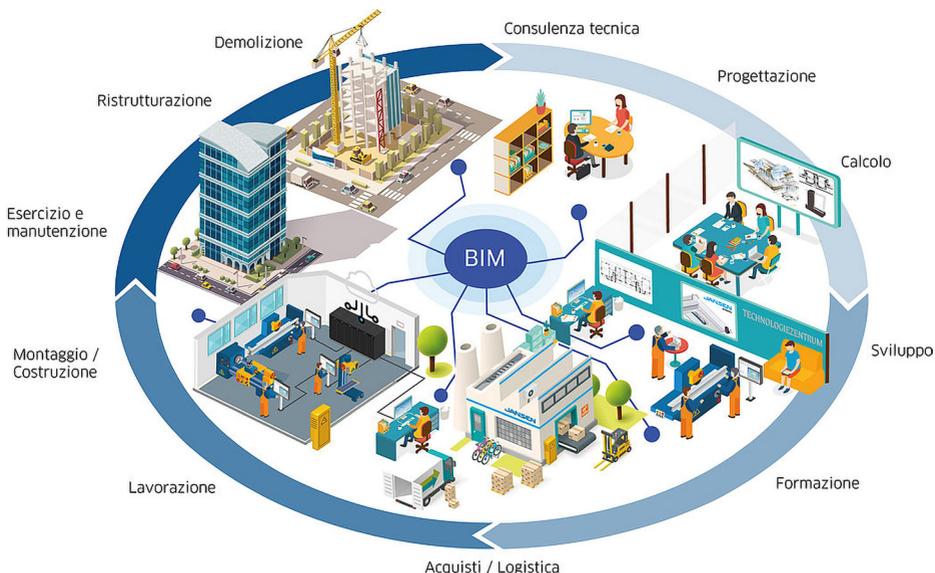


Fig 8 - Definizione illustrata di BIM
Fonte: <https://www.jansen.com>

L'acronimo BIM assume diversi significati:

- **Building** fa riferimento al sostantivo “Edificio” che al verbo “Costruire”.
- **Information** identifica l'insieme dei dati e delle informazioni che consentono la rappresentazione grafica ed identificano le caratte-

8. www.revitlandia.com Ultima consultazione.

ristiche fisiche e logiche di questi oggetti includendo informazioni non visibili.

- **Modelling** fa riferimento all'insieme dei processi di modellazione.
- **Model** si indica la rappresentazione dell'oggetto.
- **Management** che racchiude l'organizzazione, la gestione e il controllo del processo.

In questa tesi l'acronimo BIM viene utilizzato in accordo con Building Information Modeling.

Il BIM in questa accezione *“describe una metodologia di gestione intelligente dei processi edilizi, con riferimento ad un modello informatico dotato di informazioni, trasferibili ai diversi soggetti coinvolti (i professionisti) e agli strumenti (software) della filiera⁹”*.

3.2.1 DIFFERENZE CAD - BIM

Con la **metodologia CAD**, è necessario disegnare ogni singolo componente tutte le volte che esso, nelle diverse rappresentazioni (piante, prospetti, sezioni), risulta visibile. Con la **metodologia BIM** è sufficiente modellare un componente e posizionarlo in una delle viste, l'elemento sarà visibile in tutte le altre. Inoltre modificando le geometrie o aggiungendo informazioni, tale cambiamento sarà eseguito e visibile per l'intero progetto, rendendo così non più necessario l'intervento puntuale nei vari disegni.

Il BIM utilizzato nel settore AEC (Architettura, Edilizia e Costruzioni) mette in relazione le **informazioni** tangibili con quelle intangibili cioè

9. G. Postorino, Applicazione BIM based per la gestione di un intervento di ripristino e manutenzione straordinaria di un'infrastruttura esistente, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino, Facoltà di Ingegneria Civile, A. A. 2017/2018, p. 1.

possono essere integrate le informazioni utili, sotto forma di database digitale, per il ciclo di vita del progetto.

“È una inequivocabile rappresentazione digitale delle caratteristiche fisiche e funzionali del manufatto. Tale rappresentazione è costituita da oggetti digitali corrispondenti alle componenti del mondo reale [...] con associate relazioni, attributi e proprietà¹⁰”.

3.2.2 INTEROPERABILITÀ

Il BIM è sinonimo di **condivisione**, permette un'interazione tra le varie figure che ruotano intorno al progetto (architetti, ingegneri, impiantisti, appaltatori, costruttori, committenti ecc.), diventando un vero e proprio database dinamico.

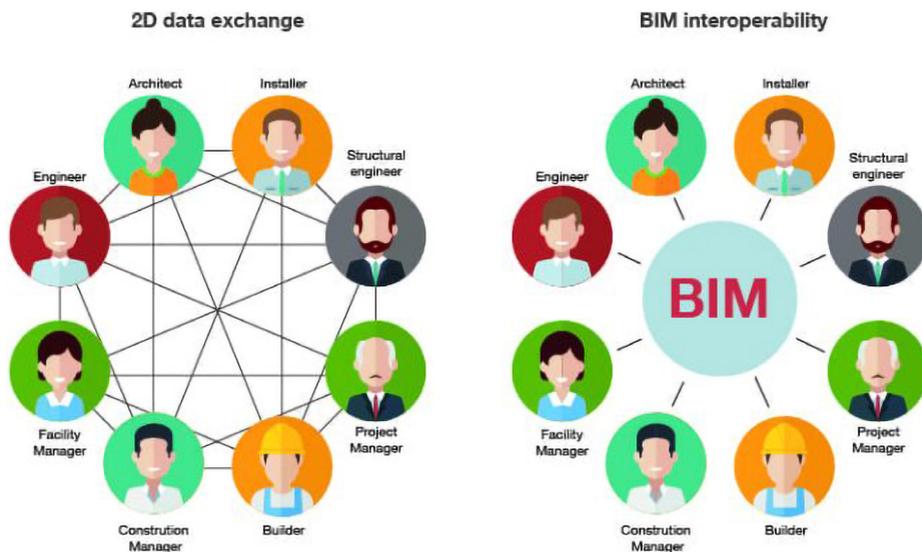


Fig 9 - Interoperabilità, confronto tra processo tradizionale e metodologia BIM
Fonte: <http://bim.acca.it>

10. A. Osello, Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, Palermo, Italia: Flaccovio, 2012.

È definita **interoperabilità**, la possibilità di collaborare simultaneamente al progetto. Creando un file centrale, condiviso tramite un servizio dedicato all'archiviazione in cloud, i progettisti coinvolti nella realizzazione del modello possono creare un file locale sul quale lavorare con la possibilità di sincronizzarlo per rendere visibili il proprio intervento al team. In oltre, grazie alla possibilità di effettuare analisi in merito alle diverse discipline sull'edificio ancora in fase progettuale, è possibile ottimizzare le soluzioni e i **costi**, riducendo di conseguenza i **tempi** e gli errori ad esso connessi.

“Una progettazione ottimale BIM tende a muovere il picco di utilizzo di risorse economiche e procedurali nella fase di progettazione preliminare, arco temporale in cui le scelte influenzano con meno impatto le risorse¹¹”.

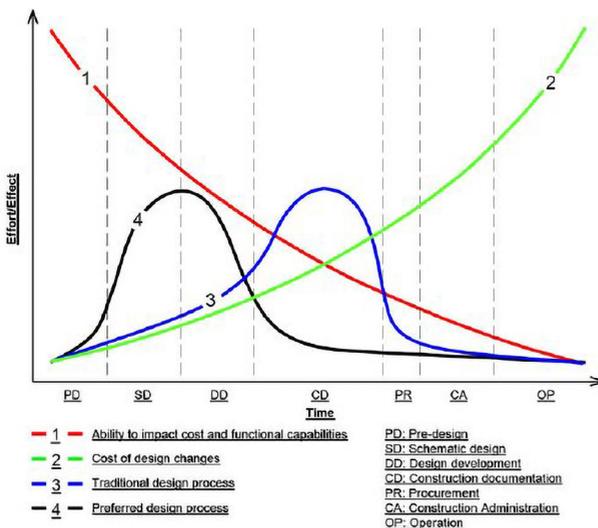


Fig 10 - Curva sforzo/effetto di Patrick MacLeamy.
Fonte: HOK, CURT 2004, p. 4

Nel grafico dell'architetto statunitense *Patrick MacLeamy* si delinea come, nella fase preliminare della realizzazione dell'opera, l'impiego

11. A. Osello, Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, Palermo, Italia: Flaccovio, 2012.

del BIM permetta un elevato grado di dettaglio e la scelta della strategia progettuale migliore, andando ad influire in modo positivo sui costi e sulla gestione del progetto. La metodologia classica che da un lato consente la cantierizzazione in tempi minori, dall'altro, riserva nelle fasi successive una mole maggiore di lavoro legata alla mancanza di informazioni, provocando interferenze e problemi di gestione in uno stato avanzato del progetto, in cui le scelte progettuali non sono più possibili e minimizzare gli effetti del problema comporta costi maggiori.

- La linea rossa (linea 1) rappresenta la diminuzione della capacità di apportare variazioni di costi, programma e funzioni.
- La linea verde (linea 2) mostra come il costo per apportare i cambiamenti aumenta notevolmente man mano che il progetto progredisce.
- La linea blu (linea 3) rappresenta la distribuzione degli sforzi di progettazione in un progetto tradizionale, quando le informazioni di progettazione vengono sviluppate in modo più sostanziale nella fase del documento di costruzione.
- La linea nera (linea 4) suggerisce una nuova distribuzione delle attività di progettazione nell'ambito di un modello di collaborazione completa, in cui informazioni sostanziali vengono raccolte, integrate e documentate in precedenza nel processo di progettazione, in parte a causa dell'input e della collaborazione di tutte le parti interessate. La linea rossa descrive il concetto critico del primo processo decisionale possibile per massimizzare la capacità di effettuare il cambiamento e minimizzare il costo potenziale delle modifiche del progetto (in particolare quelle causate dalla cattiva integrazione delle informazioni del progetto)¹².

12. HOK, Collaboration, Integrated Information and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation, CURT, 2004, p. 4.

3.3 IL MODELLO HBIM

La metodologia BIM è utilizzata prevalentemente per le nuove costruzioni ma può essere applicata al patrimonio costruito, adottando l'acronimo **HBIM** dove H significa **Heritage** (patrimonio) oppure **Historic** (storico). Il modello HBIM implementa le informazioni del modello BIM arricchendolo di contenuti quali: anno di costruzione, documenti di archivio, interventi di restauro effettuati e in progetto, dove i degradi vengono analizzati, definiti e quantificati.

La realizzazione di modelli HBIM, di un **Digital Twin**¹³ dell'edificio reale consente la pianificazione e la gestione dei progetti riguardanti il restauro, la protezione, la conservazione e la diffusione del patrimonio culturale.

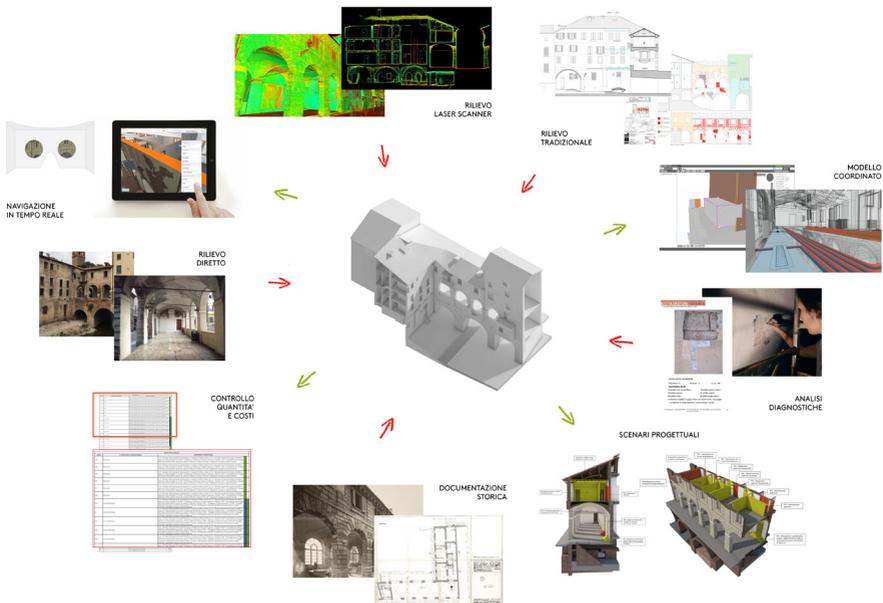


Fig 11 - Schema riassuntivo HBIM
Fonte: <https://www.bimportale.com>

13. "Il digital twin consente di costruire una copia virtuale dell'impianto reale, ma anche di una singola macchina, in grado di replicare in tutto e per tutto il funzionamento reale o di verificarne tutte le possibili alternative". R. Plana, 2017.

Normalmente il concetto del Digital Twin è applicato nel settore dell'*Industry 4.0*, ma a tutti gli effetti il modello HBIM rispecchia tali caratteristiche. Il Digital Twin è una copia dell'oggetto esistente, al quale attribuire dati e caratteristiche reali, in modo tale da poterlo utilizzare per le prove, evitando complicazioni che potrebbero causare gravi problemi in termini monetari e tempistici.

“Il patrimonio culturale tangibile, in particolare i beni immobili (monumenti, siti archeologici e così via), è il principale argomento di applicazione nei nuovi approcci. Un modello 3D digitale strutturato come parte del processo di miglioramento del patrimonio architettonico è oggi un bisogno urgente. Inoltre, il modello 3D digitale deve essere convertito in un quadro di riferimento cruciale per la comprensione e il monitoraggio della documentazione, creando in tal modo una fonte di dati (grafica e semantica) adatta a fornire assistenza in progetti di conservazione, restauro e ricostruzione¹⁴”.

Diviene quindi possibile, data una raccolta di dati alfanumerici, la **valutazione degli interventi**, dei relativi costi e periodi necessari per la **manutenzione/restauro** degli elementi costituenti l'edificio. È possibile massimizzare le prestazioni, riducendo la ridondanza dei dati dell'edificio rispetto alla metodologia classica, oltre al fatto che è possibile svolgere **attività di verifica** e controllo direttamente all'interno del software o tramite plug-in.

Nel momento in cui ci si confronta con un **edificio storico** ci si imbatte nella sua **unicità** dovuta alla sua realizzazione artigianale, ai processi subiti, alle modifiche e trasformazioni che si sono stratificate nel tempo che unite ai fenomeni di degrado hanno plasmato e mutato l'edificio. Il progettista si trova quindi a gestire una grande mole di

14. Penttilä et al. , 2007.

informazioni indispensabili per ottenere un corretto stato di conservazione dell'edificio.

vengono di seguito paragonati i benefici e gli svantaggi legati all'utilizzo della metodologia HBIM.

Vantaggi	Problemi
Gestire e coordinare le lavorazioni a livello interdisciplinare (interoperabilità)	Unicità dell'edificio storico
Database di informazioni di tutte le sue componenti	Grande quantità di informazioni necessaria per una conoscenza esaustiva degli elementi
Pianificazione e gestione del ciclo di vita del progetto	
Maggiore conoscenza degli aspetti costitutivi e delle peculiarità del manufatto	
Automatizzare la creazione di abachi con relative quantità, utili al progetto di restauro	

3.3.1 COMPONENTI

I **componenti** di un progetto sono tutti quegli elementi necessari alla creazione di tale modello, nello specifico all'interno del software **Auto-desk Revit** assumono la denominazione di **Famiglie**, ma tale concetto è traslabile ad altri software BIM. Il software utilizzato per la modellazione possiede una libreria interna fornita di elementi base per creare il progetto (elementi aggiuntivi sono reperibili online) ma, trattandosi della digitalizzazione di un edificio esistente, si è dovuti ricorrere alla creazione di nuovi componenti per soddisfare le esigenze specifiche di progetto.

Ogni elemento modellato appartiene ad una Famiglia, per esempio muri, pavimenti, soffitti, scale etc. rientrano tra gli elementi base dei modelli e sono **famiglie di sistema**. Questi elementi sono predefiniti all'interno dei progetti ma è possibile duplicarli e modificarli in modo che assumano le caratteristiche necessarie nel progetto. Oltre alle famiglie di sistema vi sono le **famiglie caricabili** che, come suggerisce il nome stesso, sono elementi esterni che possono essere caricate nel progetto. Tra queste sono compresi i componenti edilizi quali i ser-

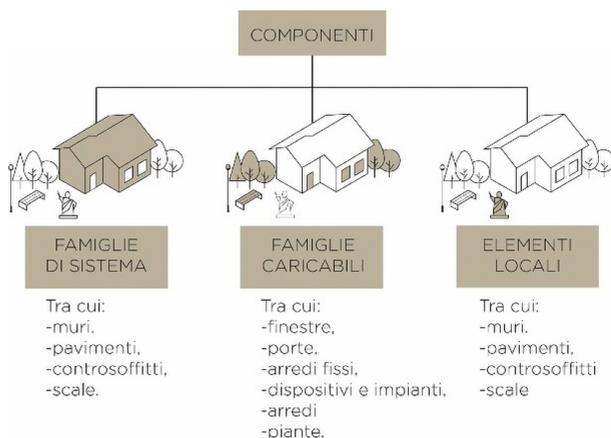


Fig 12 - Famiglie

ramenti, mobili, impianti oltre che simboli e cartigli. Infine ci sono le **famiglie create in-place** ossia direttamente nel contesto del progetto, sono essenzialmente utilizzate nel momento in cui non si prevede nessun possibile riutilizzo di tale elemento, ma possono aumentare di molto le dimensioni del file.

Va inoltre sottolineato che, nel momento in cui una Famiglia viene caricata nel progetto, con essa, oltre alle **geometrie**, vengono importate una serie di **informazioni** e **parametri** che la caratterizzano e che possono essere modificati. È pertanto importante conoscere le caratteristiche da attribuire all'elemento, in modo tale da sfruttarne le potenzialità che lo caratterizzano, facilitando così di costruzione del modello.

3.3 LOD

Durante le fasi preliminare collaborative, gli attori del progetto devono definire quale debba essere il livello di dettaglio di ogni elemento nelle fasi. Si definisce il **LOD (Level of Development)** ovvero il livello di dettaglio che si stabilisce per ottenere i risultati prefissati inserendo le informazioni solo dove richiesto, evitando perdite di tempo e aumento dei costi.

3.3.1 LOD SECONDO AIA

La scala LOD più utilizzata è il protocollo standard BIM della AIA (l'American Institute of Architects) con la norma **G202-2013 "Building Information Modeling Protocol"**. Tale norma determina 5 (Fig 13) livelli suddivisi a seconda del crescente **valore informativo** e **geometrico** che si attribuisce all'oggetto.

- **LOD 100** - Rappresentazione concettuale, solamente grafica;
- **LOD 200** - Rappresentazione con quantità approssimative, con informazioni per descriverne dimensioni, forma, localizzazione e orientamento;
- **LOD 300** - Rappresentazione geometrica precisa e informazioni pari al LOD 200;
- **LOD 400** - Rappresentazione adeguata alla costruzione, con informazioni per descriverne dimensioni, forma, localizzazione e orientamento con dettagli, indicazioni sulla fabbricazione e le modalità di installazione;
- **LOD 500** - Rappresentazione come realizzato (As built) gli elementi sono stati verificati sul campo in termini di misura, forma, localizzazione, quantità e orientamento.

La normativa esplicita la distinzione tra Dettaglio e Sviluppo definen-

do la **quantità di informazioni** del modello¹⁵.

3.3.2 LOD SECONDO LA NORMA UNI 11337:2017 ITALIANA

In Italia la normativa **UNI 11337:2017-4** dedicate all'“Evoluzione e sviluppo informativo dei modelli, elaborati e oggetti” definisce gli standard:

- LOG: livello di sviluppo dei contenuti geometrici;
- LOI: attributi ad esso associati.

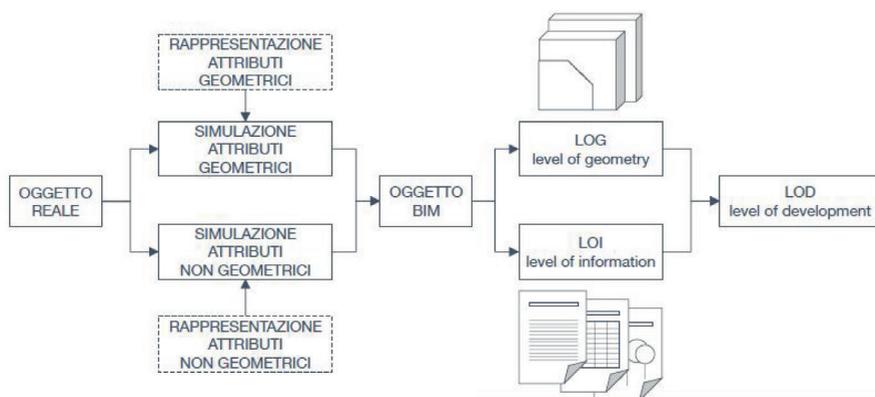


Fig 13 - LOD secondo la normativa italiana
Fonte: <https://www.assoacmi.it>

La classificazione è così costituita:

- **LOD A:** oggetto simbolico. Rappresentazione simbolica in 2D o anche 3D se necessario. Non esprime vincoli di geometria. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono puramente indicative.
- **LOD B:** oggetto generico. Rappresentazione geometrica generica o la geometria di ingombro. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono approssimate.

15. <https://www.ingenio-web.it>

- **LOD C:** oggetto definito. Rappresentazione geometrica definita. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono definite in via generica. Sono applicabili a tutte le entità simili.
- **LOD D:** oggetto dettagliato. Rappresentazione geometrica dettagliata. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono specifiche di una pluralità di prodotti simili. Vengono inserite informazioni utili al montaggio ed alla manutenzione.
- **LOD E:** oggetto specifico. Rappresentazione geometrica specifica. Le caratteristiche qualitative e quantitative sono specifiche di un singolo sistema. Sono presenti informazioni relative a fabbricazione, assemblaggio e installazione (oltre a quanto utile per la manutenzione).
- **LOD F:** oggetto eseguito. Rappresentazione geometrica specifica di quanto eseguito (verificata sul luogo). Le caratteristiche qualitative e quantitative sono quelle specifiche del prodotto posato. Sono presenti informazioni relative a fabbricazione, assemblaggio e installazione (oltre a quanto utile per la manutenzione) valide per tutto il ciclo vitale dell'opera.
- **LOD G:** oggetto aggiornato. Rappresentazione storicizzata specifica dello specifico oggetto (verificata sul luogo). Le caratteristiche qualitative e quantitative sono quelle specifiche del prodotto posato ed aggiornate rispetto ad un precedente stato di fatto. Sono presenti informazioni relative a gestione, manutenzione e/o riparazione/sostituzione valide per tutto il ciclo vitale dell'opera. Viene inoltre registrato il livello di degrado dell'oggetto¹⁶.

16. M. Stefani, I LOD nella UNI 11337:2017. Harpaceas, 2017.
<https://www.ingenio-web.it>

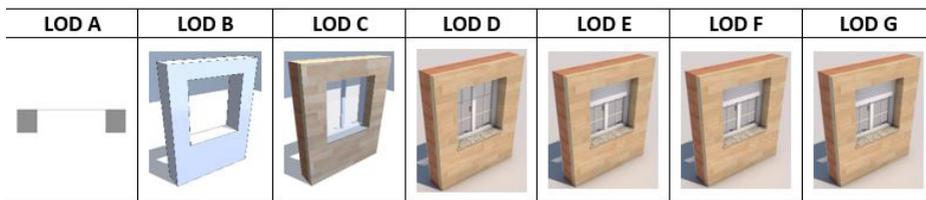


Fig 14 - Esempio caratteristiche dei LOD
 Fonte: <https://www.ingenio-web.it>

I **LOD F** e **G** sono dedicati al **restauro** e alla **manutenzione/conservazione**. Il primo esprime l'”**as built**” rilevato con tutte le caratteristiche presenti nel reale, dando peso alle eventuali forme di degrado, alla programmazione temporale degli interventi previsti e alla presenza di eventuali certificati di collaudo. Il secondo, LOD G, raccoglie nel modello virtuale lo storico degli interventi eseguiti sul manufatto e rappresenta l'”**as is**”. In modo tale da essere aggiornato con data di manutenzione/sostituzione, tipologie di intervento e il soggetto che agisce su di esso.

4 | DAL MODELLO BIM ALLA VISUALIZZAZIONE

La visualizzazione dei modelli assume un ruolo importante nel contesto BIM. Si possono trovare molteplici motivi per cui un modello di un edificio può essere visualizzato grazie alle nuove tecnologie. Possono essere motivi prestabiliti nelle fasi di progettazione, per interessi particolare, per ricreare qualcosa che non è più presente o che sarà realizzato e così via dicendo. L'interoperabilità tra i software e l'ausilio di plug-in rende possibile definirne e contestualizzare le scene rendendole realistiche.

4.1 PROGETTAZIONE PARTECIPATA

La progettazione partecipata si può definire come un metodo di **indagine**, di **creazione collaborativa**, volto a coordinare la conoscenza e le opinioni di ogni individuo. Nel campo architettonico assume un approccio programmatico incentrato sulle persone e sul confronto tra i progettisti, la comunità legata all'edificio e gli utenti interessati agli sviluppi futuri. L'utente mediante un **questionario**, che può essere cartaceo oppure online, viene posto di fronte a diverse prospettive di sviluppo possibili, per le quali deve esprimere giudizi di gradimento, la volontà o meno di vedere realizzato qualcosa e dichiarare preferenze.

4.2 LA VISUALIZZAZIONE

Lo sviluppo tecnologico ha portato alla nascita nuovi metodi di visualizzazione che hanno sostituito le tradizionali quali cartaceo e semplici modelli tridimensionali.

Queste nuove tecniche sono **Augmented Reality (AR)**, **Virtual Reality (VR)** e **Mix Reality (MR)**, permettono una raffigurazione più immersiva (artificiale) digitale e una combinazione con la realtà reale in cui gli utenti possono interagire. Il professor Paul Milgram con lo **Spettro di Realtà Mista** ha definito le varie realtà virtuali e aumentate.

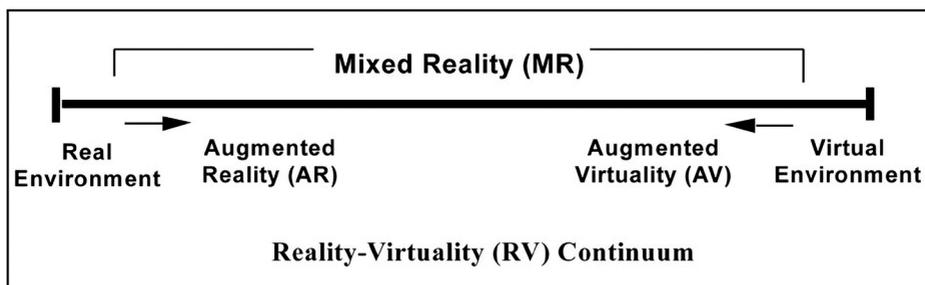


Fig 15 - Milgram Mixed Reality Spectrum presentato nel 1984.

Fonte: P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, F. Kishino, Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum, Kyoto, Japan: ATR Communication Systems Research Laboratories, 2017.

Lo schema è una scala continua che si sviluppa tra la realtà reale e virtuale, all'interno ci sono tutte le possibili combinazioni di oggetti reali e virtuali. Mentre la realtà mista si sviluppa tra i due estremi, in cui la realtà reale e virtuale si mescolano; questo campo è rappresentato dalla Realtà Aumentata, la realtà reale viene implementata dalla Realtà Virtuale, e dalla virtualità aumenta, in questo caso è la realtà reale che implementa quella virtuale¹⁷.

17. P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi, F. Kishino, Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum, Kyoto, Japan: ATR Communication Systems Research Laboratories, 2017.

4.2.1 REALTÀ AUMENTATA (AR)

La **Realtà Aumentata** consiste nella **combinazione di elementi digitali con elementi reali**, aumentando le informazioni del mondo reale, e avviene attraverso l'utilizzo di dispositivi AR. Rispetto alle altre realtà ha un ampio pubblico di consumatori perché può essere più facilmente raggiungibile, ovvero viene fornito su hardware che si possiedono come lo smartphone. Per lo più si ha la possibilità di utilizzarlo quotidianamente avvantaggiando il modo di vivere e di interagire degli utenti. L'AR è meno immersiva rispetto alla Realtà Virtuale perché non discosta l'utente dal mondo reale.

Dispositivi:

- La prima apparizione di AR è dovuto grazie al lavoro di **Ivana Sutherland** nel 1968 con l'invenzione di un **visore indossabile**¹⁸.
- **Smart glass**, occhiali intelligenti, dotati di un display che permettono la visualizzazione di contenuti web, messagistica e l'interazione con il mondo reale. Alcune aziende hanno sfruttato queste tecnologie per assistere i portatori di handicap e i lavoratori durante le implicazioni¹⁹.

I socialnetwork come Facebook, Snapchat e Instagram hanno sviluppato una serie di Realtà Aumentata integrandoli nei sistemi operativi dello smartphone, studiati per essere applicati al mondo reale.

Esempi:

Inizialmente la realtà aumentata è stata applicata a un campo più ristretto, militare e di ricerca, solo nel 2009 si è ampliata negli altri campi. Infatti c'è un ottimo riscontro di questa tecnologia nel settore turistico

18. <https://medium.com>

19. <https://www.solotablet.it>

e industriale. Soffermandoci più nel settore terziario, la scelta dell'AR permette di migliorare e arricchire le visite autonome, infatti molti sono le città e i musei che hanno adottato l'AR.

- “**L'Ara com'Era**” (Fig 16) è un percorso in realtà aumentata del Museo Dell'Ara Pacis. Si tratta di racconti multimediale in cui elementi virtuali e reali si incontrano per spiegare le origini di Roma e della famiglia di Augusto. Viene utilizzata una combinazione di Realtà Virtuale e aumentata. Il percorso museale è accompagnato da questo sistema di animazione aumentata, dove tutto prende forma, e sono gli stessi personaggi che hanno fatto la storia a raccontare i fatti storici²⁰.



Fig 16 - “L'Ara com'Era”: AR dell'altare della Pace
Fonte: <https://theparallelvision.com>

20. <http://www.arapacis.it>

- La **città di Breda** (Fig 17) è una delle prime città ad avere sfruttato questo sistema tecnologico avviando il **turista** alla conoscenza dei luoghi e monumenti di interesse storico e artistico. L'utente scarica l'applicazione sul proprio smartphone che lo avviserà quando sarà vicino a un monumento storico o artistico e inizierà a raccontare, tramite animazioni e voce esterna, la breve **storia dell'opera**²¹.



Fig 17 - La Realtà Aumenta della città di Breda
Fonte: <https://breda-studentenstad.nl>

- La **visualizzazione dell'eredità culturale** per il patrimonio storico-artistici che non può più essere restaurato o ripristinato. Per un turista inesperto diventa difficile immaginare la forma originale. La realtà aumenta, in questo caso, aiuterebbe i visitatori a visualizzare le parti mancanti o degradate, che vengono ripristinate virtualmente. Ne è un esempio la **Black Church** (Fig 18) cattedrale principale di Brasov in Romania che a causa di avvenimenti bellici è stata danneggiata diverse volte cambiando l'aspetto. La realtà aumenta ha portato al ripristino virtuale delle statue²².

21. <https://capitola-vr.com/projects/breda-ar-city-tour/>

22. F. Girbacia, S. Butnariu, A. Orman and C. Postelnicu, Virtual restoration of deteriorated religious heritage objects using augmented reality technologies, European Journal of Science and Theology, 2013.



Fig 18 - Utilizzo di Tablet PC per la percezione del modello 3D ricostruito localizzato presso la Black Church

4.2.2 REALTÀ VIRTUALE (VR)

La **Realtà Virtuale** è la visione in cui l'utente è **immerso totalmente in un ambiente virtuale**, che può o meno imitare il mondo reale. Essa è costituita da oggetti virtuali generati dai computer e la visualizzazione può essere su monitor o immersiva. Inizialmente è stata applicata nel campo del videogame e solo in un secondo momento pensati come sviluppo tecnologico in aree più disciplinari, quali cultura, arte, istruzione ecc..

La **VR** è stata applicata nel settore **turistico**, come musei e luoghi di intrattenimento, migliorando il campo **educativo** e **divulgativo**. La Realtà Virtuale tende a immergere l'utente in un mondo costruito graficamente isolandolo dal mondo reale²³.

Dispositivi:

I visori sono i dispositivi per la Realtà Virtuale immersiva. Sul mercato c'è una vasta gamma di dispositivi:

23. <https://www.aniwaa.com/guide/vr-ar/ultimate-vr-ar-mr-guide/>

- **Google Cardboard**, è un semplice visore di cartone che utilizza lo smartphone per immergersi nella Realtà Virtuale.
- **Oculus Rift** dotato di uno schermo OLED, di una serie di sensori per il movimento, di un microfono e una cuffia che riproducono l'audio in 3D.
- **Htc Vive** è una tecnologia immersiva che grazie alla videocamera integrata si può vedere cosa succede intorno, quindi non isola totalmente l'utente.

Esempi:

- **Kremer Collection** (Fig 19), si tratta di un museo di 74 dipinti antichi che utilizza la Realtà Virtuale. Ogni opera è stato fotografato da 2.500 a 3.500 volte con il metodo della fotogrammetria. I visitatori possono esaminare i dipinti in profondità, osservando i colori, la superficie e il retro dell'opera.



Fig 19 - La collezione di opere della Kremer Collection
Fonte: <https://www.viveport.com>

- Il **Museo Nazionale della Finlandia** (Fig 20), nel 2018 ha aperto una mostra VR, questa tecnologia permette di immergersi nel dipinto di RW Ekman the Opening of the Diet 1863 di Alessandro II, questa tecnologia ti permette di interagire con i personaggi. È una mostra che mette in risalto il periodo politico finlandese degli anni 1860.



Fig 20 - Illustrazione del dipinto the Opening of the Diet 1863 di Alessandro II
Fonte: <https://www.museumnext.com>

4.2.3 REALTÀ MISTA (MR)

La **Realtà Mista (MR)** consiste nella **combinazione di tecnologie** in un unico display, ovvero si tratta di contenuti digitali che interagiscono con elementi del mondo reale mondo.

Dispositivi:

- **Microsoft HoloLens**, è uno dei dispositivi che permette l'esperienza della realtà mista, utilizzato molto nel campo medico, guida i medi-

ci durante le operazioni difficili, e aziendali, insegnando e migliorando le prestazioni ai dipendenti²⁴.

4.2.4 REALTÀ ESTESA (XR)

La **Realtà Estesa (XR)** racchiude in un tutt'uno Realtà Aumentata, Realtà Virtuale e Realtà Mista, aggiungendo la funzione di intelligenza artificiale (AI). Il termine è stato coniato per raggruppare tutte le tecnologie d'interazione visiva tra reale e digitale.

24. <https://www.aniwaa.com/guide/vr-ar/ultimate-vr-ar-mr-guide/>

4.3 SOCIAL MEDIA - SOCIAL NETWORK

La differenza tra Social Media e Social Network è molto sottile.

I **Social Media** sono un mezzo attraverso i quali è possibile **trasmettere contenuti** ad un pubblico in modo bidirezionale, aggiunge al tradizionale media (tv, giornali e radio) una componente sociale consentendo lo scambio tra il produttore di contenuti e il fruitore. I Social Media permettono la condivisione di immagini, video, file audio e testi in grado di raggiungere istantaneamente il pubblico.

“I social media sono un gruppo di applicazioni basate su internet e costruite sui principi ideologici e tecnologici del Web 2.0 che permettono la creazione e lo scambio di contenuti generati dall'utente²⁵”.

I **Social Network** sono **strutture sociali**, reti esistite da sempre che nascono dalle relazioni tra persone, le quali condividono tra loro interessi. Il termine, trasposto online, *virtualizza* tale comunità.

I primi descritti sono uno strumento online utile a condividere i contenuti e raccoglie file multimediali, possono essere identificati come Social Media i blog, i forum internet, podcast ecc. sono invece Social Network Facebook, Instagram, Twitter, Pinterest ecc.

I Social Media rappresentano lo spazio virtuale che rende possibile lo scambio e l'interazione delle persone, seguendo questa visione i Social Network possono essere visti come un sottoinsieme dei Social Media²⁶.

Anche per il settore AEC (Architettura, Ingegneria e Costruzione) i Social Media sono diventati un punto strategico per la gestione dei

25. A. Kaplan e M. Haenlein, 2009

26. <http://webcrew.it/differenze-social-media-social-network/>

progetti e il miglioramento delle attività di collaborazione tra i diversi professionisti. La condivisione del modello, al quale ognuno apporta le proprie conoscenze, garantisce l'aggiornamento costante delle informazioni. La chiave del successo del BIM è la condivisione aperta e collaborativa tra persone e organizzazioni.

4.3.1 ANALISI DELL'UTILIZZO

Un sempre più ampio numero di persone si avvicina ai Social Network, dove è possibile interagire con gli altri utenti, pubblicare fotografie, video, file multimediali, momenti della propria vita o anche a scopo lavorativo, infatti è possibile promuovere un'attività o sponsorizzare eventi. In particolare alcuni paesi stanno variando in termini di utilizzo i social network e, **a livello mondiale**, l'utilizzo di tali tecnologie è in costante aumento (Fig 21) è quanto emerge dalle indagini svolte da *Hootsuite*.

DIGITAL AROUND THE **WORLD** IN 2019

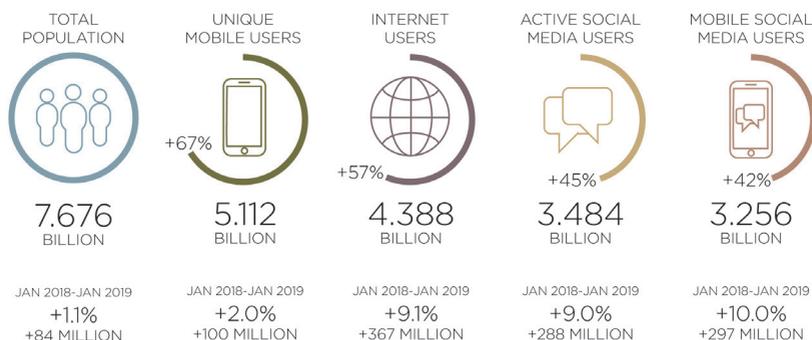


Fig 21 - Dati dell'uso globale di dispositivi mobili, internet e social media giugno 2019 e variazione dei dati 2018-2019

Fonte: <https://hootsuite.com>

Confrontando i dati del 2019 con l'anno precedente si può notare che la popolazione ha subito una variazione del +1.1% e che il numero di

internauti aumenta in maniera esponenziale. Gran parte del merito va attribuita ai dispositivi mobili (utilizzati dal 52% della popolazione mondiale) che rispetto al 2018 aumenta del +2%. Aumentano anche gli utenti internet (+9.1%), gli utenti dei social media (+9.0%) e viene riscontrato un incremento anche di coloro che accedono ai social da dispositivi mobili (+10%).

Concentrando l'attenzione sui **Social Media** vediamo che, a livello globale, sono attivi **3.484 bilioni di utenti**, pari al 45% della popolazione totale e che il 42% vi accede tramite dispositivo mobile. Gli utenti a livello globale trascorrono 2 ore e 16 minuti ogni giorno sui Social, tempo in crescita rispetto agli anni precedenti (+0.7% rispetto al 2018). Anche la percentuale degli utenti che utilizzano i Social per motivi **promozionali, pubblicitari e lavorativi** è in costante aumento.

Il mondo dei Social, sempre sulla base dei dati forniti da Hootsuite, è in costante movimento, anche essi seguono delle *“mode”*, alternando periodi di grande crescita a fasi di perdita di utenti.

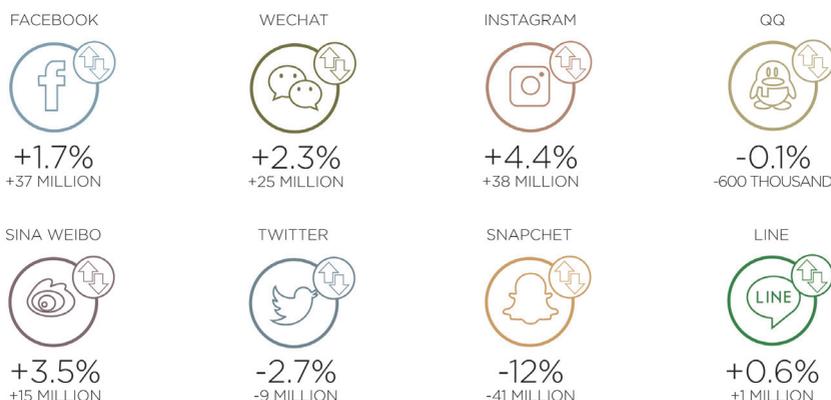


Fig 22 - Cambiamento degli utenti attivi sui social
Fonte: <https://hootsuite.com>

Evince dall'immagine che riporta il grafico delle percentuali di utilizzo dei maggiori **Social Network** (Fig 22) come questo andamento sia distribuito a livello globale. Se da un lato gli utenti di Facebook, WeChat, Instagram crescono, altri Social di grande successo, come Twitter e Snapchat, perdono attenzione.

I Social possono essere confrontati anche in base ai minuti di **utilizzo**, nell'immagine seguente (Fig 23) vengono confrontati i più utilizzati nel 2018 (*Twitter, Facebook, Instagram e Snapchat*).

SOCIAL NETWORK'S SHARE OF TIME

Share of Combined Minutes for Major Social Networking Apps

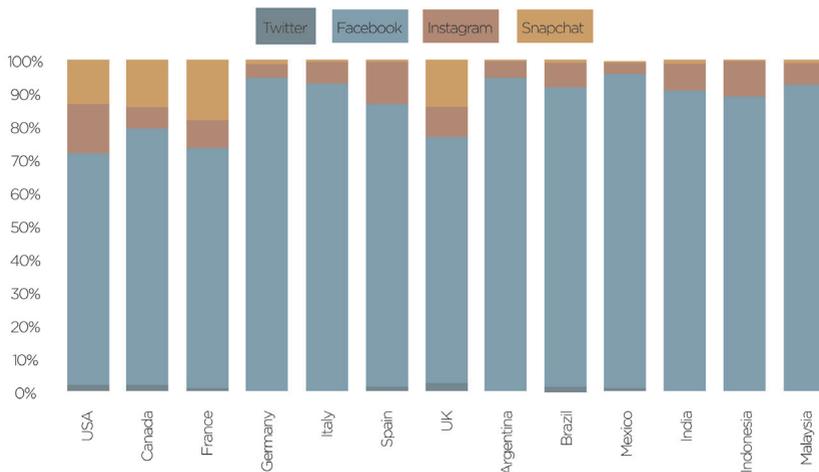


Fig 23 - Confronto tempo speso su Twitter, Facebook, Instagram e Snapchat a livello mondiale
Fonte: <https://www.smartinsights.com>

Concentrandoci ora sui dati relativi all'**Italia** si vede che, nonostante la popolazione sia in diminuzione (-0.1%), gli utenti internet e dei Social sono in aumento

DIGITAL IN ITALY_2019

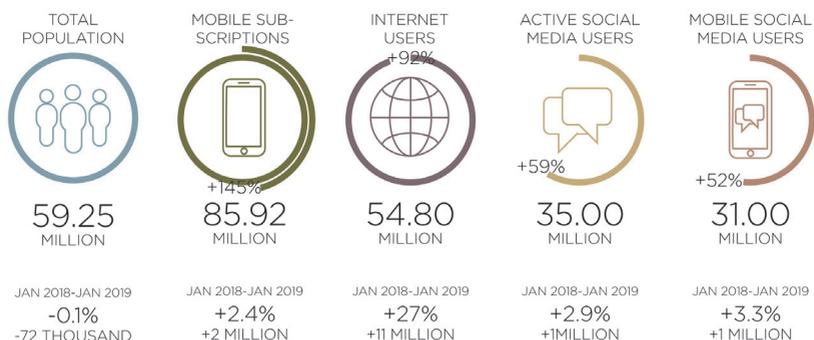


Fig 24 - Dati dell'uso in Italia di dispositivi mobili, internet e social media giugno 2019 e variazione dei dati 2018-2019
 Fonte: <https://hootsuite.com>

Da come riportato in figura (Fig 24), è notevole l'aumento (+ 27%) rispetto al 2018 degli utenti internet in Italia, pari ad un incremento di +11 milioni, allo stesso tempo aumentano gli utenti attivi sui Social (+2.9%). Secondo le analisi effettuate da Hootsuite il 92% della popolazione totale (pari a 54.80 milioni) è un utente attivo di internet e l'85% utilizza un dispositivo mobile per accedervi (pari a 50.14 milioni). Per quanto riguarda i Social in Italia i dati rivelano che sono 35.00 milioni gli utenti attivi, pari al 59% della popolazione totale, utilizzandoli per una media giornaliera di 1 ora e 51 minuti. La percentuale di utenti che utilizza i social a scopi lavorativi è pari all'11% del totale, molto minore rispetto alla percentuale globale pari al 24%. I dati riportati nel grafico (Fig 25) sono il risultato di un'indagine effettuata da Hootsuite.

27. <https://en.wikipedia.org>

MOST ACTIVE SOCIAL MEDIA PLATFORMS

Percentage of internet users who repositing each platform (survey based)

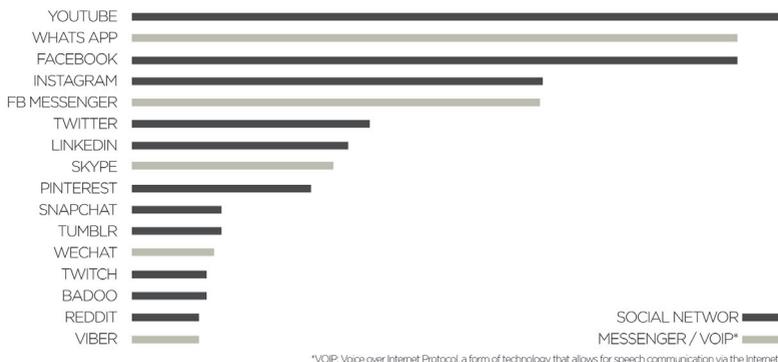


Fig 25 - Piattaforme social più utilizzate

Fonte: <https://hootsuite.com/pages/digital-in-2019>

I Social risultano essere un punto di incontro tra chi ha un “elemento” da promuovere e chi ne è interessato, per questo motivo la presente tesi si pone come scopo quello di rendere visibile il progetto del Santuario del Trompone anche sui social network. Partendo dai dati citati, dai riscontri del questionario e dalle dovute valutazioni si è giunti a selezionare Facebook e Instagram come social sul quale importare un modello BIM.

4.3.2 FACEBOOK

I Social hanno fortemente modificato il modo in cui reperiamo le informazioni e, come visto dalle analisi di utilizzo, Facebook raccoglie il maggior numero di **utenti**.

Facebook, Inc. è una società americana di servizi di social network online con sede a Menlo Park, California a scopo commerciale. Il primo progetto, Facemash fu creato da **Mark Zuckerberg** nel 2003 mentre frequentava il secondo anno all’università di Harvard. Successivamente nel 2004, sempre ad Harvard, Mark Zuckerberg e diversi colleghi,

tra cui Eduardo Saverin, Andrew McCollum, Dustin Moskovitz e Chris Hughes, creano Facebook per gli studenti dell'Università. Il nome si rifà all'elenco che alcune università distribuiscono ad inizio anno, dove accanto al nome degli studenti si trova una loro foto, in modo tale da aiutare gli iscritti a socializzare.

Molto presto fu aperto anche ad altre scuole. Dal 2006, a chiunque dichiararsi di avere almeno 13 anni è stato permesso di diventare un utente registrato di Facebook, sebbene ciò possa variare a seconda delle leggi locali.

Il servizio è accessibile da dispositivi dotati di connessione internet, quali smartphone, tablet e computer.

I suoi utenti globali, nel corso degli anni, sono aumentati fino a farlo classificare come primo servizio di rete sociale per numero di utenti attivi. Gli utenti registrati al sito possiedono un **profilo personale** che raccoglie le **informazioni che si vogliono condividere** con gli altri utilizzatori. Nel proprio profilo, sulla bacheca, è possibile condividere testi, foto, video e contenuti audio che gli "amici di Facebook" possono **visualizzare, commentare e mettere like**²⁷.

Le notizie su Facebook vengono visualizzate in **post** che possono essere apprezzati, commentati e condivisi dagli utenti. Un like è di solito un feedback positivo su una notizia. Una condivisione indica il desiderio di diffondere una notizia agli amici. Un commento può avere molteplici caratteristiche e significati e può generare un dibattito collettivo²⁸.

27. <https://en.wikipedia.org>

28. N. A. Schmidt, F. Zollo, M. Del Vicario, A. Bessi, A. Scala, G. Caldarelli, H. Stanley e W. Quattrociocchi, Anatomia del consumo di notizie su Facebook, PNAS, 2017.

INTRODUZIONE

Durante il 2018 Facebook ha permesso ai suoi utenti di creare **post 3D**. Era sufficiente esportare un file obj, convertirlo nel formato glTF 2.0 binario (.glb) e trascinarlo all'interno del nuovo post. Automaticamente si otteneva un **modello 3D** che era possibile ruotare e visualizzare²⁹. Questa funzione, che a prima vista potrebbe sembrare superflua, è stata un'opportunità per artisti e creatori che hanno potuto condividere i propri lavori, presentando al pubblico un modello di qualità e ricco di dettagli grazie anche alla possibilità di pubblicare modelli texturizzati. Alcuni tra gli esempi che si possono trovare online sono il *pappagallo di Lego*, un *salotto virtuale di Wayfair* e un *dinosauro del mondo giurassico* (Fig 26)³⁰.

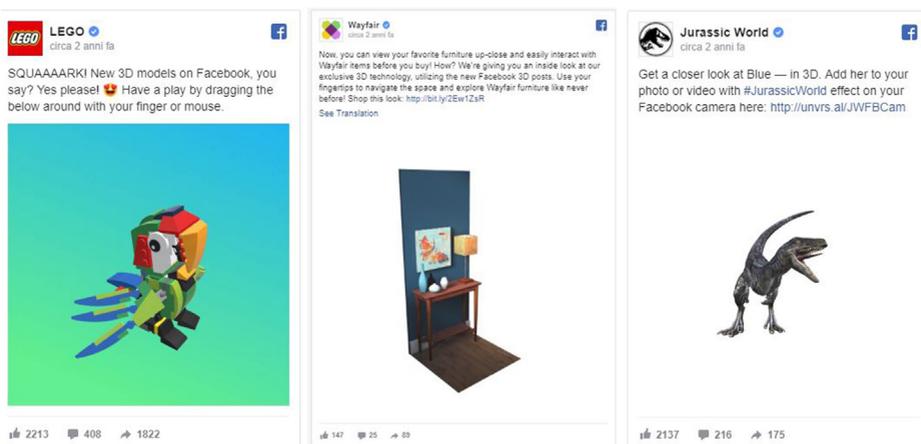


Fig 26 - Modelli 3D postati su Facebook
Fonte: <https://www.facebook.com>

29. <https://developers.facebook.com>

30. <https://developers.facebook.com/blog/post/2018/02/20/3d-posts-facebook/>

Purtroppo questa opzione di condivisione è stata revocata e sostituita con le **fotografie 3D**.

L'effetto della visualizzazione non è lo stesso:

- **Post 3D** permetteva di ruotare di 360 gradi il modello
- **Fotografia 3D**, essendo immagini (.jpg), crea un effetto di profondità ed è possibile muoverle ma di soli pochi gradi.

La funzione di Facebook che permette la condivisione di fotografie 3D, rendendo le immagini più coinvolgenti, si basa su una “**Depth Map**” ossia la percezione della profondità dell'immagine. Il risultato finale è un'**immagine pseudo tridimensionale** che varia la prospettiva a seconda di come si scorre o si inclina il proprio smartphone.

Questa funzione in alcuni smartphone è già integrata nella fotocamera del dispositivo e permette di acquisire fotografie 3D che possono essere pubblicate online³¹.

31. <https://www.oculus.com/blog/introducing-new-features-for-3d-photos-on-facebook/?fbclid=IwAR0j1c2k-vJcTu5TpUb13xITdYHg8khhQbmgjciBtkZAUWef9Zv9BpSRK1s>

4.3.3 FUNDRAISING E CROWDFUNDING

Il **fundraising**, tradotto in italiano come **raccolta fondi**, è un'azione mirata a reperire finanziamenti in termini monetari per **sostenere** e sovvenzionare progetti, **cause e attività di carattere sociale**. Si attuano strategie di pianificazione per sostenere le organizzazioni non profit con prospettive a lungo termine. I donatori tendenzialmente sono fidelizzati e donano spesso, non abbandonando l'organizzazione anche per diversi anni. Il fundraising si sviluppa attorno alle relazioni che assumono un aspetto fondamentale, le persone sono il motore che rende possibile la raccolta fondi, le quali vengono costantemente tenute in aggiornamento e ringraziate per il loro supporto³².

Il **crowdfunding** è invece una delle possibili forme di raccolta fondi di cui si serve il fundraising. Si sviluppa per ottenere un certo obiettivo mirato per il quale è possibile fare delle **donazioni online** (donazioni anche di pochi euro) in un lasso di tempo determinato. Le regole che governano il sistema sono la trasparenza e la comunicazione con i donatori.

Esistono molte piattaforme per il crowdfunding e quelle più utilizzate sono:

- **Kickstarter.com**, è una piattaforma facilmente usufruibile, dove vengono definiti gli obiettivi e le scadenze. L'unica regola è se non si riesce ad arrivare all'obiettivo si ottiene nessuna donazione, governa il sistema principale è se non si riesce ad arrivare allo scopo entro la scadenza non si riceve nessuna donazione.
- **GoFoundMe** è una piattaforma orientata per la beneficenza e del

31. <http://www.unaerredueti.it/fundraising-e-crowdfunding-quali-differenze/>

non profit. Viene utilizzata per gli eventi sociali e progetti benefici. Una delle regole principali del crowdfunding è la **comunicazione**, cosa se non meglio dei **Social Network** che riescono a coinvolgere un pubblico più ampio. Un importante caso è il ruolo che **Facebook** che ultimamente ha vestito. Sulla questa piattaforma sociale è possibile creare una raccolta fondi per una causa³².



PERCHÉ
NON A ME?
Donando il tuo 5x1000
puoi aiutare Elena
e i tanti, troppi bambini
che vivono
in povertà in Italia.
5x1000.alberodellavita.org
Sulla tua dichiarazione
dei redditi, scrivi
04504550965

Fondazione L'Albero
della Vita - onlus ✓
Organizzazione no-profit

Mi piace

Fai una donazione

Fig 27 - Raccolta fondi su Facebook, Fondazione L'Albero della Vita - onlus
Fonte: <https://www.facebook.com/albero.della.vita.onlus>

32. <https://www.ionos.it/startupguide/avvio/piattaforme-di-crowdfunding/>

5 | IL SANTUARIO DEL TROMPONE

Il complesso del Santuario del Trompone è situato nelle campagne del comune di Moncrivello, lungo la SS 595 “di Mazzè” tra i Comuni di Cigliano e Villareggia. in provincia di Vercelli.

Il Santuario sorge dove avvenne l'apparizione della Beata Vergine, testimoniata dal miracolo portentoso della guarigione di Domenica Millianotto, una donna ricurva (camminava a stento appoggiandosi ad un bastone), balbuziente e dai sei anni gravemente ammalata del “mal caduco” (epilessia). La donna vide la Beata Vergine Maria sul tronco di un castagno potato di tutti i rami, in dialetto locale “trumpa”, (“trompone”, trompone, perché quel tronco era molto grosso).

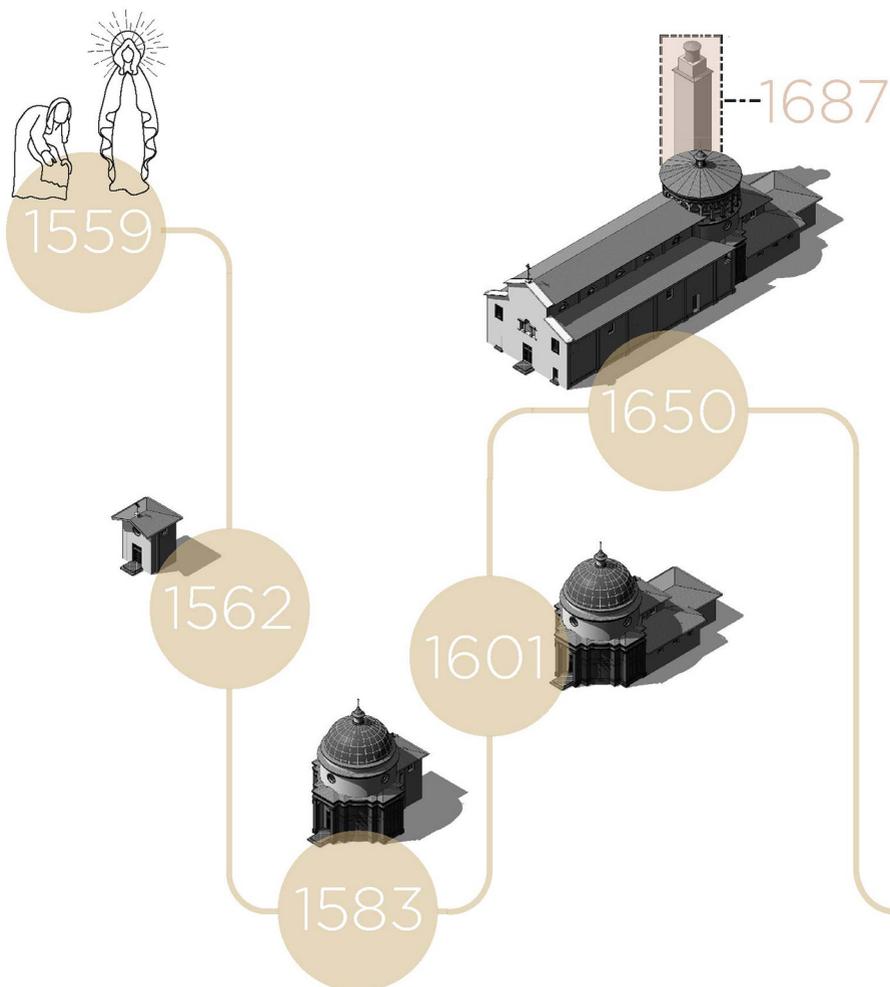
Domenica Millianotto tornò a Cigliano gridando il “messaggio” della Beata Vergine: <<Ho visto una bella Signora sopra un “trompone” la quale mi ha detto che li vuole una chiesa!>>.

La grande gioia che riempiva il cuore le aveva fatto dimenticare le scomparse infermità. Il prodigio non sfuggì agli abitanti di Cigliano che credettero senza iindugio al “messaggio” della Signora del Trompone e riconobbe la sacralità del luogo³³.

33. Silenziosi Operai Della Croce, “La Beata Vergine potente del Trompone”, Istituto Salesiano Pio XI, Roma, 2016.

Fig 28 - Foto del Santuario del Trompone





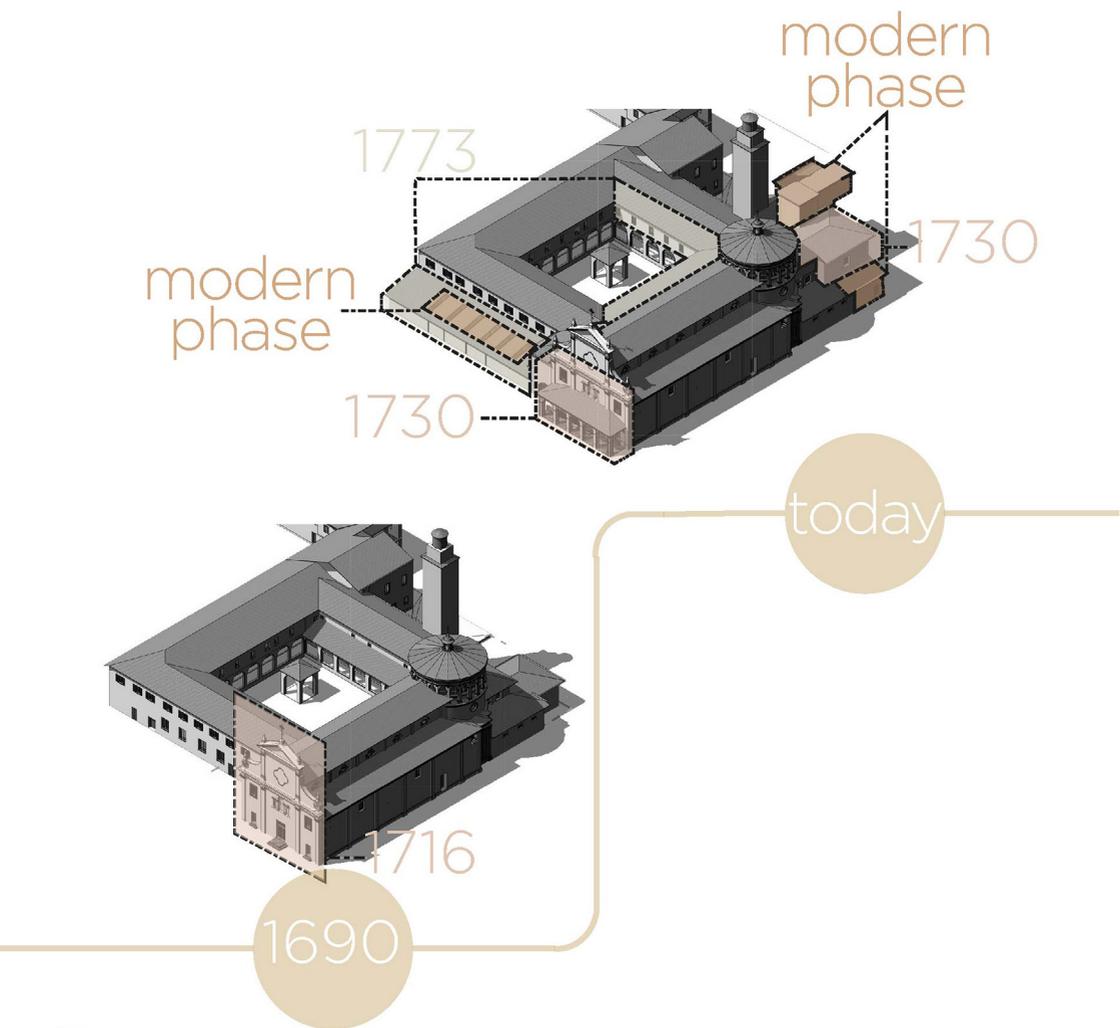


Fig 29 - Timeline: fasi principali dello sviluppo del Santuario del Trompone

5.1 LA STORIA

A seguito dell'apparizione, avvenuta molto probabilmente 2 aprile 1559, dopo alcuni mesi dello stesso anno venne celebrata una messa a fine della quale fu posata la prima pietra di una piccola chiesa, completata nel 1562.

A seguito dell'autorizzazione avvenuta con Bolla Pontificia nel 1563, il marchese Cesare Majo commissionò la costruzione della "Rotonda" conclusa nel 1568 per la realizzazione del Santuario dedicato alla Madonna. Il risultato di questo primo intervento è una Rotonda di diametro 10 metri e alta 22, sormontata da una cupola dipinta, che si presenta a noi con la raffigurazione l'incoronazione della Beata Vergine, i Santi, gli Apostoli e varie figure alate recentemente realizzate nel 1961.

La struttura risultò ben presto insufficiente ad accogliere al suo interno la grande affluenza di pellegrini in visita. Nel 1595 furono gettate le fondamenta del Santuario a tre navate, dove la conclusione della navata centrale è la Rotonda, mentre le due laterali terminano con una nicchia con altare, i lavori durarono sino al 1650. La nuova pianta ingloba in sé la Rotonda, annettendo le tre navate delineate da otto colonne di pietra e quattro semicolonne alle estremità, presenta archi a tutto sesto e a copertura delle navate sono state costruite volte a crociera dipinte durante l'ottocento con motivi allegorici e didascalie mariane (presumibilmente nel 1838 per mano del pittore Giuseppe Isabella).

Nel 1585 per volere di Carlo Borromeo si costituì un piccolo seminario che non restò attivo per molto tempo, infatti già verso il 1600 venne chiuso, ma il Santuario restò attivo. Successivamente si insediarono

i francescani (1627) che, vista la necessità di una struttura per accogliere i pellegrini in viaggio e dove poter essi stessi risiedere, fecero costruire il convento. La costruzione durò molti anni fino al 1690 e venne progettata una facciata che seguiva l'andamento delle navate, poi mutata nel 1716 con l'attuale facciata. Al periodo francescano si deve il dipinto posto al di sopra dell'arco d'ingresso alla Rotonda, la costruzione del coro (oggi diventata la sacrestia), il posizionamento dei confessionali barocchi e l'edificazione del campanile (1687).

Nel 1716 venne modificata la facciata e in seguito probabilmente dovuto a problemi strutturali, nel 1730 venne costruito il porticato all'ingresso del Santuario.

I francescani dovettero abbandonare la struttura nel 1802 a seguito di vicende belliche, tra cui l'invasione delle truppe napoleoniche che, con un decreto ordinò la soppressione dei conventi e il sequestro dei loro beni. Soltanto nel 1807 gli edifici furono restituiti ai diocesani in stato di abbandono e saccheggiati. Nel 1827 si insediarono i monaci cistercensi e sotto la loro direzione il Santuario venne decorato, inoltre trasformarono il coro nell'attuale sacrestia e portarono il coro nel locale posizionato al di sopra.

Nuovamente nel 1855 furono sospesi gli ordini e le congregazioni religiose non dedicate all'insegnamento, fino al 1866 quando tutti i beni della diocesi divennero proprietà dello Stato e la chiesa fu chiusa al culto. Soltanto in questo momento i monaci abbandonarono definitivamente la struttura, con la prima ordinanza infatti fu loro permesso restare per la gestione della struttura. I soldati occuparono la struttura con non curanza e la gente del posto cercò di salvare come poté gli

arredi sacri.

Il complesso per alcuni anni divenne casa privata per poi divenire nel 1880 una casa di esercizi spirituali per sacerdoti e l'anno successivo venne aperto il seminario minore, apportando modifiche al convento. A questo periodo si devono le due ali costruite alle spalle del Santuario tra il 1883 e il 1893, seguirono in oltre varie operazioni di restauro e recupero dei fabbricati.

Dopo la seconda guerra mondiale il seminario minore venne chiuso nel 1970. Proprio nello stesso anno, sotto la guida di Beato Luigi Noverese (fondatore dei Silenziosi Operai della Croce) nacque il progetto della struttura riabilitativa presso il Trompone. Negli anni a seguire sono stati realizzati nuovi locali per la struttura sanitaria e altri sono stati trasformati in modo tale da essere funzionali alla nuova funzione³⁴.

Ad oggi il Santuario necessita di operazioni di restauro volte alla conservazione dell'immobile. I segni del tempo sono visibili sulle murature esterne dove distaccamenti degli intonaci, umidità di risalita, efflorescenze e macchie compromettono le partizioni verticali. Il tetto necessita di un intervento di sostituzione del manto di copertura e della struttura che lo sorregge, tale situazione ha portato ad un deterioramento delle volte dovute alle infiltrazioni d'acqua.

33. Silenziosi Operai Della Croce, "La Beata Vergine potente del Trompone", Istituto Salesiano Pio XI, Roma, 2016.

6 | OBIETTIVI

Lo scopo principale della tesi è la creazione di un modello che possa essere sfruttato per diverse applicazioni. Partendo dalla definizione degli **end-users** legati al progetto, si giunge alla determinazione dell'uso che ne verrà fatto.

Nello specifico sono stati individuati due classi di end-users: uno legato al mondo delle costruzioni e uno al settore terziario.

Settore delle costruzioni:

- Tecnici
- Finanziatori
- Istituto di credito

Il lavoro della tesi si sviluppa in concomitanza con la possibilità di ottenere i fondi per i lavori di restauro del Santuario. Pertanto vengono realizzati degli elaborati, tra cui alcune **tavole** e una **brochure**, a supporto dei tecnici incaricati del progetto, per ottenere i fondi messi a disposizione dalla CEI (Comitato Episcopale Italiano) e dalla CRT (Cassa di Risparmio di Torino).

Settore terziario, legato al **turismo**, alla **sensibilizzazione culturale** e religiosa:

- Turisti (religiosi e non)
- Famiglie e bambini
- Pazienti del complesso del Trompone
- Parenti in visita ai propri cari risiedenti nel complesso del Trompone
- Personale incaricato presso il complesso del Trompone

Per questi utenti sono stati identificati tre diversi obiettivi da raggiungere per poter soddisfare le diverse esigenze. Il modello che si crea deve divenire uno strumento di diffusione di cultura e la base per la promozione di eventi sociali, con il fine di avvicinare e mettere in contatto i diversi fruitori della struttura. Attraverso le nuove tecnologie diventa possibile visualizzare lo stato di fatto del Santuario del Trompone, evidenziando le parti che necessitano di interventi di restauro. Con questo metodo è possibile sensibilizzare gli utenti alle problematiche che interessano l'edificio. Si delineano tre diversi usi del modello:

- **Modello BIM Social**
- **Visualizzazione del modello con Realtà Aumentata**
- **Visualizzazione del modello con Realtà Virtuale**

M E T O D O L O G I A

1.ACQUISIZIONE DATI

2.ELABORAZIONE DATI

3.RESTITUZIONE DATI

4.VISUALIZZAZIONE
DATI

Il metodo per ottenerli, nonostante diramazioni e diverse prove, si compone di 4 fasi principali:

- Acquisizione dati;
- Elaborazione dati;
- Restituzione dati;
- Visualizzazione dati.

La prima è la fase di acquisizione dati (Data Collection) durante la quale si raccolgono tutti i materiali e le informazioni necessarie. Viene pianificato e svolto un rilievo dell'edificio, inoltre vengono eseguite ricerche archivistiche e si raccolgono informazioni e documenti (quali le nuvole di punti) dalle tesi precedenti.

Segue la fase in cui i dati raccolti vengono elaborati (Data Processing) per essere utilizzati nel terzo stadio (Data Restitution) che prevede la restituzione di tali dati. Viene creato il modello BIM (Building Information Modeling) del Santuario dal quale saranno estrapolate tutte le seguenti applicazioni. In questa fase la nuvola di punti ottenuta dal rilievo viene utilizzata come base per la modellazione e viene definito il LOD (Level Of Development) da utilizzare nel progetto.

L'ultima fase prevede la visualizzazione dei dati (Data View) come risultato troviamo la risposta agli obiettivi preposti, ossia gli elaborati grafici, il modello BIM Social e le applicazioni della Realtà Virtuale ed Aumentata.

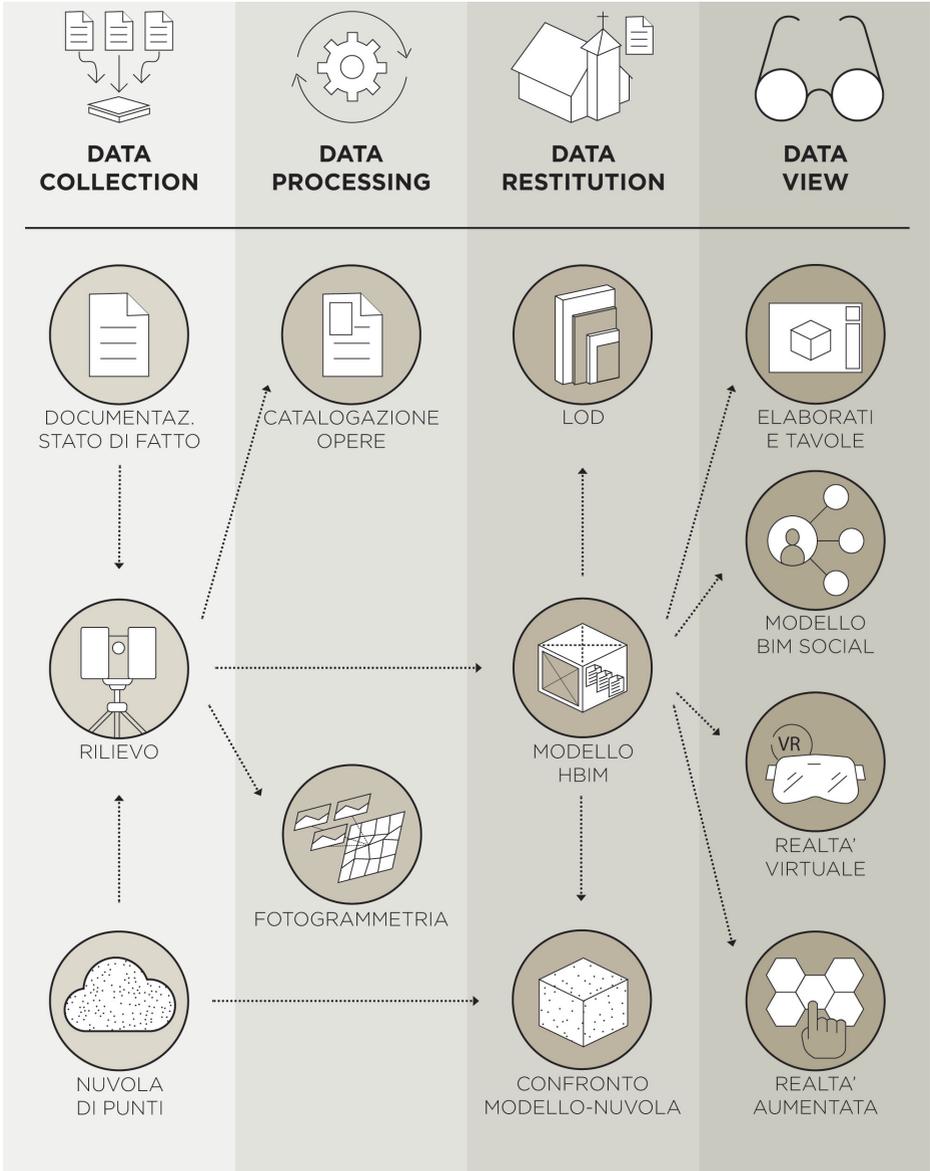


Fig 30 - Schema della metodologia applicata

1 | ACQUISIZIONE DATI

La documentazione presente negli archivi storici e nelle precedenti tesi, che hanno approfondito il caso del Santuario del Trompone, sono state una base dalla quale partire. Si sono implementati questi dati mediante sopralluoghi e **rilievi**.

1.1 RILIEVO

Nel caso oggetto di studio, alcune campagne di rilievo avevano già interessato il fabbricato, nello specifico l'acquisizione di nuvole di punti all'esterno del fabbricato mediante riprese fotogrammetriche ad alta precisione da drone e con laser scanner terrestre.

Il nuovo rilievo 3D, eseguito in collaborazione con il dipartimento DIATI del Politecnico di Torino, è stato orientato a supportare il precedente, in particolar modo è stato utile alla **documentazione degli interni** del Santuario, pertanto si sono svolte operazioni di rilievo **topografico** integrato con tecniche di **laser scanning terrestre, riprese fotogrammetriche** e **fotografie sferiche**. Questi metodi, caratterizzato da rapidità di esecuzione, accuratezza e alti livelli di dettaglio, opportunamente integrati tra loro rendono possibile l'acquisizione dei dati utili per elaborare un modello. Questi dati oltre che a facilitare la modellazione e renderla più precisa, sono estremamente utili per ricavare computi metrici dettagliati e analisi approfondite sullo stato di conservazione dell'edificio.

1.1.1 RILIEVO TOPOGRAFICO

Il rilievo è stato connesso alla precedente **rete principale d'inquadramento** posta all'esterno del Santuario, creata durante i rilievi antecedenti. È stato generato un nuovo vertice (Fig 31) all'interno del San-



Fig 31 - Stazione totale all'interno del Santuario del Trompone

tuario, per l'acquisizione delle misurazioni, opportunamente collegato con la rete d'inquadramento preesistente. Il vertice è corredato da una monografia per consentire future misurazioni, per tutti gli eventuali aggiornamenti del rilievo metrico.

I **vertici topografici**, materializzati in modo stabile e segnalizzati attraverso opportune procedure non invasive, sono stati collocati all'esterno del Santuario, nella piazza antistante. Questi vertici esterni sono stati misurati con tecnica GPS/GNSS in modalità statica con campionamento ad 1s per 1 ora circa di stazionamento mentre il vertice all'interno della navata della chiesa è stato determinato con tecnica classica (stazione totale). L'intera elaborazione del rilievo del Santuario è quindi **georeferenziata**.

La fase di rilievo strumentale viene affiancata dalla redazione di disegni

di appoggio detti **eidotipi** (Fig 32) finalizzati ad annotare i riferimenti dei punti topografici misurati e le indicazioni relative alle misure dirette.

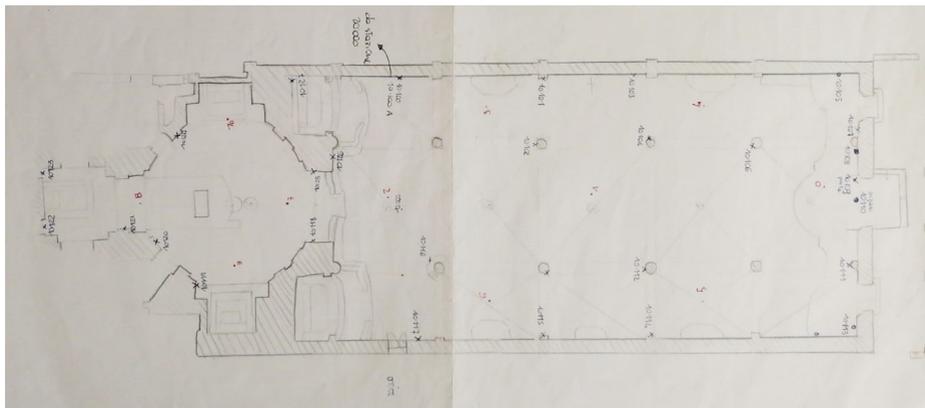


Fig 32 - Eidotipo realizzato per il rilievo con Stazione Totale

Per le misurazioni è stato necessario posizionare dei target (o marker) all'interno del Santuario (posizionati su pareti, colonne, confessionali, impalcato dell'organo) che sono stati collimati mediante Stazione totale. L'acquisizione delle coordinate dei target è stata fondamentale, per le elaborazioni con i software e per riferire i rilievi al sistema di riferimento stabilito.

1.1.2 RILIEVO LASER SCANNER

Nel caso specifico del Santuario del Trompone sono state eseguite una serie di scansioni distribuite in modo tale da rilevare l'edificio nella sua interezza (Fig 33). La nuvola di punti che ne è conseguita, a seguito dell'unione delle scansioni, è la base per realizzare il modello tridimensionale volto alla documentazione del Santuario.



Fig 33 - Laser scanner all'interno del Santuario del Trompone

1.1.3 RILIEVO FOTOGRAMMETRICO

Durante la fase di campagna, con l'utilizzo di una **macchina fotografica** (Canon 550D e Canon 600D) sono stati acquisite numerose fotografie degli interni, da un lato per poter documentare e catalogazione gli elementi artistici del Santuario (altari, dipinti e arredi) ma in particolar modo ci si è concentrati sulle volte della navata centrale. Queste ultime, sono state successivamente elaborate per poter ricavare le texture da applicare al modello tridimensionale.

La **fotografie sferiche** (Fig 34) nel nostro caso studio è stata utilizzata la Ricoh Theta V. Questa fotocamera per immagini 360° si caratterizza per un **costo contenuto, rapidità e facilità di utilizzo**, in aggiunta all'alta risoluzione e all'ampio campo visivo che fanno sì che sia un'alternativa valida da sperimentare. Lo strumento è stato utilizzato per documentare le navate laterali del Santuario del Trompone, con la presenza dei target all'interno della struttura in modo tale da poter allineare e georiferire le immagini.

Il principale problema riscontrato nell'effettuare riprese in ambienti



Fig 34 - Fotografia sferica scattata all'interno del Santuario del Trompone

interni, è dovuto alla difficoltà di ottenere immagini non alterate dalle condizioni di illuminazione, specialmente attorno a porte, finestre e sorgenti luminose che posso alterarle.

1.2 LO STATO DI FATTO

Il Santuario del Trompone, come già sottolineato, presenta alcune sue parti degradate, è quindi obiettivo della presente tesi quello di mettere in evidenza questo aspetto.

In generale non si rileva uno stato di conservazione ottimale del manufatto, poiché sono presenti rilevanti tracce di **degradati di varia natura**. Durante la fase di rilievo si è posta particolare attenzione a queste problematiche. I fenomeni di degrado che interessano il Santuario sono ben visibili in facciata, dove si concentrano in maggior modo:

- Distaccamento,
- Efflorescenza
- Macchia.



Fig 35 -Foto del Santuario del Trompone con visibili segni di degrado

Il distaccamento vede la caduta di parte di strati superficiali del materiale, in questo caso degli intonaci, creando delle lacune, è il degrado più visibile. Le efflorescenze sono formazioni di sostanze di colore biancastro sulla superficie dell'intonaco e interessano in particolare modo la parte alta della facciata. Infine si sono riscontrate macchie che si sviluppano soprattutto nei pressi del porticato.

Anche all'interno della chiesa sono presenti visibili segni di trascuratezza, le volte sono interessate dal fenomeno dell'infiltrazione delle acque piovane dovuto al mancato compito della copertura. Il degrado presente dipende dal tetto il quale necessita di un intervento volto al rifacimento del manto di copertura e di parte della struttura che lo sostiene. Questa situazione fa sì che il Santuario sia maggiormente soggetto agli agenti atmosferici fonte principale di degrado nella struttura.

NORMATIVE

La Norma **UNI EN 19096** fornisce le linee guida per **descrivere lo stato di degrado**, stabilendo come deve essere esaminato, documentato e registrato, ma non specifica come condurre la fase di diagnostica.

Per identificare dei degradi si è ricorsi alle **Raccomandazioni NorMaL 1/88** - Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico- che sono state assorbite dalla UNI 11182/06.

La Norma stabilisce metodi unificati per lo studio delle alterazioni dei materiali lapidei, dove si “[...] con il termine materiale lapideo vengono sempre intesi oltre che marmi e pietre propriamente detti anche stucchi, malte, intonaci, prodotti ceramici impiegati in architettura (laterizi e cotti) non solo di origine naturale, ma anche ai materia-

li artificiali utilizzati in architettura ottenuti da materiali naturali con particolari processi di lavorazione [...]»³⁴.

Secondo le Raccomandazioni NorMaL per **alterazione** si intende *“una modificazione del materiale che non implica necessariamente un peggioramento delle sue caratteristiche sotto il profilo conservativo”*, mentre con il termine **degrado** si intende una modificazione che *“implica sempre un peggioramento”*. Per ogni modificazione fornisce le informazioni per la denominazione delle alterazioni e delle degradazioni, una descrizione patologica, le principali cause dei fenomeni descritti e la corretta simbologia grafica con la quale evidenziarle negli elaborati secondo le norme grafiche universali.

Le direttive sono state seguite per approfondire lo stato di conservazione della facciata del Santuario del Trompone, per ottenere la rappresentazione dello stato di fatto.

1.3 NUVOLA DI PUNTI

La **nuvola di punti** (Fig 36), utilizzata per la modellazione del Santuario del Trompone, è stata elaborata, partendo dalle acquisizioni del laser scanner, dal dipartimento DIATI.

Le singole nuvole, grazie a software appositi, sono state **allineate** e riferite ad un unico sistema di riferimento, tramite l’inserimento delle coordinate dei punti collimati, la nuvola è dunque stata **georeferenziata**.

34. Raccomandazioni NorMaL - 1/88, Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico, CNR-I-CR, 1990, Roma, pag. 2

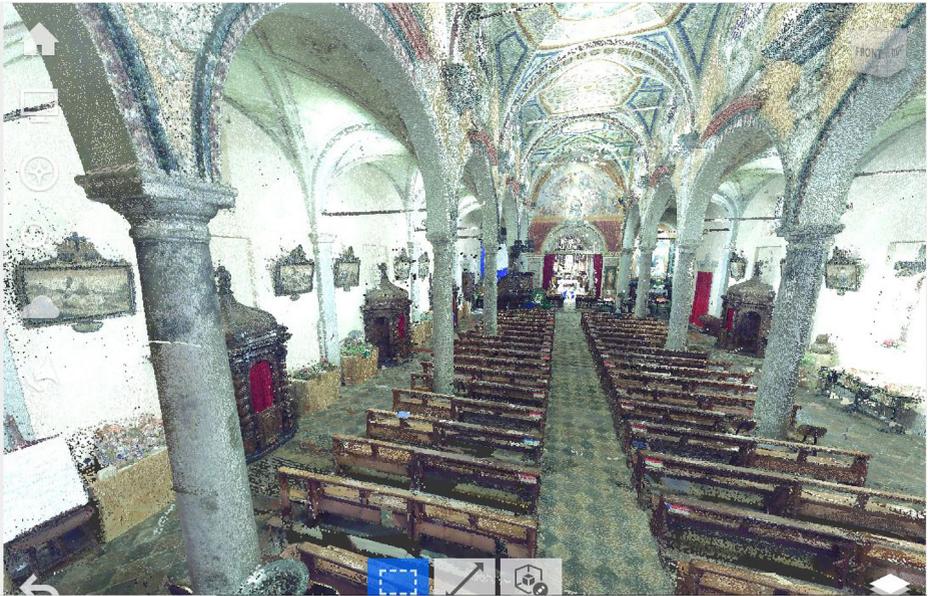


Fig 36 - Nuvola di punti dell'interno del Santuario del Trompone

Tale nuvola è stata utilizzata come base per poter modellare il Santuario nelle fasi successive, inoltre risulta sempre un utile strumento per analizzare l'affidabilità di tale modello rispetto all'edificio reale, grazie a specifici plug-in che vedremo in seguito.

1.4 PROGETTAZIONE PARTECIPATA

Una volta indagato il contesto del Santuario del Trompone e il complesso in cui si inserisce, per comprendere se gli obiettivi stabiliti rispecchiassero i bisogni delle persone, i trend e le soluzioni più consona alla struttura si è steso un **questionario**. Con questo strumento, utile alla progettazione collaborativa, si è potuta costruire una strategia di progettazione determinata dai risultati ottenuti da un campione variegato di utenti, ai quali è stato richiesto di compilare il suddetto questionario.

Il questionario (Allegato B) realizzato viene adottato come punto di partenza in modo tale da indirizzare il lavoro della tesi per **ottenere degli output** efficiente. Esso si compone di tre parti, la prima identificativa del soggetto che risponde alle domande (età, sesso, livello di studio, occupazione), la seconda introduce il caso studio del Santuario del Trompone e gli obiettivi, infine, la terza parte è dedicata alla condivisione del modello e il fundraising.

Conclusa la parte introduttiva, volta ad ottenere informazioni base del soggetto, si introducono i temi trattati nella tesi: il Santuario e la Realtà Virtuale, il sito internet e la diffusione del modello BIM via web e Social Network. Le domande poste servono ad identificare le preferenze e le attitudini dei soggetti alle differenti tecnologie, nonché il loro rapporto con i Social Network.

Nella parte conclusiva, una volta dichiarato che il modello è stato creato seguendo la metodologia BIM, vengono poste le domande necessarie per definire se la strategia di condivisione di tali modelli online e attraverso le nuove tecnologie sia un valore aggiunto per la conoscenza e per la divulgazione del patrimonio storico-artistico. In questi

termini, si analizza l'interesse dell'utente volto alle nuove tecnologie applicate per la conoscenza del costruito e se, grazie ad esse, sia di immediata comprensione lo stato di conservazione in cui desta l'edificio. Agganciandosi alla prospettiva di poter visualizzare le patologie che interessano il fabbricato si richiede se siano disponibili a donare una quota per poter salvaguardare l'edificio.

2 | ELABORAZIONE DATI

Concluse le attività sul campo si passa alla fase di elaborazione dei dati raccolti durante la fase di rilievo, è possibile estrapolare ortofoto, texture, mappe tematiche, mesh, sezioni e prospetti utili alla modellazione del progetto del Santuario.

2.1 CATALOGAZIONE DELLE OPERE ARTISTICHE

Un bene culturale può essere definito come una “testimonianza avente valore di civiltà”. In questa definizione rientrano categorie di beni estremamente diversi tra loro, come gli oggetti d’arte e quelli archeologici, i monumenti architettonici, le fotografie antiche e molti altri. Lo Stato, le Regioni e gli enti locali hanno il compito di tutelare, conservare e promuovere i beni. Ma per farlo è necessario anzitutto conoscerli. La catalogazione è l’attività di registrazione, descrizione e classificazione di tutte le tipologie di beni culturali. Si tratta di individuare le informazioni raccolte secondo precisi criteri³⁵.

Il concetto alla base della **conservazione** è dunque la **conoscenza**, la **catalogazione** delle opere diventa una parte indispensabile alla **documentazione** e allo studio dell’edificio. In particolare l’attenzione è stata rivolta alle opere collocate all’interno del Santuario del Trompone in modo da avere una raccolta di ogni testimonianza storica significativa. Nell’immagine seguente (Fig 37) viene riportato un esempio di scheda di catalogazione.

La catalogazione è indispensabile per la raccolta di dati utili da inserire nel modello e nelle fasi successive per la Realtà Virtuale e aumentata applicata al Santuario del Trompone.

35. M. Amato, P. Castellani, Catalogare le opere d’arte (seconda edizione), Roma: Italia, ICCD, 2006.



DESCRIZIONE

Il gruppo statuario si compone di due parti distinte: l'effigie della Vergine con il Bambino, ed il tronco (specificatamente il "trompone") solamente dipinto. La Vergine è rappresentata in piedi, con il Bambino in braccio, vestita con un abito dorato stretto in vita, velata con un manto dorato che lascia vedere i lunghi capelli castani. Ella tiene la mano destra aperta, eccezione fatta per due dita (pollice ed indice) che si toccano. Tra queste dita, in tempi più recenti (probabilmente nel 1925) è stato collocato uno scettro dorato. La mano sinistra regge il Bambino paffutello, vestito di un solo lenzuolino, benedice con la mano destra mentre con la sinistra regge un globo dorato sormontato da una croce. Lo sguardo della Vergine, come i lineamenti del viso si mostrano lievemente tristi, e sono rivolti centralmente verso il basso, come a guardare un osservatore ai suoi piedi, il Bambino, anch'esso pensieroso, come a pronunciare parole di benedizione, volge lo sguardo in basso a sinistra guardando l'effigie. Sotto i piedi della Vergine vi si trova una nuvoletta molto paffuta, argentata, dalla quale fanno capolino tre volti di serafini muniti ciascuno di una coppia di alucce dorate.

CD	CODICI	
	CODICE OPERA	S.11
OG	OGGETTO	
OGTD	DEFINIZIONE	Effigie della B.V.M.
OGTT	TIPOLOGIA	<i>Scultura</i>
SGTI	IDENTIFICAZIONE	
SGTP	TITOLO PROPRIO	Statua della "Virgo Potens"
SGTL	FONTE TITOLO	tradizione orale, fonti scritte
RO	RAPPORTO	
ROFC	COLLOCAZIONE	Presbiterio, nicchia dell'altar maggiore
ROFA	ATTRIBUZIONE-AUTORE	Ignoto
	MOTIVAZIONE ATTRIBUZIONE	–
DT	CRONOLOGIA	
DTS-DTZ	DATAZIONE	XVIII secolo
DTM	MOTIVAZIONE CRONOLOGICA	Tipologia del manufatto, cenni bibliografici
COMM	COMMITTENTE	
CMMN	NOME	Frati minimi
MT	DATI TECNICI	
MTC1	SUPPORTO	Legno
MTC2	TECNICA	Scultura in legno dipinta e dorata
MIS	MISURE [cm]	
MISA	ALTEZZA [cm]	210
MISL	LARGHEZZA [cm]	50
	PROFONDITA'/SPESSORE [cm]	45
CO	CONSERVAZIONE	
STCC	STATO DI CONSERVAZIONE	Buono
STCS	INDICAZIONE SPECIFICHE	La statua è oggetto di manutenzione
DA	DATI ANALITICI	
DESS	INDICAZIONI SUL SOGGETTO	Beata Vergine Maria
NSC	NOTIZIE STORICO-CRITICHE	
FTA	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	
	CODICE ID	
BIB	BIBLIOGRAFIA	
BIBX	GENERE	La Madonna del Trompone
BIBA	AUTORE	Pietro Bodo
BIBD	ANNI DI ADIZIONE	Cigliano, 1935
BIBN	V.,pp.,nn.	Pagg. 41, 70, 72

Fig 37 - Scheda di catalogazione delle opere

2.2 ELABORATI ORTO-FOTOGRAFICI

Gli elaborati orto-fotografici sono stati realizzati per ricreare texture delle volte della navata centrale, quelle laterali, della lunetta e della cupola. Essendo elementi dipinti non è possibile trovare texture già esistenti da applicare al modello per ottenere, nelle fasi successive, una navigazione virtuale in grado di rispecchiare la realtà.

Le immagini utilizzate, acquisite durante la campagna di rilievo, sono di due tipi:

- **Fotografie piane** scattate con fotocamera reflex digitale Canon EOS 550D
- **Fotografie sferiche** scattate con videocamera Ricoh Theta V

Il procedimento per ottenere gli elaborati necessari è stato ripetuto due volte, la prima per le fotografie piane mentre in un secondo momento per quelle sferiche. Il procedimento è il medesimo, pertanto verrà descritto una volta soltanto sottolineando le differenze tra i due casi dove necessario e con le dovute osservazioni.

Le fotografie, opportunamente selezionate, sono state importate all'interno di *"Chunk"* dell'ambiente di lavoro del software **Agisoft Photoscan**³⁶.

In entrambi i casi, come primo passo si è definita la tipologia di fotocamera ("Camera Calibration") quindi si è selezionato *"Frame"* per le fotografie della macchina fotografica e *"Spherical"* per le fotografie

36. Agisoft Metashape è un prodotto software autonomo che esegue l'elaborazione fotogrammetrica di immagini digitali e genera dati spaziali 3D da utilizzare in applicazioni GIS, documentazione sul patrimonio culturale e produzione di effetti visivi, nonché per misure indirette di oggetti di varie scale.

Fonte: <https://www.agisoft.com/>

a 360°. Vengono riconosciuti in modo automatico il formato del file immagine inoltre sono esplicitati per ogni immagine la risoluzione, la lunghezza focale, modello della telecamera, data e ora di acquisizione di ogni immagine.

Una volta appurato di aver correttamente impostato *“Camera Calibration”* si esegue l'**allineamento** dei fotogrammi. Il software, comparando le varie immagini, individua i punti comuni determinando la posizione della fotocamera nel momento dello scatto, il risultato che si ottiene una **nuvola sparsa** (Fig 38). In entrambi i casi tutte le immagini

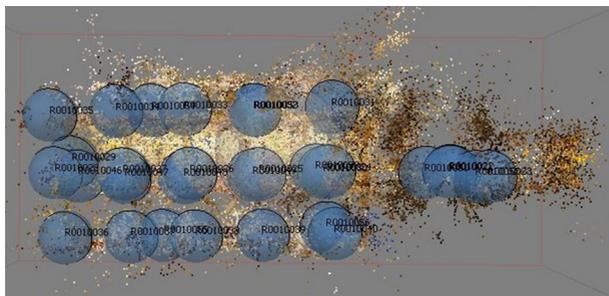


Fig 38 - Screenshot della nuvola sparsa ottenuta dall'allineamento delle immagini sferiche

sono state allineate correttamente.

L'allineamento viene impostato su *“high”*, in questo modo il software utilizza la fotografia con la piena risoluzione a scala originale garantendo un allineamento più accurato.

Ottenuta la nuvola sparsa è possibile **georeferenziarla**, grazie alle misurazioni dei marker effettuate durante al rilievo. Viene importato nel progetto il file *“.csv”* contenente le coordinate e posizionando i marker rilevati nella corretta posizione si stabiliscono le coordinate di tale punto. Una volta inseriti in alcune fotografie, il software è in grado di individuare tali punti nelle seguenti, si ritiene comunque necessario

controllare che ciò avvenga correttamente.

Questo passaggio è fondamentale per ottenere un elaborato orientato e scalato, ma risulta indispensabile controllare che gli errori (nella finestra “*Ground Control*”) che si verificano nel momento del posizionamento dei marker rientrino nei limiti di pochi centimetri. Infatti il posizionamento di alcuni marker fa scaturire errori troppo elevati, perciò questi punti vengono utilizzati come “*Check point*”, ossia come punti privi di coordinate ma pur sempre vincolanti per l’allineamento. Inoltre i “*Check point*” sono stati utilizzati per individuare alcuni punti naturali che non erano stati rilevati, per migliorare la sovrapposizione delle immagini. Mediante il comando “*Optimize Cameras*” la posizione delle camere viene aggiornata e gli errori variano.

Una volta ottenuto un errore ragionevolmente contenuto, si può procedere a creare la **nuvola densa**, questo processo richiede molto tempo se si utilizza un numero elevato di immagini. Le impostazioni scelte sono state

Per le fotografie sferiche:

- Quality: “High”
- “Depth filtering”: Mild

Per le fotografie piane:

- Quality: “Medium”³⁷
- “Depth filtering”: Mild ³⁸
-

Il risultato, nel caso specifico delle fotografie sferiche, è una nuvola densa molto rumorosa, vale a dire che la nuvola non rispetta le super-

37. Il parametro qualità specifica il dettaglio e l’accuratezza geometrica risultanti dalla ricostruzione. Ultra High significa lavorare con immagini alla risoluzione originale, scendendo con High, Medium, Low, Lowest la qualità delle immagini viene degradata di 4 volte (dimezzata per lato).

38. dopo varie prove è risultato il migliore per ottenere dettagli di piccole dimensioni che è importante riconoscere nella scena ricostruita.

Fonte: <https://3dmetrica.it/photoscan-creazione-nuvola-densa/>

fici reali ma si estende in modo incontrollato in alcuni punti come si può vedere nella Fig 39.

Nonostante diverse prove il problema della rumorosità della nuvola è rimasto irrisolto.

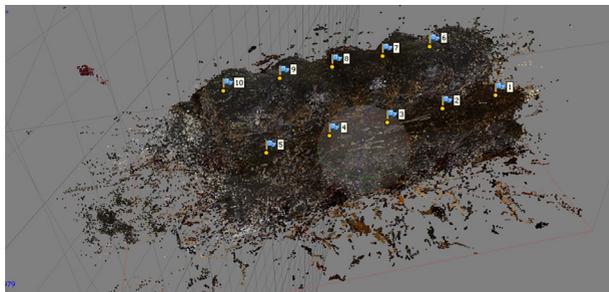


Fig 39 - Screenshot della nuvola densa rumorosa derivata dalle immagini sferiche

La nuvola di punti densa così ottenuta si può esportare per essere utilizzata come base per la progettazione, ma lo scopo di questa lavorazione è ottenere le ortofoto necessarie nelle fasi successive.

L'elaborazione continua con la creazione della **mesh** basata sulla nuvola densa appena ottenuta. Prima di procedere a questa operazione, per ridurre il tempo di elaborazione del software è utile ripulire le nuvole dalle parti non necessarie (come la parte rumorosa della nuvola delle immagini sferiche). Una volta ottenuta la mesh è stato possibile rifinirla e chiudere gli eventuali buchi, attraverso l'apposito comando.

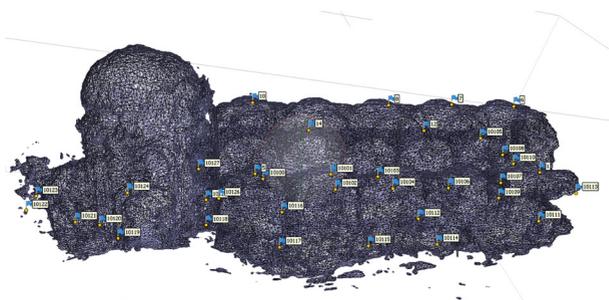


Fig 40 - Screenshot della mesh ottenuta dalle immagini sferiche

Il passo successivo è stato la creazione della **texture** per la quale, a seguito di alcune prove, si sono scelte le seguenti impostazioni:

- Mapping Mode: Generic.
- Blending Mode: Mosaic

La prima impostazione fa sì che il software cerchi di ricostituire una texture omogenea senza fare ipotesi a priori sulla superficie. Scegliendo la modalità mosaico, consente al software di completare l'operazione in due step. In primo luogo crea componenti a bassa frequenza ritagliando e combinando le immagini per creare una base senza interruzioni. Successivamente crea componenti ad alta frequenza che consentono la realizzazione dei dettagli, acquisisce da una singola immagine, quella con punto di vista nadirale, e ne prende le informazioni per creare la texture.



Fig 41 - Screenshot del modello texturizzato, ricavate dalle immagini sferiche

Infine è possibile ricavare ortofoto la cui applicazione maggiore è l'elaborazione dei dati da rilievo fotografico aereo per ricavare viste d'insieme dell'area indagata o, come nel nostro caso per ottenere una vista dettagliata di alcune parti del rilievo. Si sono ottenute ed esportate le ortofoto della cupola, delle volte della navata centrale e di una della navata laterale. Per via della minore affidabilità delle immagini sferiche (determinata anche da un numero contenuto di fotografie) dovuta alla

presenza di rumore nel momento in cui viene creata la nuvola densa, questo disturbo si propaga anche nella costruzione della mesh e nelle successive fasi, rendendola di qualità minore rispetto a quelle elaborate da fotografie piane³⁹.



Fig 42 - Screenshot, in alto una porzione di ortofoto ottenuta da fotografie piane, in basso l'ortofoto ottenuta dalle immagini sferiche, a destra

Nonostante i risultati da noi ottenuti non siano stati totalmente positivi, l'utilizzo di immagini sferiche rappresenta un'alternativa interessante con prospettive in molti campi di applicazione.

2.3 ANALISI DELLE VOLTE

La volta è un particolare tipo di superficie posta a copertura di uno spazio delimitato da muri, pilastri o colonne.

Nel caso del Santuario del Trompone troviamo a copertura delle tre navate volte a crociera (Fig 43), dove quelle poste lungo le navate minori assolvono il compito di compensare la spinta esercitata sui pilastri dalle volte della navata centrale. Dal punto di vista geometrico la volta a crociera è generata dall'intersezione da due volte a botte, di egual freccia, poste perpendicolarmente tra loro, date dalla traslazione o rotazione di una curva direttrice lungo una retta generatrice.

39..<https://3dmetrica.it/>

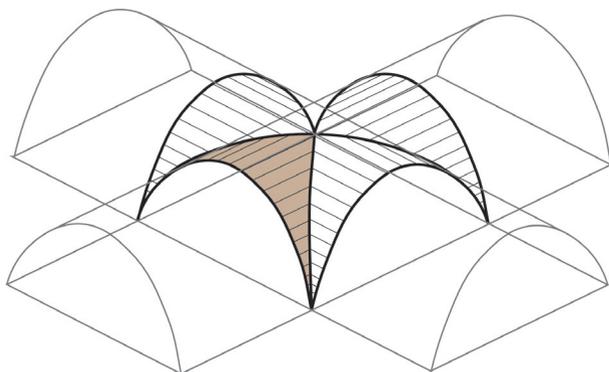


Fig 43 - Schema costruttivo di una volta a crociera

A titolo esemplificativo viene riportato l'analisi svolta sulla nuvola di punti del laser scanner, per analizzare una volta della navata centrale. Si è notato che in generale non vi sono grandi differenze tra le volte analizzate, le quali hanno come risultato deformazioni simili.

Si sono eseguite delle sezioni orizzontali sulle singole volte, dalle quali si nota che l'andamento della volta non presenta alterazioni di tipo strutturale dovute ad un cedimento ma assume un andamento lievemente irregolare dovuto all'artigianalità dell'esecuzione.

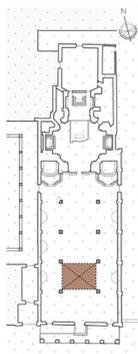


Fig 44 - Analisi andamento superficiale della volta

3 | RESTITUZIONE DATI

Una volta elaborati i dati è possibile utilizzarli per la creazione di un modello 3D, in modo da ricrearne le geometrie alle quali attribuire le informazioni alfanumeriche raccolte nella prima fase di acquisizione.

3.1 DIGITALIZZAZIONE DEL TROMPONE

Il Santuario del Trompone è stato modellato secondo la metodologia BIM con l'ausilio del software Autodesk **Revit**, utilizzando come base la nuvola di punti ottenuta del rilievo laser scanner.



Fig 45 - Schema infografico: dalla nuvola di punti al modello BIM applicato alla facciata del Santuario

Per importare la nuvola di punti in Revit è stato utilizzato il software **Autodesk ReCap 360** che permette la pulizia, l'unione di più nuvole oltre che la possibilità di filtrare le nuvole. Una volta rielaborato il file lo si esporta in formato *“.rcp”* in questo modo può essere inserito nel progetto di Revit. Questo formato conserva la georeferenziazione della nuvola cosicché anche il progetto BIM mantenga tali coordinate.

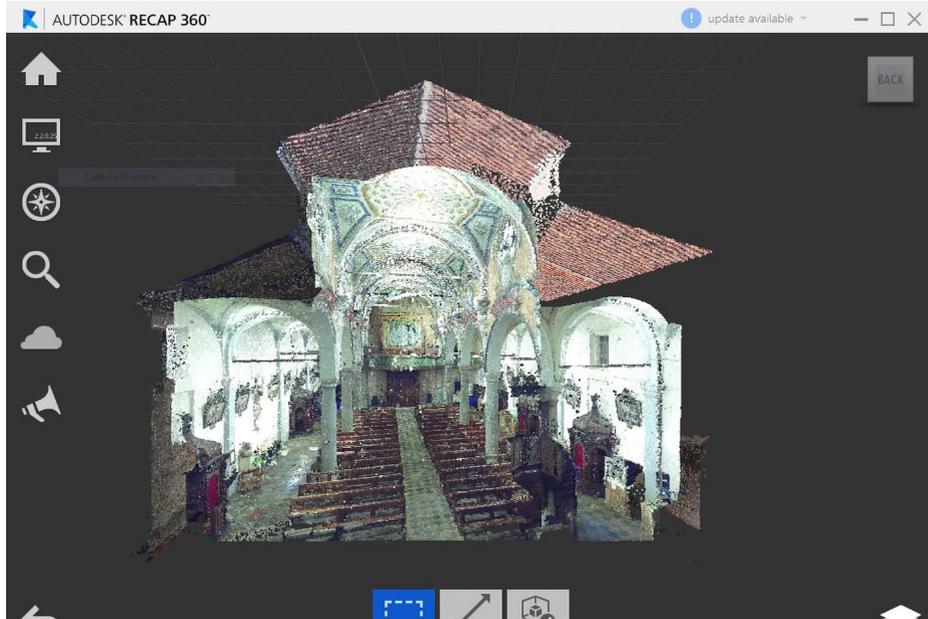


Fig 46 - Screenshot dell'unione della nuvola di punti dell'interno con quella dell'esterno del Trompone con ReCap 360°

Il progetto, prima di tutto, è stato organizzato in **workset** in modo da consentire un maggiore controllo e migliorare il coordinamento delle diverse parti coinvolte nel progetto.

I workset sono come scatole, layer in cui suddividere le varie parti del progetto, come muri interni e esterni, tetti, solette, nuvole di punti o impianti, e che danno la possibilità ai vari professionisti di lavorare singolarmente in un file locale connesso a un file centrale che può essere periodicamente aggiornato tramite una sincronizzazione⁴⁰.

La creazione dei workset consente la suddivisione del progetto in parti, migliorando il controllo dal punto di vista gestionale e grafico, spegnendo o accendendo i vari workset in base alle esigenze del progetto.

40. M. Del Giudice, A. Osello, BIM for cultural heritage, in International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-5/W2, 2013, XXIV International CIPA Symposium, 2 - 6 September 2013, Strasbourg, France, pag. 227.

tista, facilitandone il lavoro.

Una volta impostati i vari workset è possibile passare all'**importazione della nuvola di punti** (in uno o più workset appositi), procedendo con l'impostazione delle coordinate del punto di progetto e del punto di rilievo, necessarie alla georeferenziazione del progetto.

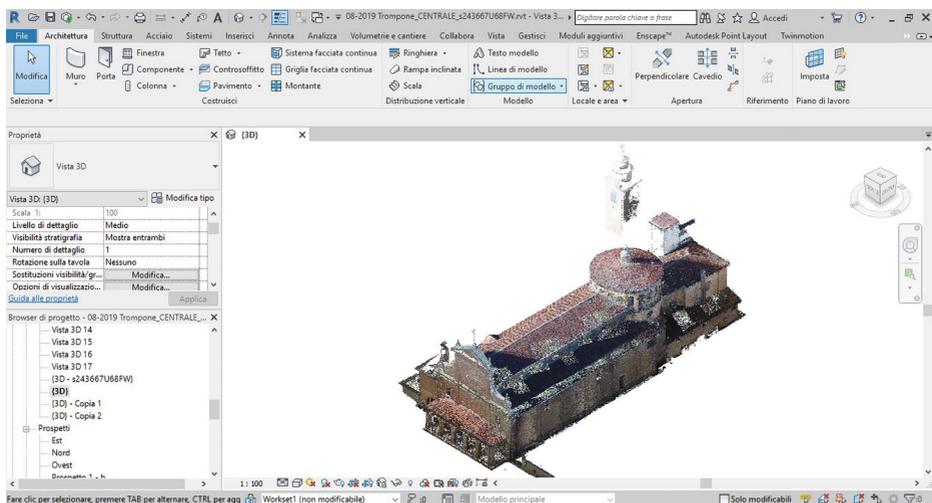


Fig 47 – Screenshot dell'inserimento della nuvola di punti

Nel momento in cui si sceglie come inserire la nuvola è indispensabile selezionare il comando *“Automatico: da origine a origine”*, in questo modo la nuvola mantiene la propria georeferenziazione e si posiziona presso il punto di progetto precedentemente impostato.

Una volta eseguite queste operazioni si è proceduto alla creazione del modello.

3.2 COMPONENTI

Utilizzando come base la nuvola di punti e le ortofoto si sono modellati i vari componenti del Santuario utilizzando famiglie di sistema e modellando famiglie caricabili evitando il più possibile le famiglie in-place per non rischiare di appesantire il file di lavoro.

Prima di procedere alla modellazione si è stabilito un limite di accuratezza, vale a dire un grado di standardizzazione degli elementi, lasciando un margine di 5 cm da rispettare. Quindi nel momento in cui un elemento presenta una deformazione inferiore ai 5 cm questa non viene rappresentata.

Partendo dalle murature, man mano si sono posizionate le diverse pavimentazioni, le coperture, gli elementi strutturali fino a collocare gli arredi. Per ogni componente, è possibile modellare le geometrie e, al tempo stesso, associare alcuni parametri utili per variare le dimensioni o le caratteristiche, o ancora stabilire le relazioni tra i componenti della famiglia.



Fig 48 - Vista interna: sovrapposizione elementi modellati e nuvola di punti

3.2.1 MODELLAZIONE DELLE VOLTE

Partendo dall'analisi dell'andamento delle superfici eseguita sulle volte e dalla nuvola di punti, si sono confrontate due diverse metodologie per la modellazione della copertura voltata.

L'operazione è finalizzata ad ottenere un elemento in grado di sopprimere le esigenze progettuali, ossia di creare le geometrie della volta alla quale attribuire informazioni (es data di creazione, materiale, etc.)

- **Modellazione di mesh** (con Rhinoceros 6)
- **Modello generico metrico adattivo** (con Revit)

Il **primo metodo** vede l'utilizzo del software **Rhinoceros 6** nel quale viene importata una mesh precedentemente creata (come descritto nel paragrafo "*elaborati orto-fotografici*"), sulla base della quale si crea una superficie che viene esportata in formato ACIS (.sat). In questo modo è possibile, creando una massa concettuale, in Revit importare la superficie dalla quale estrarre un tetto che rispetta le geometrie reali della volta a crociera. Si riportano i passaggi necessari per poter ottenere l'elemento da inserire nel progetto.

Dopo aver impostato le unità di misure in Rhinoceros si inserisce, su un nuovo layer, la mesh in formato .obj (Fig 49), precedentemente creata a partire dalle fotografie scattate all'interno del Santuario con il software Agisoft PhotoScan.

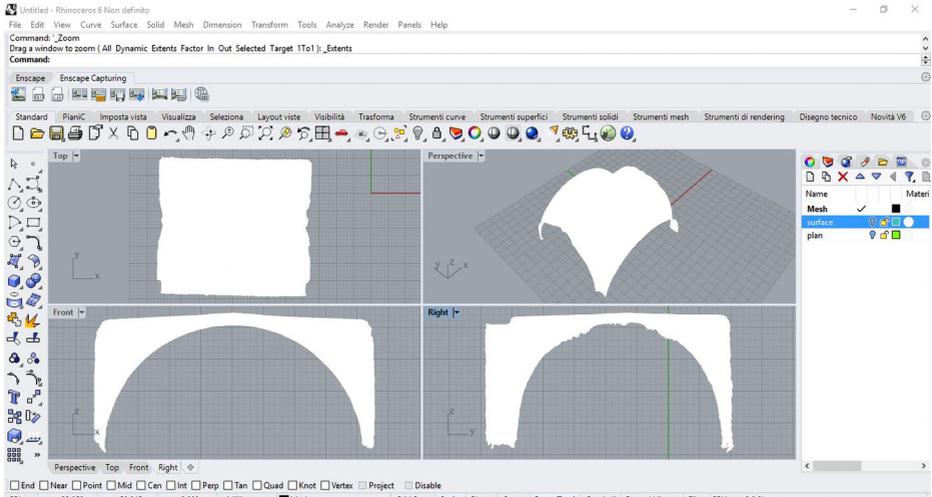


Fig 49 - Screenshot dell'importazione della mesh

Selezionando il comando *“Patch Surface”* si crea una superficie adiacente alla mesh importata, avente estensione maggiore rispetto ad essa (Fig 50). È quindi necessario intervenire tagliandola laddove necessario, utilizzando dei piani e il comando *“Trim”*.

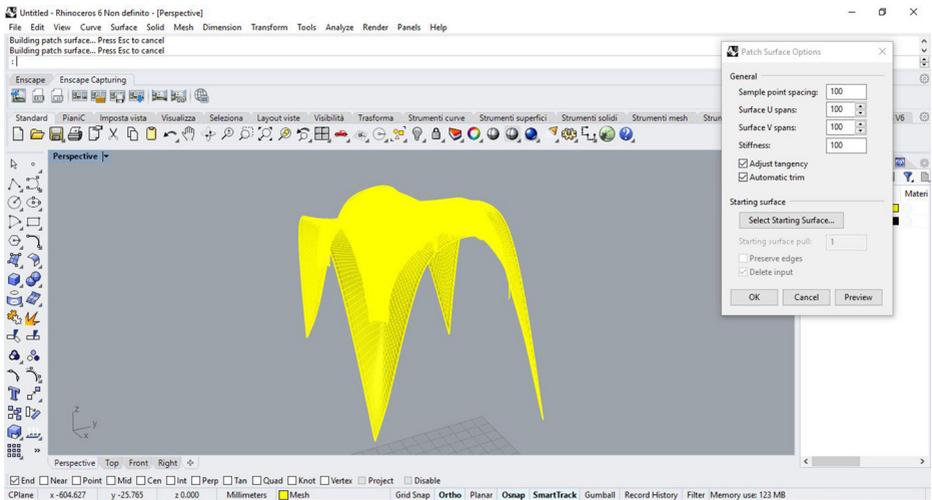


Fig 50 - Screenshot della realizzazione della superficie adiacente alla mesh

Una volta ottenuta la superficie ritagliata viene esportata in formato ACIS (.sat) in questo modo la superficie sarà caricabile nel modello di Revit.

Passando al software Revit, si crea una nuova famiglia detta “**massa concettuale**” nella quale si inserisce il file ACIS (Fig 51), dopodiché si può caricare l’elemento nel progetto.

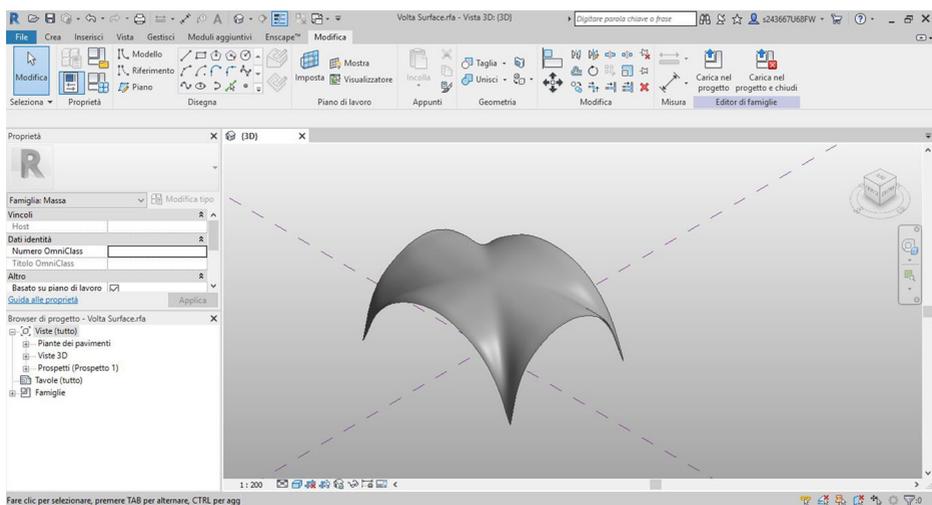


Fig 51 – Screenshot della massa concettuale

Per ottenere la superficie della volta è necessario usare il comando “*crea tetto da superficie*” (nel menù “*Volumetrie e cantiere*”), Revit riconoscendo la massa concettuale come superficie e ne permette l’estrusione creando un tetto con la forma della volta a crociera⁴¹.

Un **secondo modo** per ottenere la geometria della volta a crociera nel progetto è mediante la standardizzazione dell’elemento, creando una

41. V. Uffredi, Metodologie innovative di rilievo e modellazione BIM applicati a beni culturali. Realizzazione di un database per la manutenzione programmata, Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino, 2015.

nuova famiglia “**Modello generico metrico adattivo**” direttamente in **Revit**. Si sono ottenute le unghie della volta a crociera dall'intersezione di due volte a botte tra loro (Fig 43).

Questa metodologia per la creazione della volta ha richiesto più prove, dovute alla complessità e alla difficoltà di modellazione dell'elemento stesso.

Per la generazione l'elemento, si è creata una nuova famiglia di il “Modello generico metrico adattivo”, all'interno della quale sono stati posizionati con senso orario quattro punti resi adattivi e collegati da *linee di riferimento spline* (Fig 52).

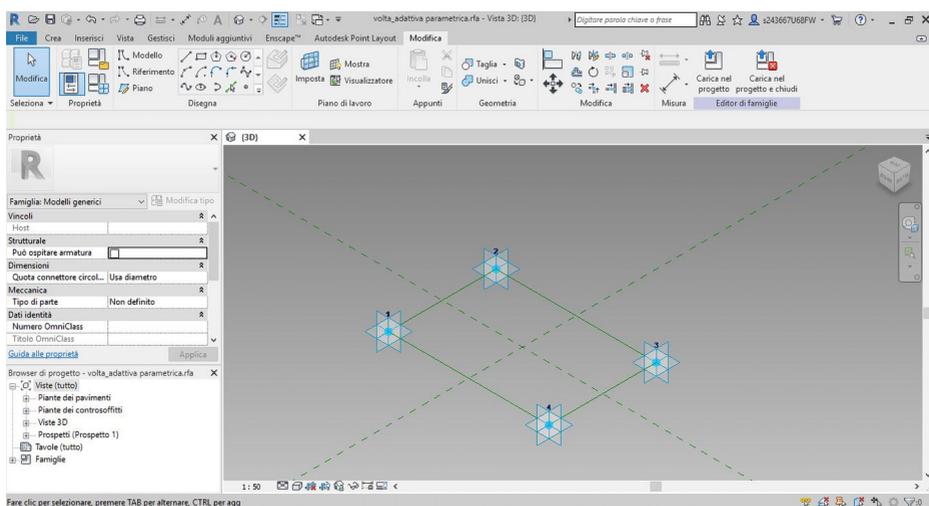


Fig 52 - Screenshot dei punti adattivi collegati da spline linee di riferimento

Selezionando e impostando le linee di riferimento come piano di disegno, si sono creati quattro semiellissi generatori che collegano i quattro punti d'appoggio della volta (i punti adattivi). Alle linee appena disegnate si è associato un nuovo parametro che si estende sul piano verticale, dalla linea di riferimento sino al punto più altro del semiellisse, che gestisce l'altezza di chiave di volta.

Il passo successivo prevede l'estrudere (estrudi solido) a due a due dei semiellissi, creando due volte a botte che si intersecano. Utilizzando il comando "Unisci geometrie" si crea la volta a crociera (Fig 53).

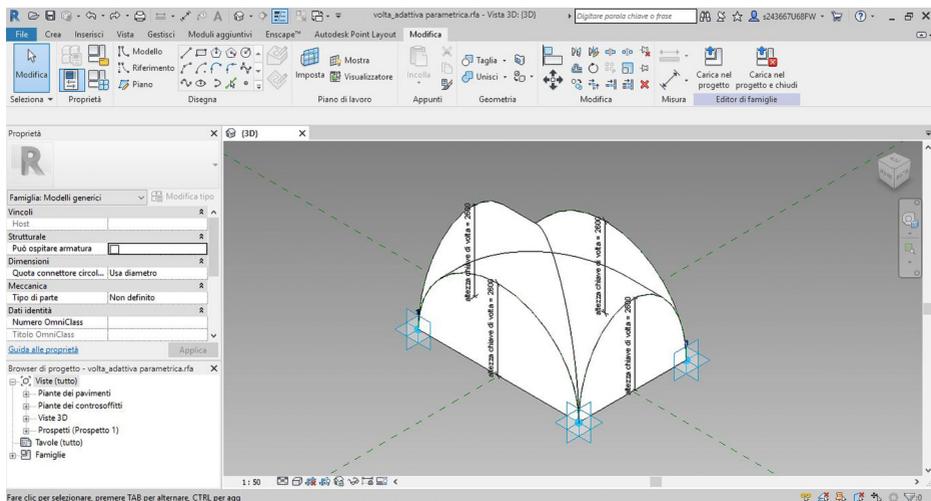


Fig 53 - Screenshot della volta a crociera

L'elemento viene caricato nel progetto, dove si dovranno inserire i quattro punti adattivi nell'esatto ordine in cui si sono inseriti durante la modellazione della famiglia. Questa attenzione è necessaria per evitare che la volta si posizioni capovolta all'interno del progetto, nel nostro caso i punti vengono inseriti in senso orario per ottenere la geometria corretta.

A questo punto la Famiglia Modello generico metrico adattivo si comporta come la massa concettuale. Con il comando "crea tetto da superficie", selezionando la volta si ottiene la volta a crociera.

In entrambi i casi il **tetto** impiegato per la creazione della volta è composto seguendo la reale **stratigrafia** della volta. Durante il rilievo si è

potuti accedere al sottotetto del Santuario dove si è appurato che le volte sono in muratura, mentre dell'interno del Santuario si nota che la parte dell'intradosso è invece decorata con motivi geometrici, iscrizioni e immagini sacre. Va detto che però lo spessore di questi strati o la presenza di eventuali strati intermediari è stata ipotizzata in quanto non dispone di un dato certo o di strumenti in grado di rilevarlo.

Per quanto riguarda le informazioni da attribuire alla volta è sufficiente intervenire selezionando *“Modifica tipo”* dove è possibile inserirvi i dati utili al progetto.

Per il progetto è utile creare ogni singola volta separata dalle altre, vale a dire che non si vuole ottenere un unico tetto che comprende le volte in un solo elemento. Questo perché il **modello** vuole essere utilizzato come base per la **divulgazione delle informazioni** ad esso legate, di conseguenza risulta molto più funzionale associare le singole informazioni all'elemento puntuale rispetto all'appiattimento dei dati sull'elemento complessivo.

- Il primo metodo, sebbene permetta di realizzare elementi più simili alla realtà rappresentando laddove presenti deformazioni, risulta molto gravoso in termini di tempistiche legate alla modellazione. Il processo richiede lunghi periodi per la creazione dei singoli elementi dato che risulta necessario ricavare dalla nuvola dell'edificio porzioni di essa, che poi vengono processate fino a divenire mesh dei singoli componenti. Dopodiché per ognuna va ripetuto tutto il processo precedentemente descritto.
- Il secondo metodo permette la modellazione un'unica volta, essendo adattiva essa può essere utilizzata per ricreare tutte le volte a crociera del Santuario anche se di dimensioni differenti. Il para-

metro che gestisce l'altezza della volta permette di adattarla alle differenti situazioni, ma essendo di fronte a un elemento artigianale, la standardizzazione di tale volta non permette la perfetta aderenza della geometria del modello con la realtà tralasciando eventuali deformazioni.

A seguito dell'analisi dell'andamento superficiale delle volte, dal quale non sono risultate particolari deformazioni, e delle riflessioni appena descritte si è scelto di utilizzare per la modellazione delle volte del Santuario del Trompone il "Modello generico metrico adattivo". Questo approccio privilegia un metodo standardizzato (come d'altronde è caratteristica comune nei modelli BIM) e risulta essere molto più efficiente garantendo un buon risultato in tempi minori.

	Modellazione da mesh	Modello generico metrico adattivo
Aderenza alla geometria reale	+	+/-
Ripetibilità	-	+
Parametrico	-	+
Adattabilità	-	+
Attribuzione informazioni	+	+
Delimitazione del locale (volume)	+	+

Fig 54 - Tabella riassuntiva differenze tra i due tipi di modellazione

A seguito dell'analisi dell'andamento superficiale delle volte, dal quale non sono risultate particolari deformazioni, e delle riflessioni appena descritte si è scelto di utilizzare per la modellazione delle volte del Santuario del Trompone il "Modello generico metrico adattivo". Questo approccio privilegia un metodo standardizzato (come d'altronde è caratteristica comune nei modelli BIM) e risulta essere molto più efficiente garantendo un buon risultato in tempi minori.

3.3 CONFRONTO TRA LA NUVOLA DI PUNTI E IL MODELLO HBIM

As-Built for Revit è un'applicazione che mette in **confronto la nuvola di punti**, ottenuta grazie alla tecnologia laser scanner, e il **modello 3D**. Le funzioni di questo plug-in sono molteplici, ma la principale è la **creazione** di elementi strutturali e architettonici in modo rapido seguendo le nuvole di punti, e infatti confronta la deviazione delle superfici del modello Revit con la nuvola di punti, il risultato ottenuto è una visualizzazione cromatica, che indica la distanza degli elementi dalla nuvola di punti, e un file numerico *“.txt”*.

Nel nostro caso la nuvola di punti è stata modificata e ritagliata da **ReCap** (*“.rcp”* o *“.rcs”*) per poter eseguire la prova su una porzione ridotta dell'edificio. Una volta ridotta la nuvola di punti è possibile importata in Revit.

Il procedimento seguito è il seguente:

1. Si seleziona la finestra *“Inserisci Nuvola di punti”*, si sceglie il file e la tipologia di posizionamento desiderato. L'orientamento scelto è *“Automatico: da centro a centro”*, la nuvola di punti viene posizionata al centro del progetto se non ci sono oggetti disegnati.
2. Si allinea la nuvola di punti al modello (Fig 56).

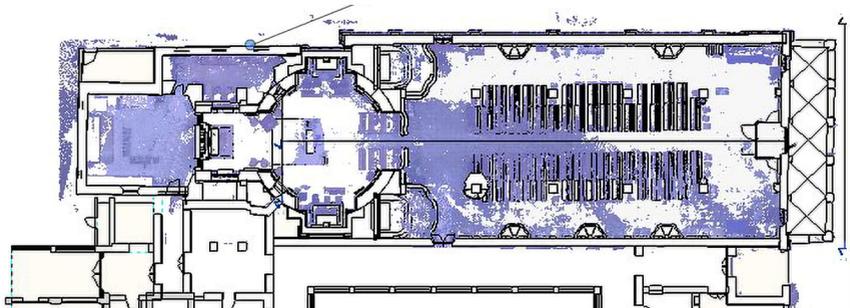


Fig 56 - Screenshot della sovrapposizione della nuvola di punti sul modello 3D. in viola la nuvola di punti

3. Scegliendo il tasto calcola, il plug-in permette di analizzare la distanza tra le superficie del modello e le nuvole di punti. Tale comando, aprendo una nuova finestra, permette di scegliere quali elementi del modello confrontare con la nuvola. Confermando compare “Analisi delle superfici” che permette di setare i parametri dell’analisi. “*Dimensione media griglia*” stabilisce l’altezza e la larghezza di ogni cella sulle superfici curve, mentre “*Distanza massima superficie*” definisce il corridoio attorno alla superficie.

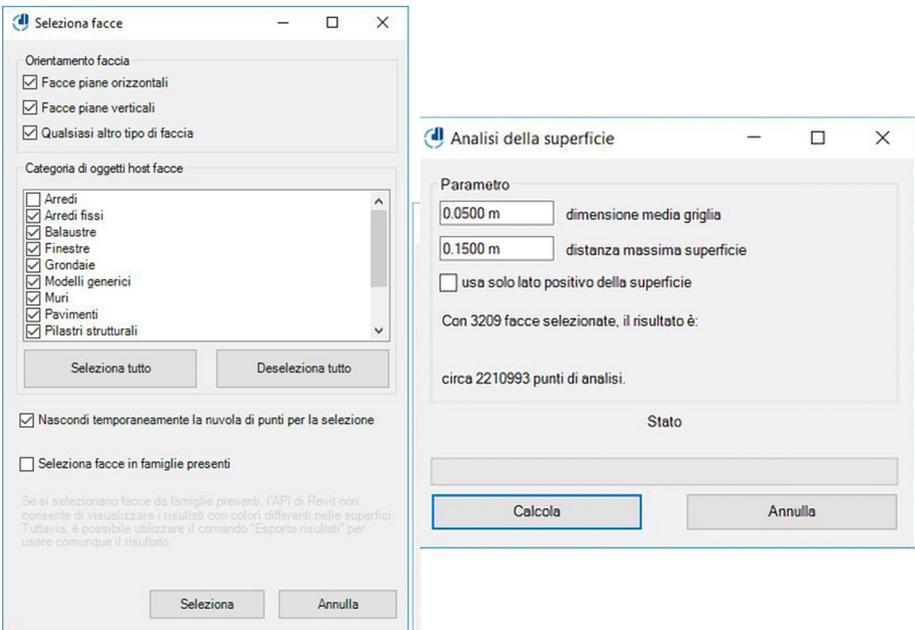


Fig 57 - Screenshot delle impostazioni. A sinistra gli elementi selezionati, a destra i parametri impostati

4. Si avvia il calcolo e, una volta terminati i processi di elaborazione è possibile scegliere quali risultati esportare un file in formato “.txt” contenente i valori numerici di ciascun punto.

5. Il risultato è una rappresentazione cromatica che va dal blu al rosso e indica la distanza da un punto alla superficie del modello.

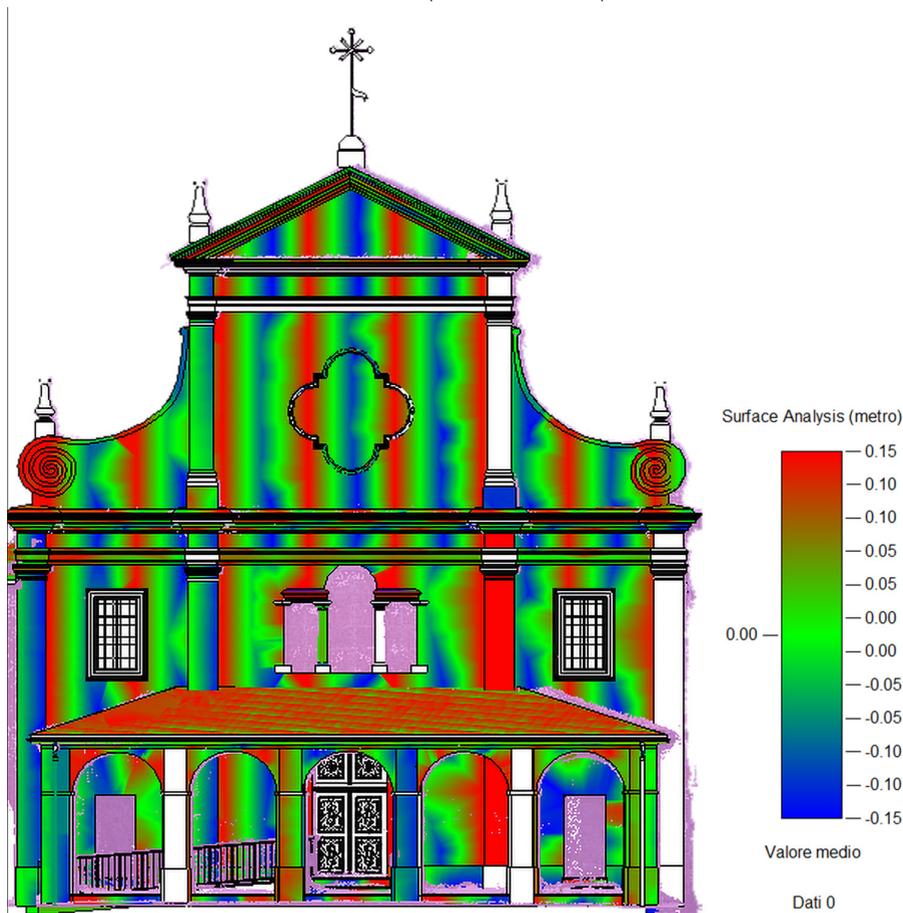


Fig 58 -Screenshot dei risultati ottenuti dall'analisi della facciata; a fianco la legenda

Il risultato ottenuto non è antentibile dal momento che presenta degli spostamenti regolari verticale e non sono presenti nella realtà. Infatti dall'analisi della nuvola di punti, eseguita prima di iniziare a creare il progetto BIM, è emerso che la facciata è lievemente inclinata verso il porticato. A sostegno di quest'ipotesi, come si vede nell'immagine seguente (Fig 59) il modello realizzato, è aderente alla nuvola di punti.

Fig 59 - Vista della facciata, modello BIM e nuvola di punti sovrapposti



3.4 LOD NEL CASO STUDIO

L'approccio HBIM che mira alla rappresentazione di un edificio storico unico e irregolare porta ad una riflessione. Il modello deve tener conto dello sviluppo dell'edificio, *generato all'abilità artigianale della sua realizzazione, ai processi di modifica e trasformazione avvenuti nel tempo, ai fenomeni di degrado e deformazione, oltre che alla grande quantità di informazioni necessarie per una conoscenza completa ed esauriente dei beni architettonici*⁴³.

Per quanto riguarda il Santuario del Trompone, se da un lato vi è l'esigenza di rappresentare elementi unici e irregolari dall'altro, come suggerisce la metodologia adottata, vi è una standardizzazione degli stessi. Per il caso in questione si è ritenuta consona una rappresentazione data da oggetti tipicizzati, in modo tale da ottenere una riduzione delle peculiarità del singolo, favorendo una riduzione sostanziale del tempo necessario alla modellazione del progetto. Modellando in modo più dettagliato alcuni elementi si è notato che, nonostante una maggiore corrispondenza tra modello virtuale e oggetto reale, si ha una riduzione dei benefici della modellazione parametrica. In aggiunta va sottolineato che ogni modello ha la necessità di gestire una grande quantità di dati, che non sempre sono supportati o che richiedono interventi che risultano lunghi e complicati, si pensi per esempio alla mappatura delle parti degradate o a pareti dalle superfici molto irregolari. Al tempo stesso ci si imbatte con la disponibilità o meno di informazioni inerenti alla struttura riguardanti vari temi come per esempio le fasi storiche, le tecnologie costruttive e le loro interpretazioni.

43. S. Brusaporci, P. Maiezza, A. Tata, A framework for architectural heritage HBIM semantization and development, Riva del Garda, Italy: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2, 2018.

“Tuttavia, nonostante i problemi inerenti all’estensione dell’approccio BIM al patrimonio edificato, rappresenta un’opportunità sia per la documentazione del patrimonio che per la gestione della conservazione”⁴⁴.

Il modello del Santuario del Trompone è stato creato seguendo la normativa, utilizzando **famiglie create ad hoc** utilizzando operazioni booleane. Viene creato, dal punto di vista grafico e informativo, un modello il più vicino all’edificio reale, concedendo uno scostamento minimo nel caso di geometrie particolarmente complesse e irregolari, si ottiene in questo modo un **modello As-Bilt**.

Il LOD utilizzato per la modellazione è il **LOD F**, dato che del Santuario si è eseguito il rilievo, inoltre, grazie alle ricerche archivistiche e alle precedenti tesi svolte, è possibile ricavare informazioni relative alla realizzazione e quanto c’è di utile per la manutenzione di alcuni elementi.

A titolo esemplificativo si allegano alcune schede di elementi creati (Allegato A) per la definizione dei livelli di dettaglio (LOD – Level of Detail) in modo da esplicitare la precisione grafica utilizzata. In base allo scopo della modellazione e alle caratteristiche dell’oggetto variano le soluzioni adottate. Nello specifico viene esaminato una colonna, una volta e del muro di facciata del Santuario.

Grazie a questi esempi viene esplicitato il livello di accuratezza riservato agli elementi, in particolar modo viene sottolineato che per alcuni elementi come per la facciata è stato mappato e catalogato il fenomeno di degrado che la interessa. Questa procedura è stata svolta in un’area ristretta ma può essere applicata ai vari elementi in modo

44. Oreni et al., 2013.

tale da ottenere le informazioni qualitative e quantitative delle zone degradate, va detto però che richiede un grosso sforzo da parte dei modellatori. Al contrario, come visto per le colonne e per le volte, gli altri elementi del Santuario possiedono un parametro (Degrado) che indica se l'elemento è degradato o meno, che insieme alle fotografie scattate durante il rilievo permette comunque la comprensione del fenomeno ma non vengono associati dati inerenti alla natura del degrado o l'estensione.

3.4.1 METODOLOGIE PER LA MAPPATURA DEL DEGRADO

Negli ultimi anni il modello HBIM sta assumendo un importante ruolo alla base per lo studio e la quantificazione dei fenomeni degrading ma, sebbene permetta una dettagliata rappresentazione geometrica dei manufatti, non può essere detto altrettanto per quanto riguarda l'informazione dello stato di conservazione.

Il risultato richiesto in questo studio, come già detto, è di ottenere un modello 3D per la Realtà Virtuale e Aumentata che rappresenti le condizioni in cui desta il Santuario, in modo tale da evidenziare i degrading ma anche essere di facile comprensione da parte del pubblico. Per far ciò si è pensato che, oltre alla classica rappresentazione dei degrading concorde con le *“Raccomandazioni NorMaL - 1/88. Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico”*, di utilizzare una scala percentuale che rappresenta il **livello di degrado** della singola zona evidenziata. Questa strategia è pensata per attirare l'attenzione dell'utente, evidenziando con un range di colore dal giallo al rosso, da scarsamente lesionato a molto danneggiato, la gravità dell'incuria oltre che offrire le informazioni riguardanti il **tipo** e l'**area** del degrading

do. Prima di passare alla mappatura del degrado è bene identificare quale strategia sia la più consona per il caso studio. Per raggiungere il risultato desiderato si sono fatte quattro diverse ipotesi di *“Alterazione cromatica”* applicate al medesimo tratto di muro generico, che presenta un elemento lievemente in aggetto.

- Il primo modo è stato quello di creare delle **“Campiture”** (Fig 60) per delineare il degrado. Questa è una tecnica che non richiede molto tempo e, essendo un’annotazione di Revit, il software ne calcola automaticamente l’area. Per mappare i vari degradi è sufficiente creare una nuova campitura differenziata per ogni tipo di patologia ed impostare lo specifico retino che si vuole visualizzare in superficie. A suo svantaggio, il retino non è visibile nelle viste 3D, inoltre non è possibile adattarlo ad elementi inclinati, o ancora, risulta impossibile raccogliere tutti i dati per creare un abaco dei degradi.

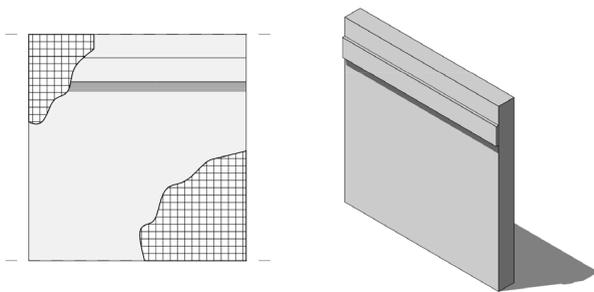


Fig 60 - Degrado delineato con “Campitura”

- In seguito si è provato il comando **“Dividi superficie”** (Fig 61) dalla finestra Modifica, in questo modo è possibile, una volta selezionata una superficie suddividerla utilizzando linee o spline. Il comando **“Dipingi”** assegna all’area degradata un materiale avente texture e motivo superficiale corrispondente al deterioramento corretto.

Risulta possibile mappare il degrado solamente su superfici piane, mentre non è consentito visualizzare le proprietà della superficie né modificarne i parametri, quindi neanche ricavarne l'area o dare un nome alla patologia.

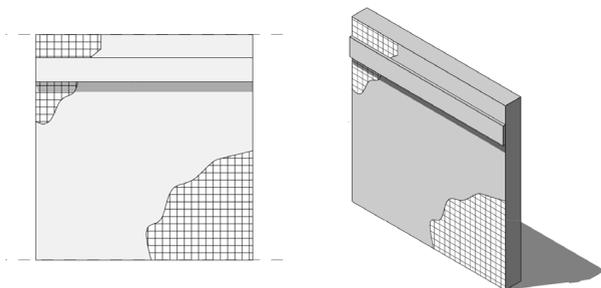


Fig 61 - Degradato delineato con "Dividi superficie" e "Dipingi"

- Il terzo modo è quello di creare un **"Modello locale"** (Fig 62), risulta subito evidente che l'elemento creato è visibili sia nelle viste 2D che 3D, con la relativa texture e nome del degrado, che vengono associati impostando il materiale di cui è fatto tale elemento. Con questo procedimento è possibile ottenere le geometrie dell'area degradata su tutte le superfici creando estrusioni ed unioni opportunamente sagomate, vincolate ad un piano di riferimento.

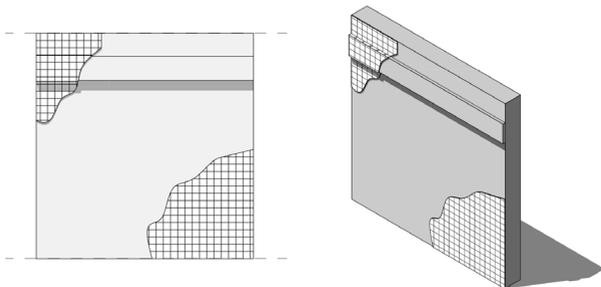


Fig 62 - Degradato delineato con "Modello locale"

- L'ultimo metodo applicato alla porzione di muro prevede la creazione di una Famiglia **“Modello generico metrico adattivo”** (Fig 63), di spessore 1 mm, che viene sovrapposta al muro per segnalare la presenza del degrado. La stessa tipologia di Famiglia, già utilizzata per la creazione delle volte del Santuario, ha come vantaggio principale la possibilità di assumere diverse conformazioni in base alle superfici a cui è accostata, inoltre la stessa può essere utilizzata in altri progetti essendo una famiglia caricabile. Posizionando i vari punti adattivi dell'elemento è possibile mappare il degrado in modo fedele, specie se si è in possesso di una nuvola di punti o una ortofoto, inoltre al contrario delle semplici campiture è in grado di ricoprire elementi tridimensionali. Questo procedimento ha come vantaggio la possibilità di mappare diversi degradi che interessano la stessa zona muraria apponendo i degradi a una differente distanza da esso. Utilizzando questo procedimento la patologia è visibile in tutte le viste del progetto ed è possibile attribuire parametri come nome del degrado, texture e fase in cui compare o viene risanata ma, allo stesso tempo, è necessario l'utilizzo della programmazione visiva in **Autodesk Dynamo Studio** per poter ricavare l'area e la gradazione cromatica per il “Livello di degrado” attribuito.

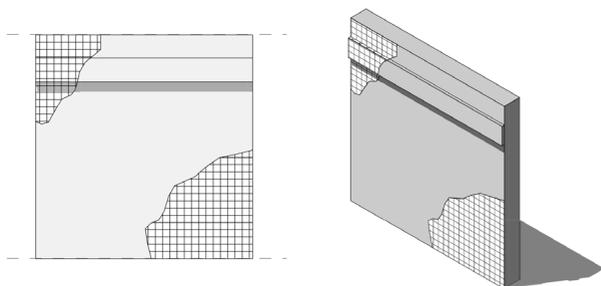


Fig 63 - Degrado delineato con “Modello generico metrico adattivo”

Dal confronto tra questi metodi, anche se risultano tutti validi nel caso generale, si è tratta la conclusione di utilizzare il *“Modello generico metrico adattivo”* perché evince come più indicato per la mappatura dei degradi nello specifico caso studio. Infatti questo prevede di evidenziare i fenomeni di degrado in modo tale da essere utili nelle successive fasi di restauro ma anche con lo scopo di sensibilizzare il visitatore al patrimonio culturale. L'applicazione di questa metodologia viene riservata alla sola facciata a titolo esemplificativo, ma potrebbe essere utilizzata per l'intra struttura.

Il primo metodo, quello che prevede l'utilizzo delle *“Campiture”*, risulta inadatto dal momento che il degrado disegnato è visibile soltanto nelle viste 2D e che non è possibile ricavare un abaco utile per le fasi di restauro. Utilizzando *“Dividi superficie”* e *“Dipingi”* si ottiene una visualizzazione anche nelle viste assonometriche e prospettiche ma non è comunque possibile ricavare i dati alfanumerici delle patologie. Il terzo metodo che prevede la creazione di modelli locali, nonostante a primo acchito possa sembrare una strategia semplice, porta ad un aumento delle dimensioni del file, oltre che richiedere molto più tempo rispetto alla strategia scelta. Come già annunciato, viene scelto di utilizzare il *“Modello generico metrico adattivo”*, poiché nonostante l'impossibilità di variare il numero di punti adattivi con cui è formata la famiglia, è possibile unirne una o più in modo da creare superfici più ampie con l'apposito comando. A questa famiglia è possibile attribuire il parametro che indica il livello di degrado mediante l'utilizzo di Dynamo, oltre che è possibile ricavare le quantità e le informazioni desiderate in un abaco dei degradi.

Con queste metodologia è possibile mappare il degrado in facciata

rientrando nel LOD F, cioè viene modellato l'edificio e le parti che necessitano di un intervento di restauro, sulla base di dati rilevati.

	<i>Campitura</i>	<i>Dividi superficie-Dipingi</i>	<i>Modello locale</i>	<i>Modello generico adattivo</i>
	Fig1	Fig2	Fig3	Fig4
<i>Visibile nel 2D</i>	✓	✓	✓	✓
<i>Visibile nel 3D</i>	X	✓	✓	✓
<i>Area</i>	✓	X	✓*	✓*
<i>Abaco</i>	X	X	✓	✓
<i>Livello di degrado</i>	X	X	✓*	✓*
<i>Fasi</i>	X	X	✓	✓

Fig 64 - Tabella riassuntiva differenze tra le prove eseguite

3.4.2 MAPPATURA DEL DEGRADO

A fronte delle osservazioni fatte sul muro di prova si è deciso di utilizzare il **“Modello generico adattivo”** per mappare lo stato conservativo della facciata e del porticato del Santuario del Trompone.

Nella nuova Famiglia Adattiva vengono posizionati 15 punti sul piano di riferimento verticale e resi adattivi grazie all'apposito comando, infine vengono collegati tra loro da **“Spline di riferimento”**. I punti sono inseriti in senso orario seguendo un **“andamento di percorrenza”**, lo stesso che dovrà essere rispettato nel momento in cui si caricherà la Famigli all'interno del progetto.

Selezionando il perimetro con il comando **“Genera forma”** è possibile creare un solido al quale viene assegnato uno spessore di 1 mm, in modo tale da ottenere un elemento dotato di larghezza minima da posizionare sulla superficie muraria.

All'elemento degrado sono stati assegnati diversi **parametri** (Fig 65) come: *“Tipologia degrado”* dove viene specificata la modificazione subita dalle murature, *“Materiale degrado”* dove selezionando nel progetto un materiale corrispondente al degrado viene visualizzata la texture e il retino conforme alle Raccomandazioni NorMaL. Inoltre nella finestra *“Tipi di Famiglia”* è stato inserito il parametro *“Livello di degrado”* dove attribuire un valore da 0, ossia per nulla degradato, a 1 per elementi particolarmente danneggiati. Per poter ricavare dati utili al progetto sono stati inseriti i parametri *“Area”*, *“Costo unitario”* che indica il costo dell'intervento al metro quadro, *“TOT Costo”* che è il prodotto tra i due precedenti.

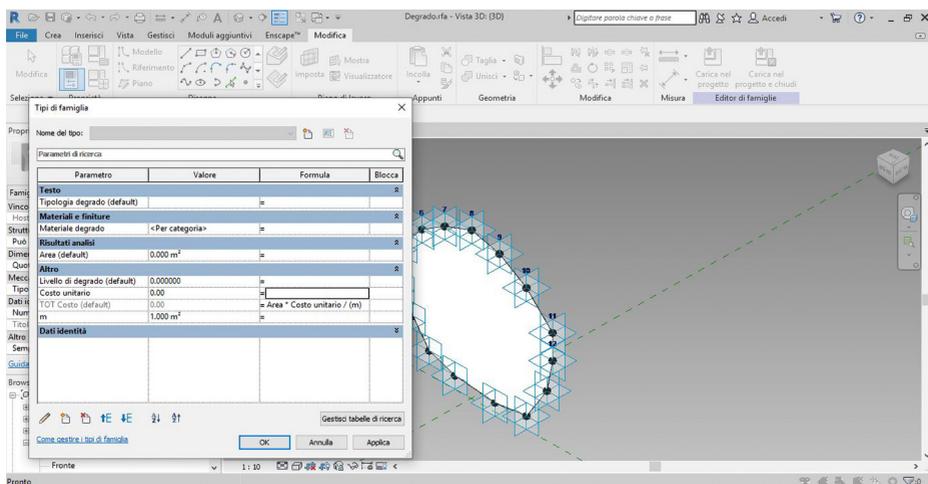


Fig 65 - Screenshot degrado e relativi parametri

Inserendo l'elemento nel progetto, una volta selezionato un muro o un piano di riferimento, è necessario seguire il corretto ordine dei punti. Pertanto se la Famiglia è stata creata disegnando i punti in senso orario, nel progetto si dovrà seguire la stessa sequenza. Questa attenzione è necessaria per evitare la *“frammentazione”* dell'elemento

degrado e la non uniformità della superficie.

Le regioni degradate sono state posizionate sulla base della *“nuvola di punti”* e delle *“ortofoto”* caricate nel file Revit. Nel caso in cui i punti non siano sufficienti per ricoprire l'intera patologia, è possibile posizionare due elementi ed unirli con l'apposito comando, ma nonostante l'unione negli abachi saranno considerati distintamente e non come un unico elemento.

La Famiglia *“Degrado”*, mediante la *Tavolozza delle Proprietà*, è stata duplicata n. volte quanti sono i tipi di degrado individuati in facciata. In questo modo, seguendo la UNI 11182/06, ogni tipologia di degrado raccoglie una serie di informazioni necessarie alla catalogazione, associate sotto forma di parametri. Vengono identificati i tipi di degrado mediante il nome della patologia, una descrizione e una texture.

Queste informazioni saranno necessarie al progetto per creare degli abachi relativi allo stato di fatto. Il problema riscontrato è che il software non calcola l'area del Modello generico metrico adattivo automaticamente.

Per ottenere l'area del degrado e assegnarvi una colorazione in base alla gravità del fenomeno, è stato necessario ricorrere al plug-in per la programmazione visiva in Autodesk Dynamo Studio di Revit. Per il calcolo dell'area il procedimento in Dynamo è stato il seguente.

All'interno dell'interfaccia di **Dynamo**, per prima cosa, si è creato il nodo *“Family Type”*, grazie al quale è possibile selezionare le Famiglie di degrado utilizzate in facciata. Per ottenerne l'area, essendo una Famiglia formata da punti, si è andati ad individuarli e a calcolare la superficie formata tra di essi. Infine con *“Element.SetParameterByName”* aggiungendo il parametro chiamato **“Area”** (tramite *“string”*) si ottiene il relativo valore di superficie, visibile nelle Proprietà della Fa-



Fig 68 - Screenshot dell'esecuzione dello script per la colorazione dei degradi

4 | VISUALIZZAZIONE DATI

Grazie alle tecnologie disponibili oggi è possibile divulgare e visualizzare un modello (risultato dall'acquisizione, elaborazione e restituzione dei dati) nelle sue componenti geometriche e informative, in modo facile e accessibile ad un vasto pubblico.

4.1 ELABORATI TECNICI

l Tra gli obiettivi della tesi si identifica la necessità di realizzare degli **elaborati tecnici** (Allegato C) dello **stato di fatto dell'edificio**, a supporto dei tecnici incaricati del progetto, per ottenere i fondi messi a disposizione dalla CEI (Comitato Episcopale Italiano) e dalla CTR (Cassa di Risparmio di Torino). Il modello di Revit viene esportato in ".dwg" per essere elaborato e condiviso con gli altri partecipanti ai lavori e per garantire continuità con gli elaborati precedenti.

Inoltre viene realizzata una **brochure** (Allegato D) contenete informazioni inerenti al complesso del Trompone e alle tesi che si sono concentrate su di esso.

4.2 I RISULTATI DELLA PROGETTAZIONE PARTECIPATA

Con la compilazione del questionario da parte dal campione di individui (72 risposte ottenute), si è potuto analizzare il possibile impatto del progetto. Nello specifico è stato possibile trarne alcune osservazioni, utili a creare un prodotto finale il più possibile soddisfacente.

Innanzitutto va detto che il questionario è stato compilato da un campione variegato composto da individui di sesso opposto, diversa fascia di età, livello di istruzione e professione svolta (Fig 70).

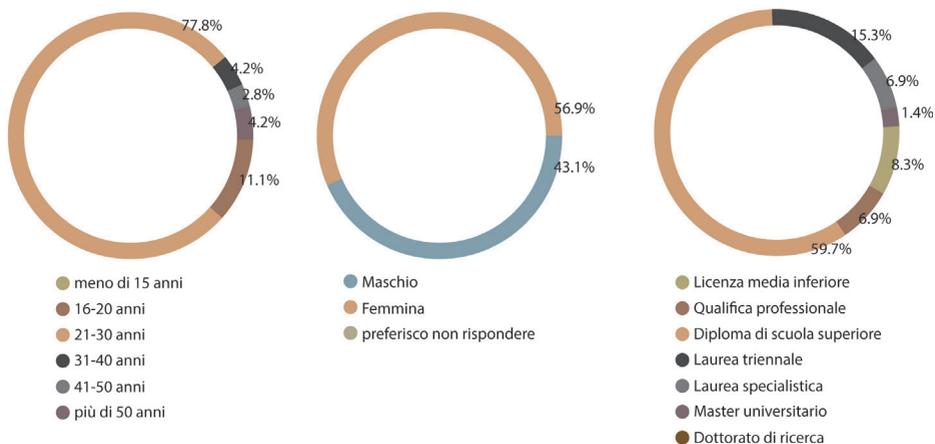


Fig 70 - Dati generali dell'utente

Nella seconda parte si indagano le abitudini del campione, quali se ha mai utilizzato la Realtà virtuale, se è solito utilizzare internet e i social network.

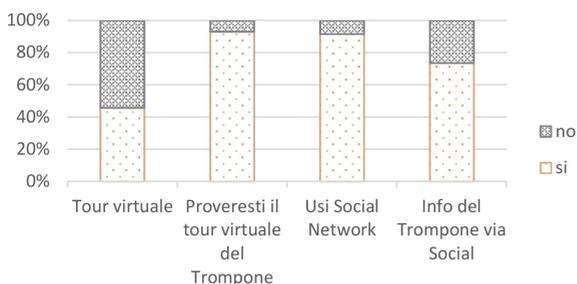


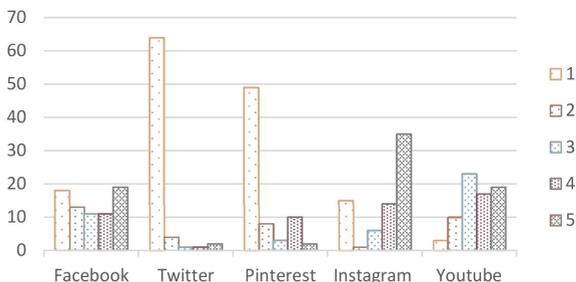
Fig 71 - Risposte per Tour Virtuale e Social Network

Nello specifico è stato chiesto quali informazioni si vorrebbero trovare nel sito web dedicato al Trompone. Si è riscontrato grande interesse per gli eventi (il 40.3%, pari a 29 individui su 72, ha votato 5), la storia e le celebrazioni religiose hanno destato un medio interesse. La possibilità di fare e prenotare un tour sono molto apprezzate (il 38.9% risulta molto interessato a un Tour Virtuale) e infine il 27.8% del campione si ritiene molto interessato a fare una donazione per salvaguardare il patrimonio

culturale legato al Trompone (il 27.8% ha votato 5, il 31.9% 4, etc).

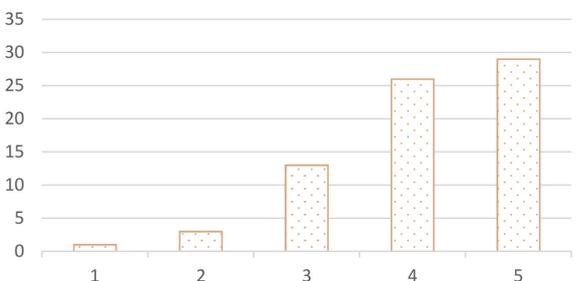
Per quanto riguarda i Social si è domandato quali fossero soliti utilizzare dando un punteggio in base all'utilizzo, da 1 se non lo si usa o lo si usa pochissimo fino a 5 se ci si avvale molto di tale piattaforma.

Fig 72 - Risposte uso dei Social Network, voti da 1 (non lo uso/lo uso pochissimo) a 5 (lo uso molto)



Nella parte conclusiva del questionario viene esplicitato che il Santuario è modellato seguendo la metodologia BIM (conosciuta dal 43.1% degli intervistati) e si invita a riflettere se la strategia di condivisione di modelli 3D di edifici su siti web e su Social sia una buona strategia per sensibilizzare il pubblico verso il patrimonio culturale e religioso.

Fig 73 - Riposte per la condivisione di modelli 3D su siti web e sui Social (da 1 poco interessato a 5 molto interessato)



Restando sul tema del BIM legato alla Realtà Virtuale, si chiede se dopo aver visualizzato l'edificio modellato si potrebbe essere più propensi a visitare l'edificio reale, il 90.3% risponde di sì. È un dato interessante, che vede la disciplina a supporto del settore turistico e delle

manifestazioni oltre che al ormai constatato ruolo di visualizzazione. Le nuove tecnologie risultano essere un ottimo strumento per sensibilizzare il pubblico al patrimonio culturale costruito, lo sostiene ben il 97.2% degli intervistati ossia 70 dei 72 intervistati. Inoltre l'87.5% del campione ritiene che tali tecnologie possano essere utili per sottolineare la necessità di lavori di restauro degli edifici, chiarendo in modo esaustivo la situazione in cui desta.

L'ultima domanda, a conclusione del questionario, chiede quanto si

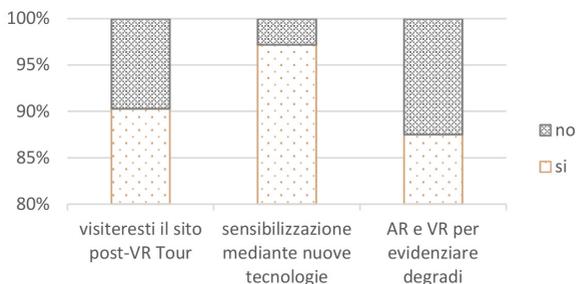


Fig 74 - Risposte per tecnologie VR e AR applicate all'edificio

sarebbe disposti a donare per realizzare i lavori di manutenzione e restauro evidenziati durante il Tour virtuale. La domanda viene posta perché una delle prerogative della tesi è la creazione di un fundraising utilizzando la realtà virtuale, le risposte sono state in linea con le aspettative come riportato nell'immagine seguente.

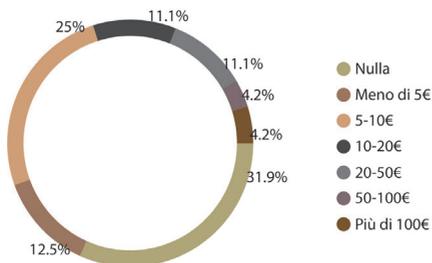


Fig 75 - Risposte disponibilità a donare

4.3 GLI OBIETTIVI DELLA VISUALIZZAZIONE

La scelta è mirata ad ottenere determinate visualizzazioni digitali computerizzate, unendo il **mondo del BIM** con l'eredità culturale (**Cultural Heritage**), attraverso dalla Realtà Virtuale e Aumentata.

La **digitalizzazione del patrimonio culturale** (DCH) è un processo che inizia da un modello tridimensionale, in questo caso BIM, che unisce più professioni nella modellazione e nel racconto del beni storico-artistico che rappresenta l'edificio. Essendo un modello BIM oltre alla rappresentazione delle geometrie sono presenti varie informazioni (come date, quantità e descrizioni dei componenti), utilizzati per la creazione della realtà aumentata e virtuale.

Questo nuovo campo della rappresentazione (**VR** e **AR**) propone il modello in una nuova prospettiva, è possibile visualizzare le informazioni sul complesso del Santuario del Trompone (HBIM) migliorandone la forza comunicativa e divulgativa de i contenuti⁴⁵.

- La **Realtà Virtuale** si sviluppa su un campo molto vasto della computer grafica, tra cui molte applicazioni "*virtuali*" sono state utilizzate a fini educativi. Il software Unity dà la possibilità, con il **gamification approach**, di divulgare informazioni educative e di applicare una nuova tipologia di comunicazione all'utente.

Nel caso della realtà virtuale applicata al Santuario del Trompone lo scenario del gioco include percorsi virtuali, tour nelle fotosfere e interattività con l'ambiente.

Il gamification approach è composto da elementi e metodi di progettazione del gioco, che si sviluppa in un contesto diverso dal videogame come lo conosciamo. In poche parole vengono utilizzati

45. F. Banfi, R. Brumana, A. Aljishi, N. Al Sayeh, M. Santana Quintero, B. Cuca, D. Oreni, C. Midali, Generative modeling, Virtual Reality and HBIM interaction: immersive environment for built heritage: case study of Shaikh Isa Bin Ali House, Bahrain, Milan, Italy: GEORES, 2019.

per l'intrattenimento e l'educazione. Il gamification approach nel nostro caso si è sviluppato su due livelli, quello tramite l'utilizzo dei visori (HTC Vive) consente l'immersione totale nel mondo virtuale; la seconda utilizza il display del computer o del dispositivo come lo smartphone, in questo caso si tratta di VR non immersiva.

- La **Realtà Aumentata** può essere un ottimo aiuto nel campo delle costruzioni ma anche a supporto del turismo.

Tant'è che Tim Cook⁴⁶ affermò che "L' AR accadrà, accadrà in grande stile e ci chiederemo quando lo farà, come mai abbiamo vissuto senza di essa. Come se ci chiedessimo come viviamo senza il nostro telefono oggi. "

Google definisce Realtà Aumentata "una tecnologia che sovrappone un'immagine generata dal computer alla visione del mondo reale di un utente, fornendo così una visione composita".

La AR migliora l'esperienza del turista perché sulla base del mondo reale sovrappone elementi virtuali, arricchendolo di informazioni non sempre facilmente reperibili, in un coinvolgimento virtuale non immersivo. La comunicazione AR del luogo cambia il punto di vista del turista, facilitando la comprensione dei beni di interesse artistico-storico grazie all'utilizzo di dispositivi che supportano applicazioni AR. Questa tecnologia può arrivare a toccare un vasto pubblico grazie alle applicazioni che possono essere scaricate sul proprio smartphone o tablet e utilizzate immediatamente in loco.

La Realtà Aumentata sta avendo un sviluppo molto veloce toccando molti campi nel settore industriale e nel settore turistico, diventerà una realtà fondamentale per la vita quotidiana migliorando le esperienze. Inoltre è meno costosa rispetto ai dispositivi VR.

46. Tim Cook è un dirigente d'azienda statunitense, ingegnere e amministratore delegato di Apple dal 24 agosto 2011.

Fonte: wikipedia

4.4 VISUALIZZAZIONE DELLE SUPERFICI

Un passaggio importante, per ottenere l'esperienza di Realtà Virtuale desiderata, è la modalità di visualizzazione delle superfici.

Ad ogni superficie può essere associato un **materiale** che, con le impostazioni di *opacità, brillantezza, riflessione, trasparenza* e altro, può simulare un materiale reale come per esempio l'intonaco delle pareti, il legno, le parti metalliche o il vetro ecc. Fatta eccezione per alcuni materiali, la superficie ricreata non rispetta totalmente quella reale. Si pensi per esempio al legno, non possibile ricrearne le venature o, come nel caso studio non sia possibile rappresentare una muratura affrescata, servendosi solamente dei materiali presenti nella libreria di Revit.

Questo problema può essere ovviato grazie all'importazione e all'associazione di una nuova texture al materiale.

La **texture** è un'immagine che viene applicata alla superficie, in modo da ottenere un solido con le sembianze di quello reale. Un importante aspetto è che il materiale può non avere associata una texture ma non può esserci una texture senza un materiale applicato all'oggetto.

L'inserimento delle texture risulta un passo importante al fine della visualizzazione del modello nelle fasi successive.

4.5 LE TEXTURE

Per il progetto del Santuario del Trompone è stato necessario ricreare delle texture per rappresentare i dipinti delle volte, dato che i materiali presenti nella libreria non erano in grado di ricreare l'immagine. Queste si basano sulle ortofoto (Fig 76) realizzate con il software Agisoft Photoscan di cui è stata descritta la procedura per l'ottenimento nel capitolo dedicato agli elaborati orto-fotografici.



Fig 76 - Esempio di ortofoto

Gli elementi del modello possono essere **BIM-Based** o **BIM-Oriented**, questo concetto è valido anche per le texture. Nel primo caso la texture è inserita direttamente nel modello di Revit, mentre nel secondo, viene applicata al di fuori del programma BIM. Per ottenere la texture applicata alle geometrie delle volte, si sono provate diverse metodologie utilizzando sempre le stesse ortofoto, al fine di confrontarne i risultati.

Texture BIM-Based:

- Associata al materiale in Revit
- Applicata tramite Dynamo

Texture BIM-Oriented:

- Applicata in 3D Studio Max
- Applicata in Unity

4.5.1 TEXTURE ASSOCIATA AL MATERIALE IN REVIT

Per il progetto del Santuario del Trompone è stato necessario ricreare delle texture per rappresentare i dipinti delle volte, dato che i materiali presenti nella libreria non erano in grado di ricreare l'immagine. Queste si basano sulle ortofoto (Fig 76) realizzate con il software Agisoft Photoscan di cui è stata descritta la procedura per l'ottenimento nel capitolo dedicato agli elaborati orto-fotografici.

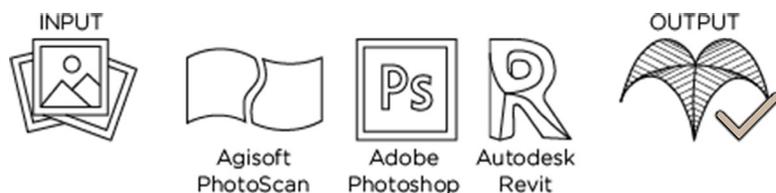


Fig 77 – Processo per la texture associata al materiale in Revit

Nel progetto di Revit per applicare una texture ad un elemento piano al quale si vuole riportare l'immagine esatta del suo aspetto, è necessario impostare una stratigrafia in modo tale che l'ultimo strato ne abbia associata e correttamente proporzionata la texture. Per esempio per applicazione una texture ad un muro si può agire creando una nuova stratigrafia ed inserendo una finitura apposita per il muro. Non essendo ancora presente nella libreria né il materiale né la texture desiderati si procede creando un nuovo materiale denominato *"Finitura muro"*. È necessario agire, tramite il menu per la gestione dei materiali, sull'*"Aspetto"* dove è possibile scegliere la nuova texture (precedentemente salvata in una cartella dove vengono raccolte tutte le immagini utili per creare i materiali del progetto). Si continua modificando le dimensioni dell'immagine, in modo tale che si adatti al muro (Fig 78),

anche la “Grafica” del muro viene impostata per essere concorde alla rappresentazione del progetto nel quale il materiale viene visualizzato.

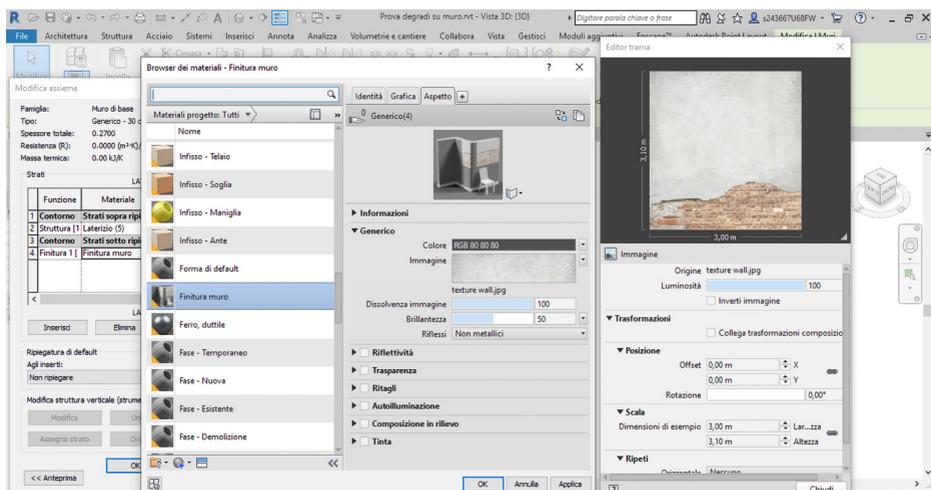


Fig 78 - Creazione nuovo materiale e impostazione della texture

Una volta applicato il materiale, si deve impostare lo stile di visualizzazione come “Realistico” per poter visualizzare la texture applicata al muro o eseguire un Render.

Se applicare una texture ad una superficie piana in Revit è cosa semplice, per una superficie curvilinea non lo è altrettanto. Il problema è stato riscontrato per le volte, precedentemente realizzate con “crea tetto da superficie”, che nell’intradosso presentano superfici dipinte. Per poterle ricreare nel modello BIM di Revit si è dovuto realizzare (per ogni singola volta) due differenti stratigrafie di eguale spessore e materiale, fatta eccezione per la finitura che varia a seconda delle raffigurazioni su di essa presenti. La doppia texture è dovuta all'impossibilità di unire le unghie della volta e formare un unico elemento.

Le ortofoto ottenute con Agisoft Photoscan sono state divise lungo la

linea diagonale formata dall'unione delle unghie della volta, in modo da essere utilizzate come texture del materiale di finitura che costituisce l'intradosso della mezza volta.

Nonostante sia possibile scalare l'immagine, è subito stato chiaro che il problema principale delle texture applicate in Revit è che non si adeguano alle geometrie dell'elemento, nel momento in cui si imposta la corretta altezza dell'immagine non corrisponde la larghezza e viceversa (Fig 79). Non è quindi possibile associare una proiezione ortogonale ad un elemento non piano.

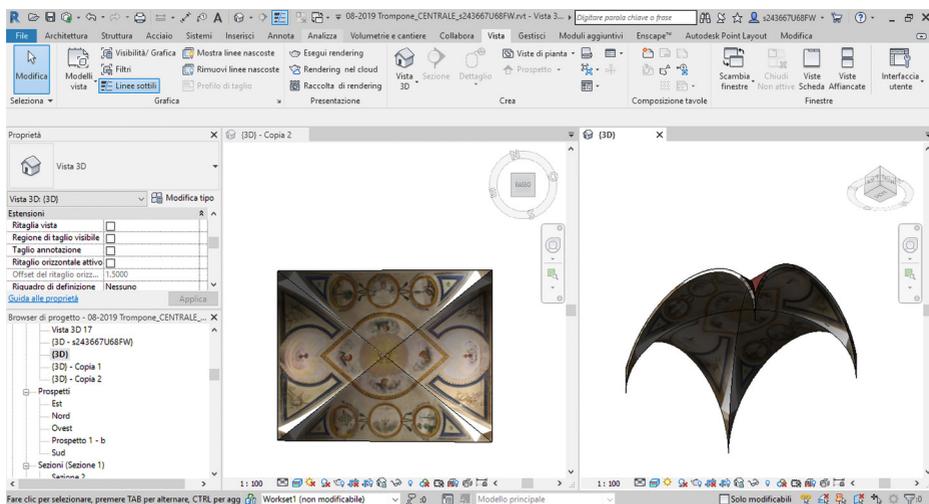


Fig 79 - Volte con texture errate

Il problema è stato ovviato rifacendosi alla geometria descrittiva, per la quale lo sviluppo di un solido è una serie di costruzioni geometriche che, a partire da una rappresentazione del solido, ne trasferisce le superfici su un piano, senza sconnetterle né deformarle⁴⁷.

47. https://it.wikipedia.org/wiki/Sviluppo_di_solidi

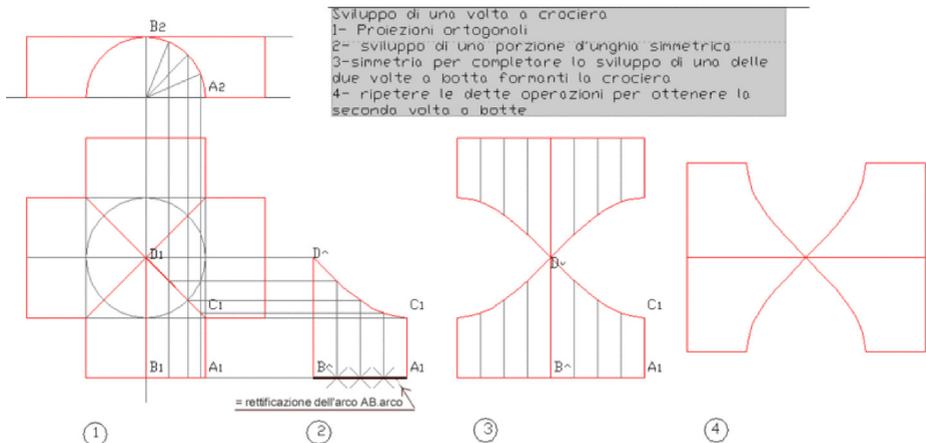


Fig 80 Sviluppo di una volta a crociera
 Fonte: <https://it.wikipedia.org>

Partendo da questo concetto, le ortofoto sono state “deformate” manualmente (Fig 81), grazie ad un software specializzato nell’elaborazione di fotografie, in modo da rappresentare lo svolgimento della volta.



Fig 81 -Texture rimodellata

Si nota che, nel momento in cui viene applicata e opportunamente dimensionata tale texture ad un materiale, riveste in modo corretto la geometria dell’elemento (Fig 82). Nonostante ripetute prove per ottenere la continuità tra le due texture della volta, non sempre si è riusciti ad ottenere un risultato ottimale, infatti essendo una distorsione manuale non è così semplice controllarne le alterazioni.

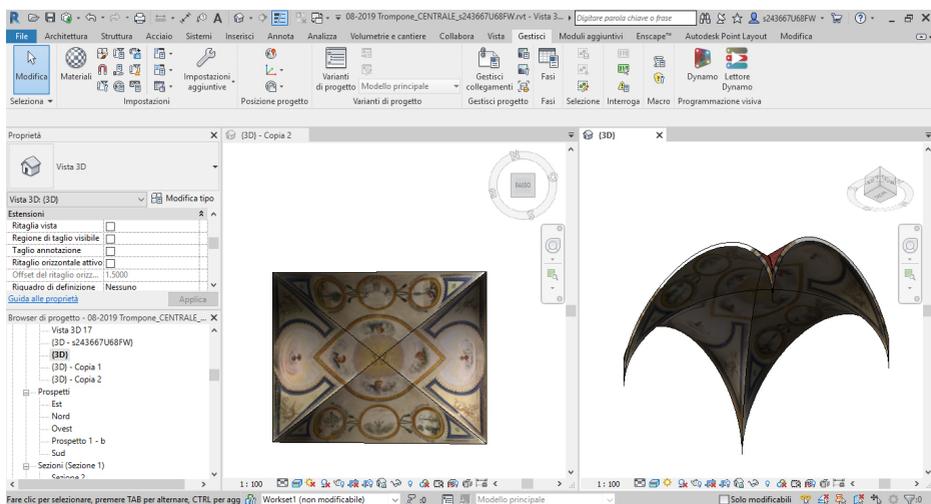


Fig 82 - Screenshot della volta texturizzata

Sebbene sia possibile manipolare le texture in modo tale che seguano lo svolgimento piano dell'elemento modellato, in alcuni casi come per la cupola non è stato possibile utilizzare questo metodo. Infatti, per il posizionamento delle texture su oggetti complessi si è soliti utilizzare software esterni, che riconoscono tali superfici non piane e adeguano l'immagine automaticamente alla forma.

Si ritiene questo metodo comunque valido per l'esperienza in Realtà virtuale offerta da plug-in con i quali non è possibile associare in modo corretto tali texture.

Per determinare la validità del metodo, sono state effettuate delle prove di sola visualizzazione delle texture mediante alcuni plug-in per la Realtà virtuale connessa al modello BIM. Vengono riportati di seguito i risultati:

- **VISUALIZZAZIONE IN KUBITY**

Kubity permette di esplorare i modelli 3D direttamente da uno smar-

phone utilizzando Google Cartboard o con Oculus Go e Samsung Gear VR. È sufficiente avviare il plug-in, gratuito per 14 giorni, per esplorare il progetto in **Realtà Virtuale** e **Aumentata** caricando il progetto in cloud. È possibile caricare il progetto in visualizzazione “Realistica” in modo tale da percepire le texture.

Sebbene nel modello visto dall'esterno le texture risultino corrette, una volta entrati all'interno dell'edificio si nota come le nuove texture (tra le quali quelle delle volte) siano traslate (Fig 83) rispetto alla visualizzazione che si aveva in Revit.

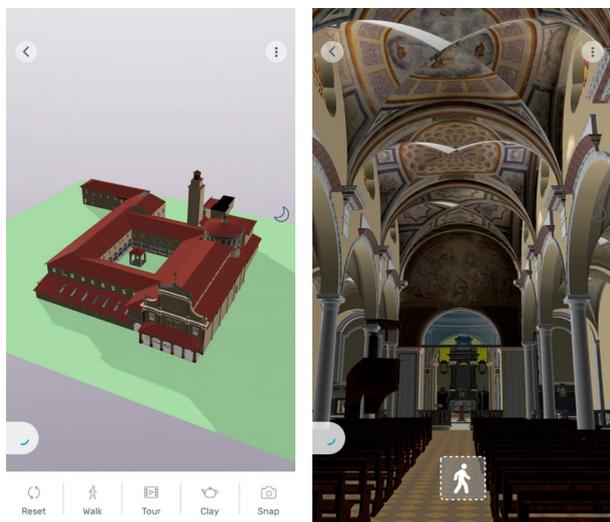


Fig 83 - Screenshot del modello visualizzato in Kubity

- **VISUALIZZAZIONE IN ENSCAPE**

Enscape è un plug-in dedicato al **Real-Time Rendering** e alla **Realtà Virtuale**. Sebbene siano possibili diverse operazioni, anche in questo caso non si sono fatte prove ulteriori che la semplice visualizzazione delle texture per indagarne la visibilità.

È possibile come nel caso precedente, con poche accortezze come

l'impostazione della vista di Revit in "Realistico", passare dal modello BIM alla visualizzazione in Realtà aumentata.

Dalla immagine riportata (Fig 84) si evince come in questo caso le texture rimangano saldamente connesse alle volte, restituendo perfettamente i dipinti del Santuario.

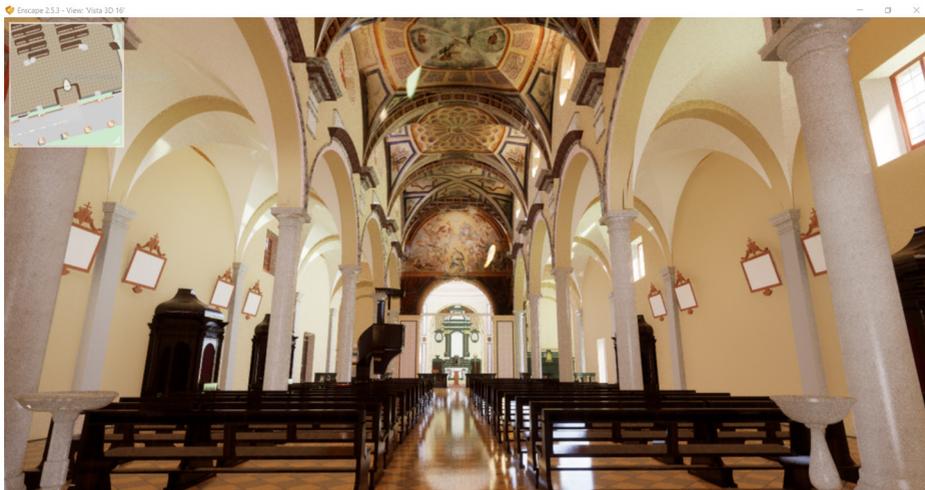


Fig 84 - Realtà Virtuale con Enscape

- **VISUALIZZAZIONE IN WALK THROUGH 3D**

Walk Through 3D è un plugin per Revit che ti permette di **camminare** all'interno del proprio progetto e cambiando le impostazioni visualizzare il modello nelle varie ore della giornata.

Anche in questo caso le texture delle volte risultano spostate rispetto a dove posizionate in precedenza, al contrario le texture piane, come per esempio la lunetta all'ingresso della rotonda, appaiono salde alla loro posizione.

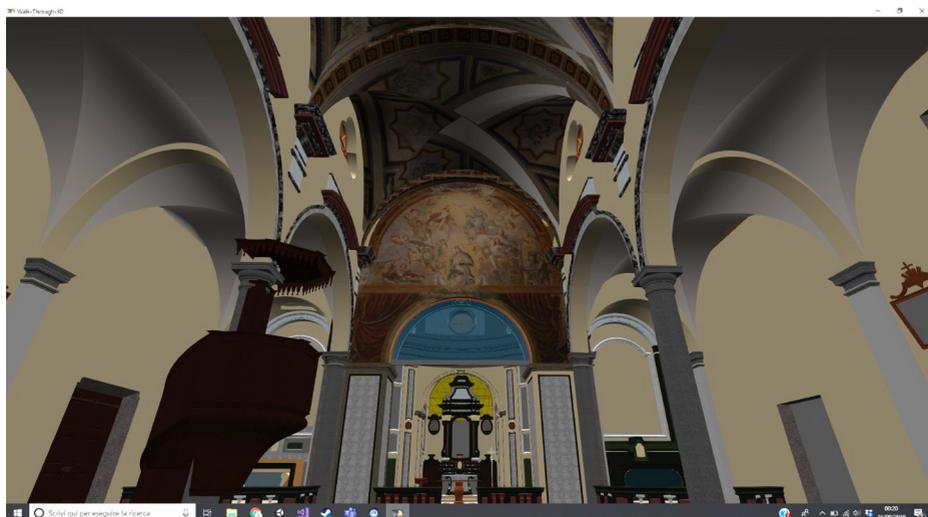


Fig 85 - Realtà Virtuale con Walk Through 3D

4.5.2 TEXTURE APPLICATA TRAMITE DYNAMO

Un'altra metodologia utilizzata, sempre nel software Revit, è quella di applicare le texture grazie all'interfaccia di programmazione grafica di Dynamo (Fig 86).



Fig 86 - Processo per la texture associata al materiale in Revit

Utilizzando *“Select Faces”* è possibile selezionare le due unghie della volta contemporaneamente, e con i nodi *“File.FromPath”* e *“Image.ReadFromFile”* selezionare il percorso del file immagine da utilizzare come texture, che viene convertito e si genera un'immagine per il campionamento. La texture selezionata può essere scalata rispettivamente lungo gli assi x e y impostando i valori del nodo *“Image.Pixels”*.

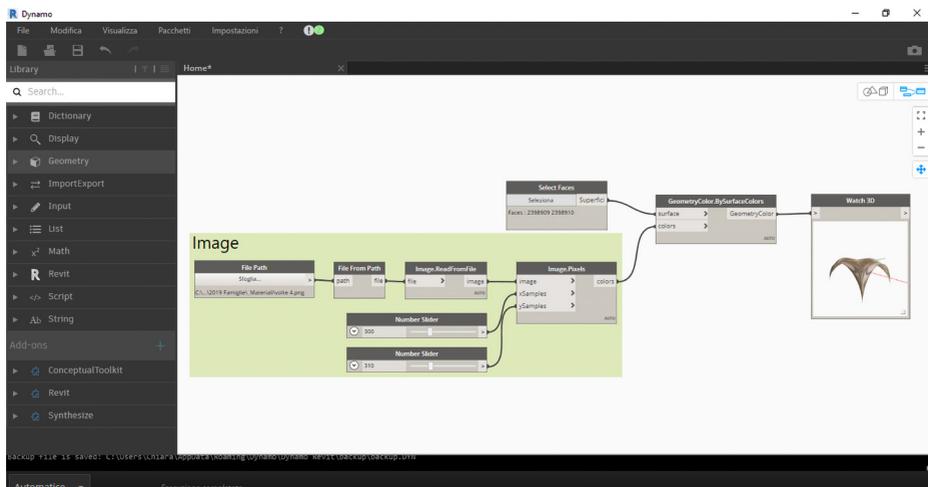


Fig 87 - Dynamo applicazione della texture ad una volta in Dynamo

Infine *“Display.BySurfaceColors”* mappa i vari colori sulla superficie ricreando l’immagine sulla volta (Fig 86).

Questa metodologia, sebbene porti all’applicazione dell’immagine nell’interfaccia di Dynamo dove la texture aderisce alle forme curvilinee della volta, non risulta visibile nel modello di Revit.

4.5.3 TEXTURE APPLICATA IN 3DS MAX

Si procede con l’applicazione delle texture BIM Based. In questo caso non si un file Revit o un *“.fbx”*, ma si sceglie di fare *“Link Revit”* per ottenere un modello più leggero e non perde comunque dati rispetto all’importazione.

Le texture non vengono importate automaticamente ma è possibile riassocierle andando a specificare il percorso dei materiali mancanti (Fig 88).

selezionati

2. **Per entità:** il file viene esportato per Famiglie (es. muri, pavimenti, tetti etc. senza distinzione dei *Tipi*).
3. **Come singolo elemento:** ogni elemento modellato viene sportato a sè.

Al termine dell'esportazione si ottiene un file *“.obj”*, un file *“.mtl”* utile per ricollegare le texture che vengono esportate e salvate nella stessa cartella.

il file *“.obj”* viene inserito nel progetto di Unity, dove risultano importate le geometrie degli elementi e le informazioni alfanumeriche del modello BIM a discapito delle texture. Gli elementi risultano associati al materiale ma non vengono visualizzati, il risultato è un modello bianco privo degli elementi modellati con *“Modello generico metrico adattivo”* (Fig 89).

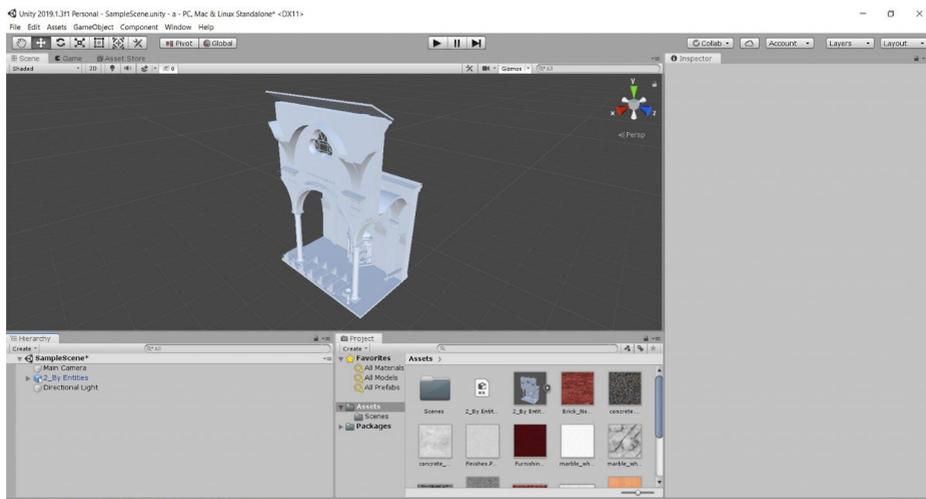


Fig 89 - Screenshot del modello Unity ottenuto con il plug-in Export to Unity

- CONVERT TO OBJ:** si tratta di un plug-in di *Revit* che ti permette di esportare il file in *“obj”* scegliendo il grado di dettaglio, l'accuratezza e l'unità di misura desiderati. Inoltre si salva, come per il precedente caso, un file *“.mtl”* e le texture in una cartella.

Non è possibile esportare solo una porzione di edificio con la versione free del plug-in.

In questo caso, importando il file della cartella che si crea con l'esportazione, sono visibili gli elementi (compresi i *“Modello generico metrico adattivo”*) con i relativi materiali associati ma non le texture.
- È possibile, avendo già rielaborato il modello BIM con texture e materiali in **3Ds Max**, importarlo in Unity. Si tratta di un file *“.fbx”* il quale mantiene collegate le impostazioni eseguite in 3Ds, importando però solo i materiali impostati in quest'ultimo, vengono infatti perse la maggior parte delle texture applicate in Revit (comprese quelle delle volte).

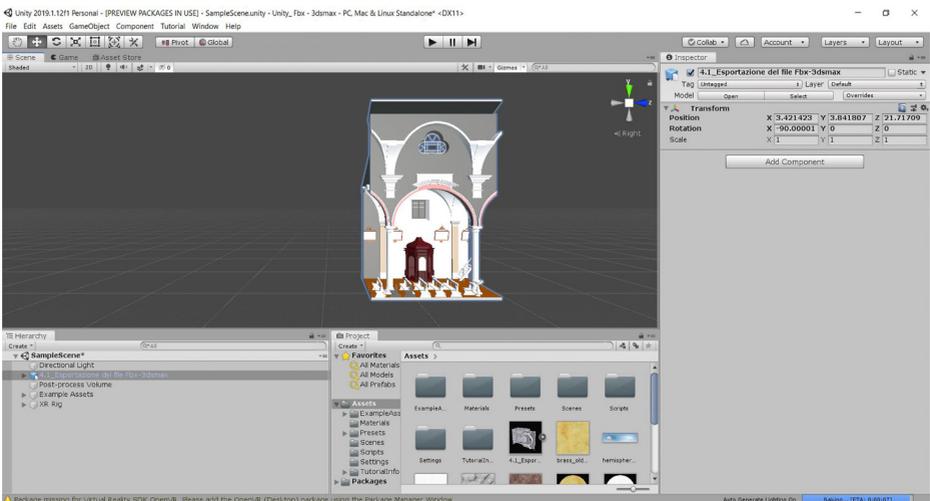


Fig 90 – Screenshot del modello Unity importato da 3Ds Max

	<i>Export to Unity</i>	<i>Convert to Obj</i>	<i>3ds Max</i>
<i>Materiali</i>	100%	100%	65%
<i>Texture</i>	0%	0%	25%
<i>Geometrie del degrado</i>	0%	100%	100%
<i>Informazioni alfanumeriche</i>	75%	65%	0%

Fig 91 - Tabella riassuntiva esportazioni per Unity

A seguito delle varie prove effettuate si è scelto di utilizzare il plug-in **Convnet OBJ** perchè garantisce buoni risultati in tempi molto minori rispetto agli altri metodi. In alternati, ma con tempistiche allungate, è possibile utilizzare il passaggio via 3Ds Max, riassociando i materiali inseriti in Revit uno a uno manualmente, ma risultato finale in rapporto con il tempo impiegato è inferiore a quello che si ottiene utilizzando il plug-in Convert OBJ. Si è notato che associando le texture in 3Ds Max (senza associarle in Revit) è possibile visualizzarle in Unity.

4.6 LA REALTÀ VIRTUALE (VR)

Dopo l'importazione del modello **BIM** su **Unity**, sono stati scelti due tipologie di rappresentazione (VR):

1. Rappresentazione grafica con l'ausilio dell'**HTC Vive**, si tratta di una **realtà immersiva**. L'utente utilizza i visori che lo portano in un ambiente costruito, virtuale, e ha la sensazione di essere realmente nell'ambiente che vede.
2. Visione del **modello su un display**, rappresenta la finestra sul modello del Santuario del Trompone, l'utente può interagire attraverso l'utilizzo della tastiera o appositi joystick. In questo caso si parla di realtà virtuale **non immersiva**.

LA REALTÀ IMMERSIVA CON L'UTILIZZO DELLA TECNOLOGIA HTC VIVE

Dopo l'importazione del modello su Unity, è stato scaricato, sull'**Assets Store**, **Steam VR** che permette al programma Unity di richiamare HTC Vive.

Con gli ultimi aggiornamenti dell'Assets Steam VR, durante il percorso di produzione, si sono riscontrati dei problemi recati dall'aggiornamento, uno dei quali è il *Laser Pointer*, non è stato utilizzato per l'interazione con l'ambiente virtuale. Per la risoluzione di questo problema si è scelto l'inserimento di *"bottoni"* virtuali che vengono attivati dal tocco del controller.

Nel modello virtuale è stato scelto di iniziare il percorso di visita virtuale dall'esterno per visionare i degradi della facciata del Santuario del Trompone segnati da una determinata colorazione. In questo caso è stato inserito l'utilizzo del *"bottone"* che permette all'utente di interrogare l'elemento architettonico e strutturale degradato.

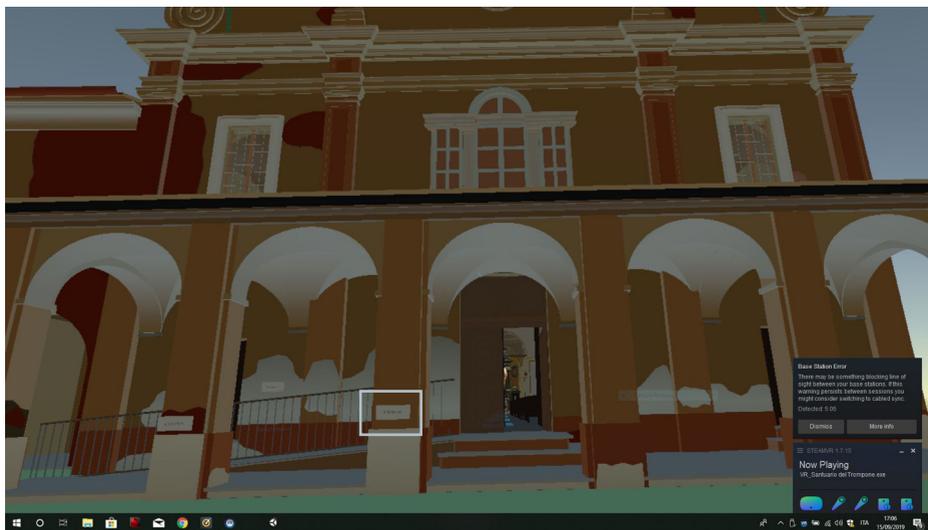


Fig 92 - Screenshot della scena iniziale, nel riquadro il bottone per le informazioni



Fig 93 - Screenshot delle informazioni fornite premendo il bottone

Per permettere all'utente di muoversi all'interno del sistema virtuale senza spostarsi relamente si è utilizzato il *Teleporting* che utilizza lo script *TeleportArea*, che fa parte degli espedienti dello *Steam VR*, che è stata inserita nelle aree interessate dal percorso virtuale. In alcuni casi si è voluto introdurre delle posizioni puntuali per l'interazione con alcuni elementi stabiliti, ed è stato utilizzato il *TeleportPoint*.

La scelta di lasciare il Santuario del Trompone senza i dipinti ci ha

permesso di inserire le Fotosfere all'interno del percorso. L'utente ha la possibilità di visualizzare l'edificio religioso con le decorazioni, mancanti nel modello tridimensionale, entrando nelle **“sfere”**.

Per poter visualizzare queste Fotosfere, ho creato l'elemento **“sfera”**, successivamente inserito come texture le foto 360 ottenute durante i sopralluoghi con l'ausilio *Theta V*, queste rappresentazioni 360 non sono state utili ai fini della Fotogrammetria ma hanno dato maggior dettaglio all'edificio religioso. Per poterle visualizzare all'interno della sfera si è utilizzato un script **“Texture_Script”**.



Fig 94 - Screenshot della scena interna con le sfere delle foto 360

All'interno del Santuario si è inserito anche la parte che si svolta nel periodo di aprile per ottenere i fondi dalla *CRT* e *CEI* per il restuaro del tetto e dell'organo. È possibile visualizzare le *Tavole* e il *Brochure* finalizzato per questo scopo.

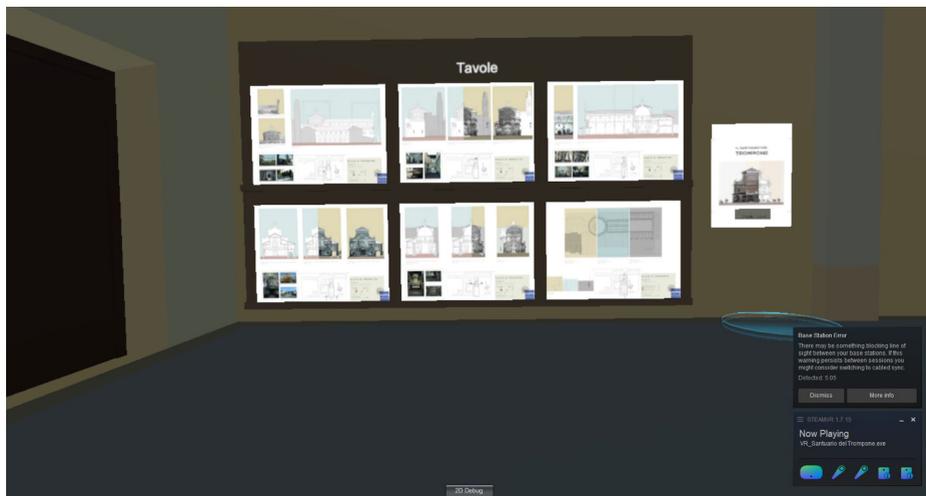


Fig 95 - Screenshot vista delle tavole e della brochure

LA VISIONE DEL MODELLO VIRTUALE SUL DISPLAY

La visione del modello virtuale sul display permette di raggiungere un pubblico più ampio grazie alla pubblicazione sui socialnetwork. L'esperienza offre la possibilità di eseguire movimenti più liberi, manovrati dalla tastiera, rispetto alla visione con il sistema HTC Vive.



Fig 96 - Screenshot della scena iniziale

Anche in questo caso, come nel precedente, alcuni elementi architettonici possono essere interrogati e l'utente ricevendo informazioni sul degrado, potrà decidere se fare donazione per migliorare le condizioni dell'edificio⁴⁹.



Fig 97 - Screenshot della finestra di descrizione del degrado e bottone dona

Ci sono più animazioni rispetto alla realtà immersiva, un caso è l'apertura della porta. Si è utilizzato l'*Animation* per creare il movimento, successivamente l'*Animator* per gestire l'animazione. Infine si è creato un nuovo script "*OpenDoor*"⁵⁰ che permette l'attivazione del movimento quando il *player* si avvicina alla porta, questo è possibile grazie ai *collider*.

Un'altra animazione è quella della brochure che si attiva con i bottoni e con l'aiuto di uno script "*UIManager*" creato ad hoc.

49. Nonostante si sia creato il pulsante per le donazioni, l'operazione non è possibile perché non è stato attivato un conto.

50. OpenDoor fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=jKe2zMFa2mw>

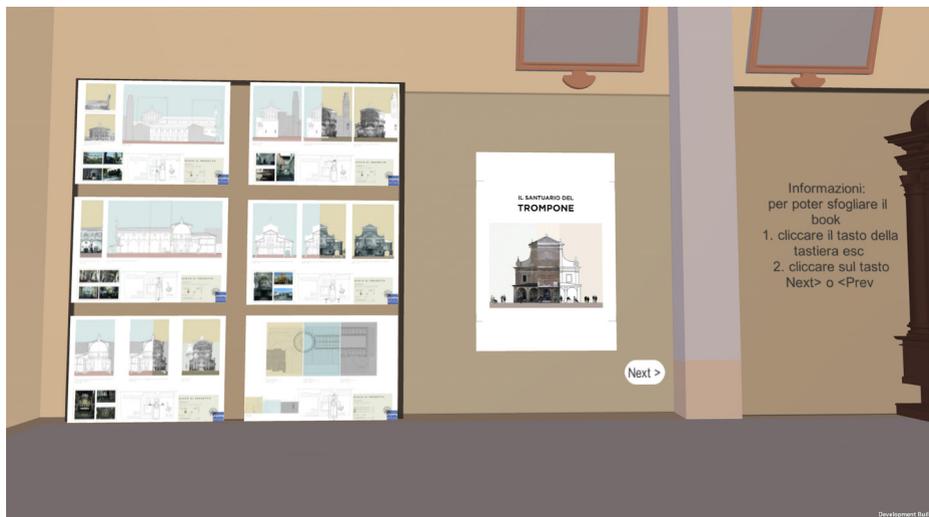


Fig 98 - Screenshot vista delle tavole e della brochure

Anche in questo caso si sono inserite le fotosfere, per permettere ai visitatori di osservare le decorazioni non modellate con metodologia BIM. Sono state realizzate nello stesso modo dell'applicazione del HTC Vive.



Fig 99 - Screenshot vista della sfera, a sinistra dall'esterno, a destra dall'interno

4.7 LA REALTÀ AUMENTATA (AR)

Per ottenere la realtà aumentata abbiamo utilizzato Vuforia, che è stato scaricato negli *assets* di Unity.

Per lavorare con questa visualizzazione bisogna modificare le impostazioni di Unity che permettono di lavorare con la modalità **Vuforia Augmented Reality Support**. Per impostare il file bisogna andare su *File/Building Setting* successivamente su *Player Settings*, nell'area Inspector si apre la finestra delle proprietà, bisogna modificare le impostazioni che si trovano nel campo *XR Setting* e scegliere la modalità della realtà aumentata.

Come primo elemento da inserire è la *AR Camera*, che corrisponde alla camera del dispositivo che ospiterà l'applicazione e che si accenderà appena avviata.

Si inserisce l'immagine target che sarà il marker visivo per la creazione della realtà aumentata.

questo punto bisogna collegare a Unity l'applicazione Vuforia. Per poterlo eseguire si necessita di utilizzare il sito <https://developer.vuforia.com/>, successivamente si crea la *License Manager*, la quale viene copiata e aggiunta su Unity, più precisamente sulle impostazioni della *AR Camera*.

Successivamente si passa alla creazione dell'*Image target*, nel progetto si è utilizzato la **Tavola AR** (Fig 100), si tratta del marker che verrà riconosciuto dal dispositivo per ospitare le informazioni virtuali.

Sempre sul sito di Vuforia si aggiunge un nuovo *database* che ospiterà l'immagine, Tavola AR, ovviamente per funzionare bene deve avere molte informazioni grafiche.

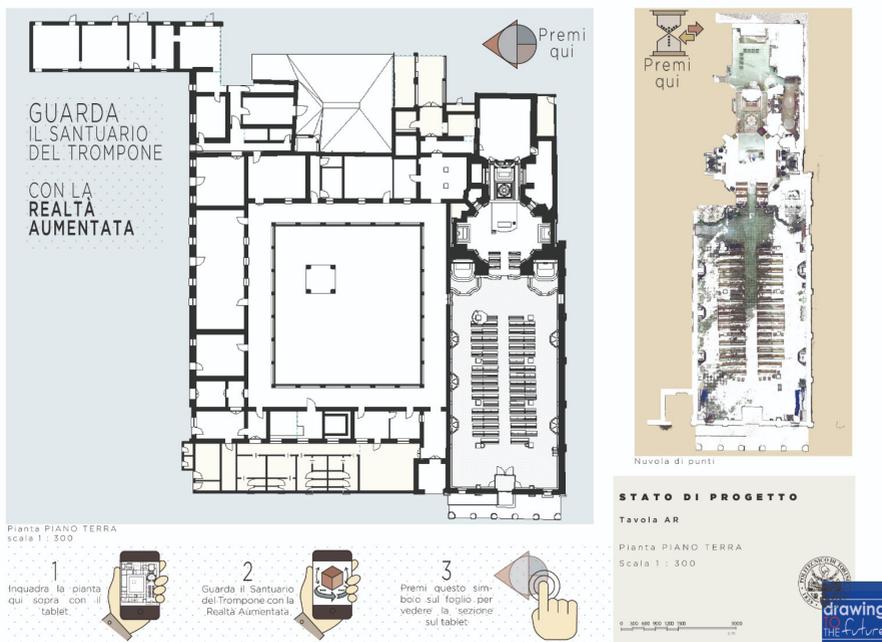


Fig 100 - Tavola AR, utilizzata come Image Target

Il pacchetto viene scaricato e importato su Unity. Si seleziona, nell'area *Hierarchy*, l'Image Target e nel campo Inspector viene visualizzato il pannello di configurazione. Sull'area Database si sceglie "*Santuario-delTrompone_AR-Oggi_Sezione_Storia*".

Si seleziona *AR Camera* e nel menù dell'Inspector alla voce "*World Center Mode*" viene selezionato *First_Target*.

Successivamente si passa all'organizzazione della scena, dove si scelgono gli elementi che verranno visualizzati dal dispositivo che ospiterà l'applicazione AR.

A titolo esemplificativo per la divulgazione storica-artistica sono stati scelti determinati elementi da visualizzare, i quali sono: il modello generale, la sezione, e quattro relativi periodi storici del Santuario del Trompone.

Nel display del dispositivo gli elementi non si sovrappongono, per passare da un modello all'altro si è scelto di inserire l'utilizzo delle scene e dei *"bottoni"*.

Per ogni modello 3D si è creata una *scena*, da permette all'elemento computerizzato di posizionarsi sul punto che vogliamo senza accavallarsi con gli altri modelli.

Per permette allo smartphone di visualizzare tutte le scene singolarmente, si è scelto inserire l'elemento *"bottone"* che con l'utilizzo dello *script* in c# *"UserInterfaceButtons"* permette di passara da una scena all'altra.

Il modello generico è stato impostato, grazie allo script scaricate dall'Asset Store (Lean Touch) , per essere interrogato e può essere spostato,ingrandito e ruotato.

Dopo aver terminato, nel nostro caso, si esporta per la piattaforma **Android**.

L'AR del Santuario del Trompone è utilizzata per divulgare la storia e lo sviluppo architettonico. Al visitatore viene offerto un punto di vista diverso e la possibilità di interrogare con gli elementi di interesse.



Fig 101 - Visualizzazione della tavola in AR

4.8 MODELLO BIM SOCIAL

Il modello **BIM Social** è un progetto tridimensionale sviluppato per ottimizzare la condivisione dei dati sui **Social Network**, sui **blog**, **siti web** e, più in generale su **internet**. Non va dunque confuso con il Social BIM, cioè la possibilità di condividere un file di lavoro con i diversi professionisti coinvolti nel progetto, i quali possono apportare modifiche ed eseguire analisi sul modello stesso.

Il modello BIM Social ha come prerogativa l'**accessibilità** da parte di un ampio pubblico, partendo dai progettisti che lo sviluppano sino ad incontrare una vasta gamma di **utenti** che vi gravita intorno. Il fruitore può essere un turista che cerca informazioni inerenti all'edificio, un professionista in cerca di confronto, un cittadino interessato ai lavori in svolgimento su un edificio della propria città. Il modello Social è un punto di riferimento, una raccolta di dati utili alla documentazione dell'edificio disponibili online. Ogni utente può **visualizzare**, **condividere** e **commentare** il progetto, il modello assume un aspetto sociale intorno al quale si può avere un dibattito, dare informazioni e raccogliere dati e commenti degli utenti per ottenere un **report sociale dell'impatto del progetto sul contesto**.

Nel caso il modello virtuale sia di un edificio esistente, esso stesso diviene un punto di partenza per la sponsorizzazione e la promulgazione di **eventi** che si creano attorno all'edificio reale. La visualizzazione dei dati online consente una migliore diffusione della conoscenza tra gli attori coinvolti, in modo da migliorare la diffusione del fabbricato e valorizzarne gli **aspetti sociali e culturali**. La possibilità connessa alla risorsa digitale è la possibilità di utilizzarla per la creazione di campagne mirate al **fundraising**, cioè per la raccolta fondi. Il **gemello digitale** rappresentativo dello **stato di conservazione** del fabbricato

diviene la base sulla quale evidenziare i lavori di restauro e manutenzione necessari alla struttura reale, utile per raccogliere donazioni per i lavori necessari.

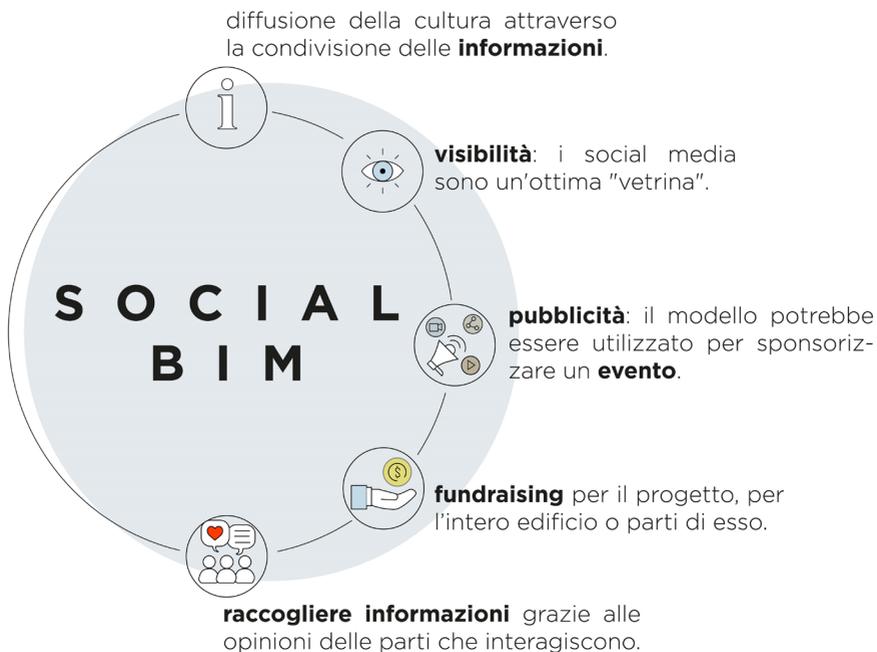


Fig 102 - Definizione di BIM Social

4.8.1 LA CREAZIONE DI UN SITO DIVULGATIVO

Per connettere con un ampio pubblico si è scelto di utilizzare i Social Network, uno di queste piattaforme è il *sito web* creato per aggiornare gli utenti interessati sulle attività, che si terranno nel corso dell'anno, con lo scopo di ottenere dei fondi per il restauro del Santuario.

Il blog si sviluppa in sei voci principali che sono:

- La *HOME*, la pagina principale racchiude i motivi che hanno determinato la creazione del Blog, nella seconda parte viene spiegato il procedimento che si è adottato per arrivare al risultato della tesi.

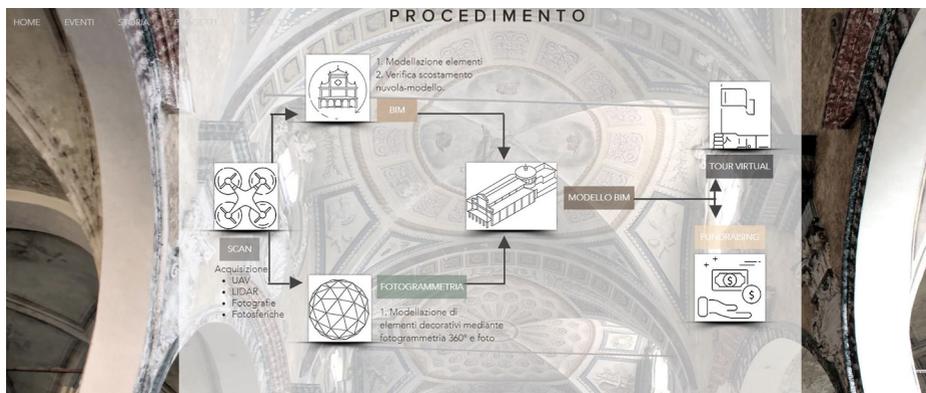


Fig 103 - Screenshot della finestra Home con il procedimento della tesi

- *EVENTI*, in questa parte del sito si tengo aggiornati le manifestazioni che si svolgono durante l'anno.
- *STORIA*, la finestra storica è stata organizzata in modo da visualizzare lo sviluppo architettonico del dell'edificio religioso, e una parte che riporta gli eventi significativi che hanno reso importante il Santuario .
- *PROGETTI*, si tratta di uno specchio di tre progetti che hanno avuto come soggetto principale il Santuario del Trompone, e sono:
 - a. *Il giardino sensoriale delle quattro stagioni;*

- b. *Centro Diurno per malati di Alzheimer;*
 - c. *Giardino d'inverno.*
- Il *VIRTUAL TOUR*, è una piattaforma virtuale che da la possibilità di visualizzare, visitare e interrogare il Santuario del Trompone da casa.



Fig 104 - Screenshot del tour Virtuale accessibile dal sito

- *CONTATTACI*, in questo campo si visualizzano le informazioni che possono servire per comunicare con gli addetti del Santuario del Trompone .

Il sito, come accennato precedentemente, ha come scopo quello di ricevere dei fondi per migliorare l'aspetto del Santuario. In questo caso, con l'aiuto del modello BIM importato su software unity si è ricavato un modello navigabile e interrogabile che da la possibilità di donare per le migliorie.



Fig 105 – Screenshot dell'esperienza virtuale, interrogazione degli elementi degradati e possibili donazioni.

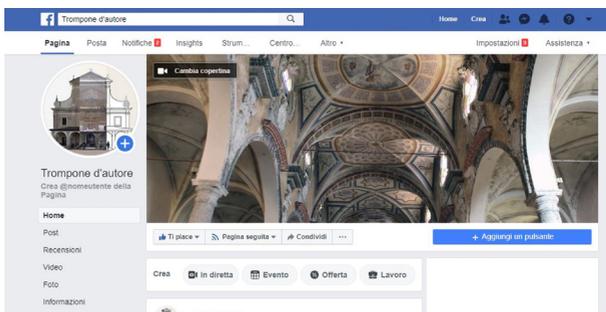


4.8.2 FACEBOOK

Seguendo la prospettiva della divulgazione online, si è realizzato il **modello BIM** del Santuario del Trompone per essere **condiviso, diffondendo** i suoi **contenuti, creando un dibattito online** attorno alla struttura su una piattaforma Social di uso comune. A seguito di dovute riflessioni, **Facebook** è stato scelto come mezzo della condivisione del modello tridimensionale aprendo nuove opportunità di confronto. L'idea di raccogliere i lavori inerenti al Santuario del Trompone si è fusa con la necessità di creare una pagina Facebook a supporto degli eventi che gravitano attorno alla struttura stessa. È così nata la pagina **Trompone d'autore** (Fig 106). Alla pagina viene associato il sito web al quale è possibile collegarsi per ottenere maggiori informazioni.



Fig 106 – La pagina Facebook del Santuario



Per ottenere invece le immagini 3D partendo da un progetto è necessario procedere seguendo alcuni passi specifici come riportati nell'immagine qui di sotto (Fig 107).

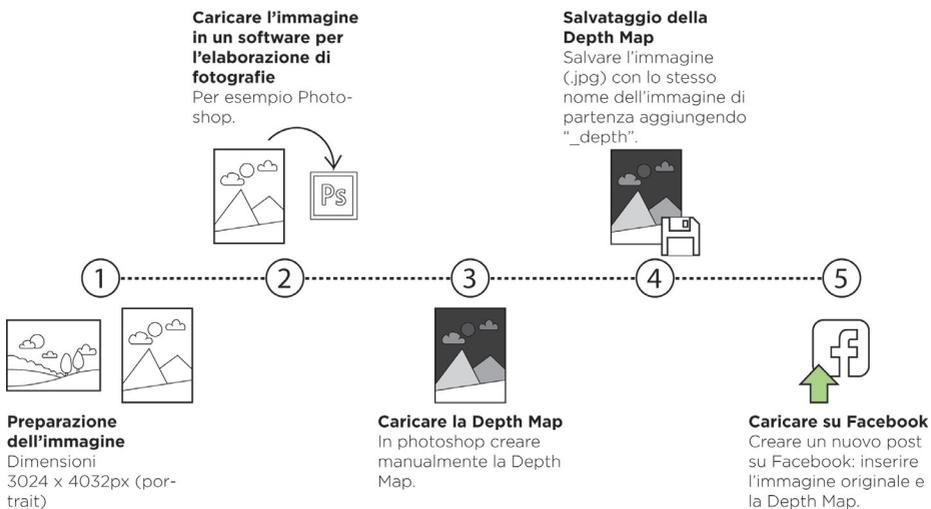


Fig 107 - Schema riassuntivo per la creazione di una foto 3D su Facebook

Come primo passaggio, è necessario impostare le dimensioni della vista 3D all'interno del software Revit ed esportare tale vista in formato .jpg. Per **ottenere un'immagine** adatta alla pubblicazione su Facebook è consigliato impostare le dimensioni di 3024 x 4032px.

Al fine di ottimizzare la creazione di un'immagine 3D per Facebook è necessario:

- Scegliere una vista di Revit che abbia una profondità tale da poterla scomporre in diversi livelli
- Laddove possibile, non avere diversi elementi del medesimo colore sovrapposti
- Impostare la vista in modo che siano ben visibili le trame e i bordi

degli elementi della scena

L'immagine deve essere caricata in un software per l'elaborazione di immagini, nel caso studio è stato utilizzato Photoshop, in questo modo è possibile iniziare a creare, sulla base dell'immagine di partenza, la **Depth Map**.

Purtroppo non è stato individuato un metodo che permettesse l'estrazione automatica della Depth Map, dato che il file di partenza non è una fotografia ma bensì un'immagine dalla quale i software non possono ricavare le informazioni legate alla lunghezza focale⁵².

La logica alla base della creazione di una mappa di profondità è semplice: gli elementi in primo piano devono essere colorati in bianco e, via via che ci si avvicina allo sfondo, quelli più distanti assumono colorazione tendente al nero, utilizzando una scala di grigi. Per facilitare questo passaggio oltre all'immagine che rappresenta l'intera scena sono state esportate delle immagini alle quali è stato applicato "*Riquadro di ritaglio*" che seziona, ad intervalli regolari, la vista in modo da ricavare diversi livelli di profondità.

Il risultato ottenuto è un'immagine in bianco e nero⁵³ (Fig 108).

52. <https://www.omnivirt.com/blog/create-3d-photos-facebook/>

53. <https://www.omnivirt.com/blog/depth-map/>

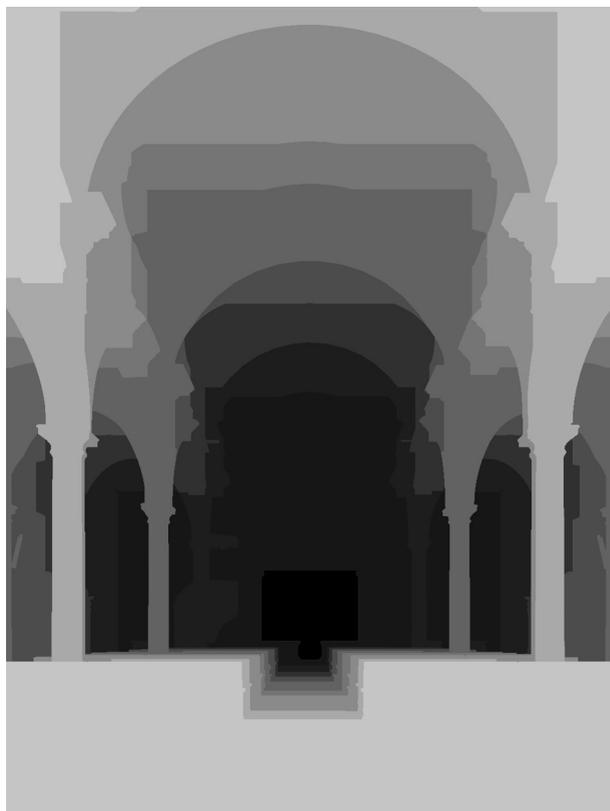


Fig 108 - Creazione della Depth Map

Una volta ottenuta l'immagine con i livelli di profondità è necessario salvarla con lo stesso nome del file di origine aggiungendo a seguito del nome “_depth”, in questo modo quando verrà caricata su Facebook sarà automaticamente letta come Depth Map.

L'ultimo step è la creazione dell'immagine 3D su Facebook: scegliendo “crea nuovo post” e selezionando “Foto/video” è possibile caricare l'immagine e la relativa Depth Map appositamente creata. Facebook automaticamente riconosce le immagini caricate e crea una foto 3D (Fig 108). Prima di condividere il post, oltre ad una breve descrizione

didascalica, sono stati aggiunti degli hashtag in modo tale da “etichettare” e rendere più reperibile il post dagli utenti che fanno ricerche su Facebook.

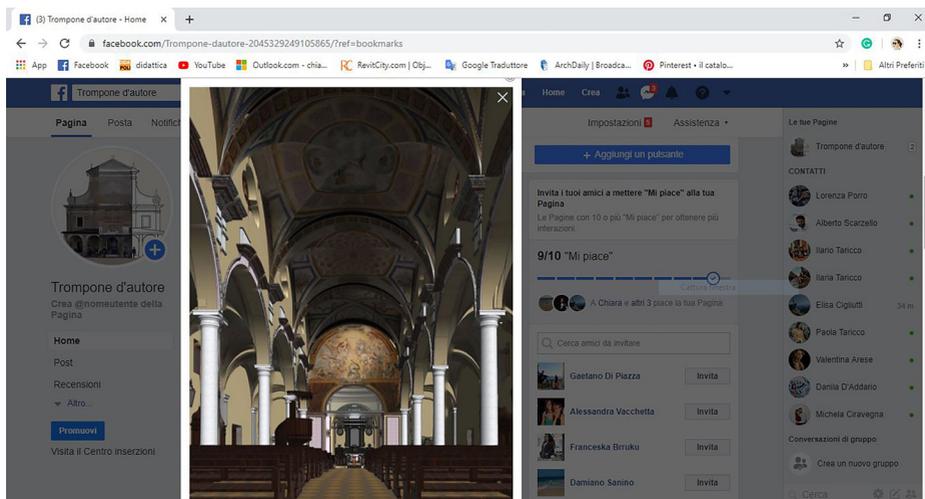


Fig 109 – Il post 3D su Facebook visto da desktop

4.8.3 INSTAGRAM

Nonostante, a seguito delle ricerche svolte, **Instagram** non risulti uno dei Social più utilizzati a livello italiano, si è deciso di esplorare le potenzialità di questo mezzo, data la sua **crescente popolarità**. Grazie a questo Social è possibile rimanere sempre aggiornati su ciò che accade alle persone che si segue e quindi, con lo stesso principio, è possibile fornire informazioni su di sé.

L'utilizzo dell'applicazione, creando un profilo dedicato al Santuario, è utile per condividere in modo social la cultura.

Questa piattaforma sfrutta prevalentemente e la forza delle immagini e in maniera mirata gli hashtag, che risultano un ottimo modo per catalogare e raccogliere immagini, video e raccolte.

Creandola pagina Trompone d'autore è stato possibile collegare il sito

web precedentemente prodotto ed esprimere le potenzialità della struttura attraverso le immagini.

Al momento risulta impossibile creare immagini come per quanto avviene con Facebook, infatti Instagram permette solamente di caricare foto e video.

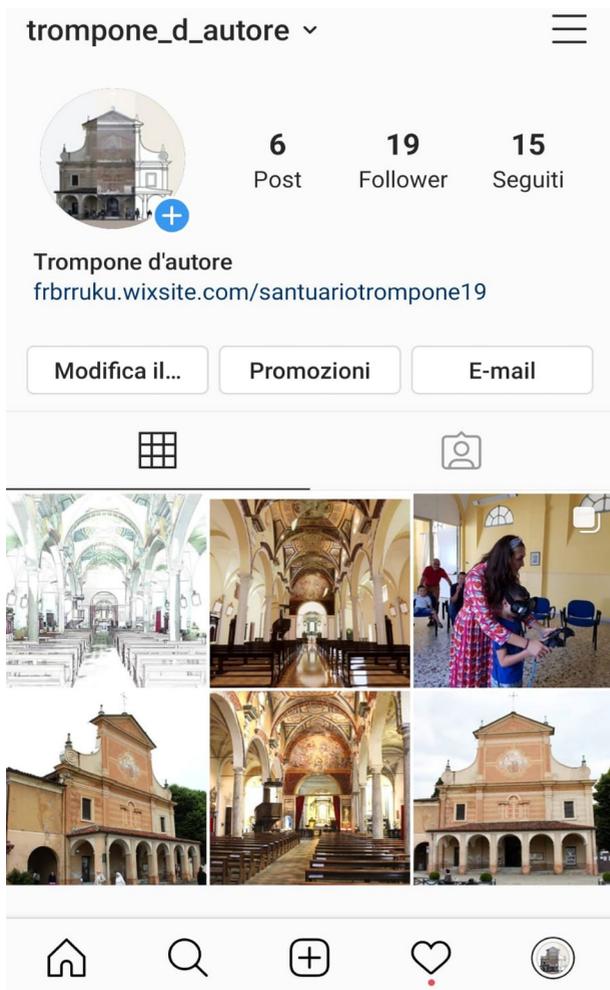


Fig 110 - La pagina Instagram

RISULTATI E SVILUPPI FUTURI

1.RISULTATI

2.SVILUPPI FUTURI

1 | **RISULTATI**

La metodologia utilizzata in questa tesi ha permesso di ottenere un risultato volto alla conservazione e alla divulgazione del patrimonio culturale.

Le prime fasi del rilievo hanno consentito l'acquisizione dati ad alto contenuto informativo utili alla documentazione dello stato di fatto permettendo la creazione di un modello BIM. Le informazioni acquisite sono state utilizzate per la catalogazione delle opere artistiche, oltre che per la creazioni di specifici elementi necessari nel modello attraverso un processo di digitalizzazione.

Sulla base della nuvola di punti e sulle ortofoto si è modellato il progetto HBIM del Santuario, costituito dai vari elementi compositivi riservando particolare attenzione alla creazione delle volte interne e alla mappatura del degrado in facciata. Sulla base del modello si sono ricavati diversi output, da un lato le Tavole Tecniche e la brochure a supporto dei progettisti coinvolti nel conseguimento fondi per i lavori di restauro della copertura e dell'organo. Dall'altro lato si è proseguito con l'esportazione del progetto dell'edificio religioso per ottenere visualizzazione VR, AR e BIM Social.

Queste applicazioni consentono di effettuare un tour virtuale del Santuario in qualunque momento, vedere le rappresentazioni in Realtà Aumentata servendosi di un dispositivo che supporta l'applicazione e infine di rimanere attivi, creando dibattito, grazie alla condivisioni sui Social. In alcuni di questi casi, il modello, è stato implementato con la funzione atta alla donazione.

Un primo riscontro si è ottenuto durante l'evento "Motori & Sapori" (15 settembre 2019), dove alcuni partecipanti alla manifestazione, insieme

ai paziente della struttura, hanno provato l'esperienza VR e AR applicata al Sanatorio.

Grazie a questo si è ottenuto un primo feedback, con un ridotto numero di utenti.



Fig 111 - Foto dell'evento Motori&Sapori, nell'immagine in alto la VR, in basso l'app AR. Fonte: Instagram, Yacasta Landazuri

2 | SVILUPPI FUTURI

Le possibilità offerte dalle tecnologie VR e AR, ancora poco applicate nel campo delle costruzioni, sono vaste e ancora da sperimentare.

Un interessante prospettiva sarebbe quello di poterle applicare a scala maggiore implementando le funzioni al medesimo caso studio o ad altri edifici, di interesse storico culturale, interessati a divulgare informazioni e applicare campagne di fundraising..

R I F E R I M E N T I

BIBLIOGRAFIA

A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Palermo, Italia: Flaccovio, 2012.

A. Schmidt, F. Zollo, M. Del Vicario, A. Bessi, A. Scala, G. Caldarelli, H. Stanley e W. Quattrococchi,

Anatomia del consumo di notizie su Facebook, PNAS, 2017.

CURT, *Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation*, 2004.

Santuario diocesano “Beata Vergine del Trompone”. Inquadramento storico, artistico e territoriale del Santuario.

Silenziosi Operai Della Croce, “La Beata Vergine potente del Trompone”, Istituto Salesiano Pio XI, Roma, 2016.

ARTICOLI

Photogrammetry, Prague, Czech Republic: *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B5, 2016.

B. Bagni, *Progettare HBIM: il caso della Pinacoteca di Cento*, BIM Portale, 2019.

B. Bagni, *Progettare HBIM: il caso della Pinacoteca di Cento*, BIM Portale, 2019.

B. Bagni, *Sperimentazione HBIM per la Chiesa degli Eremitari a Padova*, BIM-portale, 2019.

Beltramo, F. Diara, F. Rinaudo, *Evaluation of an integrative approach between HBIM and architecture history*, Milan, Italy: GEORES, 2019.

C. Stanga, H. Hasnikova, R. Brumana, A. Grimoldi, F. Banfi, *Geometric primitives assessing italian-czech vault construction techniques in baroque period*, Milan, Italy: GEORES, 2019.

C. Trebbi, E. Sattanino, V. Napoleone e F. De Marco, *Il BIM e la progettazione innovativa*, Ingenio, 2018.

D. Attico, A. Turrina, F. Banfi, A. Grimoldi, A. Landi, P. Condoleo e R. Brumana, *the HBIM analysis of the geometry to understand the constructive technique: The use of the trompe volume in a brick vault*, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W11, 2019.

D. Attico, A. Turrina, F. Banfi, A. Grimoldi, A. Landi, P. Condoleo, R. Brumana, *The HBIM analysis of the geometry to understand the constructive technique: the use of the trompe volume in a brick vault*, Milan, Italy: GEORES, 2019.

E. S. Malinverni, F. Mariano, F. Di Stefano, L. Petetta, F. Onori, Modelling in hbim to document materials decay by a thematic mapping to manage the cultural heritage: the case of “chiesa della pietà” in fermo, Milano, Italia: GEORES, 2019.

F. Banfi, R. Brumana, A. Aljishi, N. Al Sayeh, M. Santana Quintero, B. Cuca, D. Oreni, C. Midali, Generative modeling, Virtual Reality and HBIM interaction: immersive environment for built heritage: case study of Shaikh Isa Bin Ali House, Bahrain, Milan, Italy: GEORES, 2019.

F. Banfi, The integration of a SCAN-TO-HBIM process in BIM application: the development of an add-in to guide users in Autodesk Revit, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W11, 2019.

F. Banfi, The integration of a SCAN-TO-HBIM process in BIM application: the development of an add-in to guide users in Autodesk Revit, Milan, Italy: GEORES, 2019.

F. Brandolini e G. Patrucco, Structure-from-Motion (SFM) Photogrammetry as a Non-Invasive Methodology to Digitalize Historical Documents: A Highly Flexible and Low-Cost Approach?, MDPD, 2019.

F. Fritz, A. Susperregui and M.T. Linaza, Enhancing Cultural Tourism experiences with Augmented Reality Technologies, The Eurographics Association 2005.

G. Fangi, C. Nardinocchi, Photogrammetric Processing of Spherical Panoramas, The Photogrammetric Record, 2013.

G. Fangi, La fotogrammetria sferica Una nuova tecnica per il Rilievo dei vicini, Archeomatica, anno 1, n.2, 2010.

G. Nobile, Gestione del patrimonio storico architettonico: rilievo metrico 3D, modellazione BIM e analisi dei fenomeni di degrado, Politecnico di Torino, Corso di Laurea in Ingegneria Edile, 2018.

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

L. Barazzetti, G. Fangi, F. Remondino, M. Scaioni, Automation in Multi-Image Spherical Photogrammetry for 3D Architectural Reconstructions, A. Artusi, M. Joly-Parvex, G. Lucet, A. Ribes, and D. Pitzalis (Editors), 2010.

M. Banino, HBIM: dal rilievo al monitoraggio degli interventi di restauro. Il caso studio della stazione ferroviaria di Garessio in Val Tanaro, Politecnico di Torino, Scuola di specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio, 2017.

M. Cannella, Valutazioni sull'impiego della fotogrammetria sferica nella costruzione di modelli digitali 3D: l'oratorio della chiesa di Santa Caterina a Zejtun (Malta), DISEGNARECON, 2013.

M. Oliveri, Il rapporto tra geometria e informazione nel modello HBIM, Bim portale, 2018.

M. Olivieri, Dalla geometria all'HBIM: l'importanza del percorso di conoscenza del manufatto, BIMportale, 2018.

M. Olivieri, Il rapporto tra geometria e informazione nel modello HBIM, BIMportale, 2018.

M. Olivieri, La tradizione della complessità del costruito storico nel modello HBIM, BIMportale, 2018.

M. Olivieri, Rilievo e restauro: il passato in 3D, , BIMportale, 2018.

M. Stefani, I LOD nella UNI 11337:2017. Harpaceas, 2017.

Olivieri, Vantaggi e opportunità dell'approccio HBIM per il progetto di restauro delle Peschiere di Giulio Romano, BIMportal, 2018.

R. Brumana, D. Oreni, A. Raimondi, A. Georgopoulos e A. Bregianni, From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage, Marsiglia, Francia: IEEE, 2013.

Raffaella Brumana, Daniela Oreni, Anna Raimondi, From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage. The case study of St. Maria in Scaria d'Intelvi.

S. Beltramo, F. Diara e F. Rinaudo, Evaluation of an integrative approach between hbim and architecture history, Milano, Italia, 2019.

S. Brusaporci, P. Maiezza, A. Tata, A framework for architectural heritage HBIM semantization and development, Riva del Garda, Italy: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2, 2018.

TESI

F. Matrone, Rilevamento metrico 3D e modellazione HBIM per la manutenzione programmata del patrimonio architettonico. Il caso studio del Sacro Monte di Varallo, Tesi di Specializzazione, Politecnico di Torino, Corso di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio, 2017.

F. Viola, Camere sferiche per il rilievo speditivo indoor, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, 2017.

G. Nobile, Gestione del patrimonio storico architettonico: rilievo metrico 3D, modellazione BIM e analisi dei fenomeni di degrado, Politecnico di Torino, Tesi di Laurea Magistrale Facoltà di Ingegneria Edile, 2018.

G. Postorino, Applicazione BIM based per la gestione di un intervento di ripri-

stino e manutenzione straordinaria di un'infrastruttura esistente, Politecnico di Torino, Tesi di Laurea Magistrale Facoltà di Ingegneria Civile, A. A. 2017/2018, p. 1.

N. Rapetti, Energy Park. Un vettore di conoscenza per la trasformazione smart di un territorio, Tesi di Laurea, Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzioni e Città, Politecnico di Torino, 2014.

V. Bonfiglio, La metodologia bim e la Realtà Virtuale per la riqualificazione del castello "cupane" di acquedolci, Politecnico di Torino, Tesi di Laurea Magistrale Facoltà di Ingegneria Edile, 2018.

V. Uffredi, Metodologie innovative di rilievo e modellazione BIM applicati a beni culturali. Realizzazione di un database per la manutenzione programmata, Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, Politecnico di Torino, 2015.

SITOGRAFIA

<http://webcrew.it/differenze-social-media-social-network/>

<https://3dmetrica.it/>

<https://blog.hootsuite.com/facebook-3d-posts/>

<https://developers.facebook.com/blog/post/2018/02/20/3d-posts-facebook/>

<https://developers.facebook.com/docs/sharing/3d-posts>

<https://help.autodesk.com/view/RVT/2019/ENU/>

<https://hootsuite.com/pages/digital-in-2019>

https://it.wikipedia.org/wiki/Facebook#cite_note-2

<https://marketinginvolvement.wordpress.com/2013/12/21/2-2-realta-virtuale-immersiva-e-non-immersiva/>

<https://towardsdatascience.com/how-augmented-reality-ar-is-changing-the-travel-tourism-industry-239931f3120c>

<https://www.digitalic.it/internet/social-network/statistiche-social-network-2019-italia>

<https://www.fingent.com/blog/how-is-augmented-reality-reshaping-travel-and-tourism>

<https://www.ingenio-web.it/18926-i-loi-nelle-scale-di-lod-usa-uk-ita>

<https://www.oculus.com/blog/introducing-new-features-for-3d-photos-on-facebook/?fbclid=IwAR0j1c2k-vJcTu5TpUb13xITdYHg8khhQbmgjciBTkZAU-Wef9Zv9BpSRK1s>

<https://www.omnivirt.com/blog/create-3d-photos-facebook/>

<https://www.omnivirt.com/blog/depth-map/>

<https://www.pdfcor.com/news/258/differenza-tra-social-media-e-social-network/>

<https://www.slideshare.net/umbriadigitale/intervento-giuliano-marchetti?>

next_slideshow=1

<https://www.smartinsights.com/social-media-marketing/social-media-strategy/new-global-social-media-research/>

<https://www.theguardian.com/sustainable-business/construction-sector-social-media>

https://www.youtube.com/watch?v=OaE_WjB2urM&t=28s

https://www.youtube.com/watch?v=MtiUx_szKbl&t=1142s

<https://www.youtube.com/watch?v=W9x158LVglk&t=136s>

NORMATIVE E MANUALI

Agisoft PhotoScan Manuale d'uso Versione Professional, Versione 1.2, 2016
G202-2013, Level of Development Specification, For Building Information Models, 22 August 2013.

Norma UNI 11182, aprile 2006, Materiali lapidei naturali e artificiali. Descrizione della forma di alterazione. Termini e definizioni.

Raccomandazioni NorMaL - 1/88, Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico, Roma, Italia: CNR-ICR, 1990.

UNI 11337:2017-4 Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati ed oggetti.

ALLEGATI

Allegato A - Schede LOD di progetto

Allegato B - Questionario

Allegato C - Tavole

Allegato D - Brochure

Allegato E - Script

*Giunta alla fine di questo percorso ringrazio
caramente la professoressa Anna Osello per
avermi offerto questa bellissima esperien-
za. Matteo Del Giudice che ci ha accompa-
gnate durante tutto il percorso della tesi,
arricchendo il mio bagaglio culturale, e il
professor Ruggiero Lovreglio per il suo aiuto
legato alle nuove tecnologie. Infine ringrazio
Giosuè Bronzino per il suo supporto nelle
fasi del rilievo conoscitivo della struttura.
Ringrazio la mia famiglia e il mio fidanzato,
che in questi anni di università, mi hanno so-
stenuta aiutandomi a coronare il mio sogno.*

