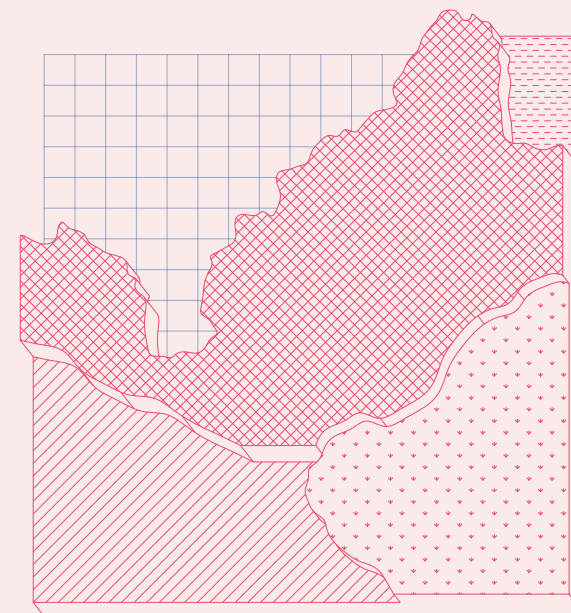




CUSNIRIUC V. MARTILLO J. BONAVALLE. Rilievo metrico 3D, HBIM e VPL per la salvaguardia del patrimonio architettonico

VICTOR THEODOR CUSNIRIUC
JORGE MARTILLO FLORES



BONAVALLE

*Rilievo metrico 3D, HBIM e VPL per la
salvaguardia del patrimonio architettonico*

Victor Theodor Cusniriuc
Jorge Martillo Flores

BONAVALLE

*Rilievo metrico 3D, HBIM e VPL per la
salvaguardia del patrimonio architettonico*

*Ai nostri genitori,
ai cari e agli amici*

Tesi di Laurea Magistrale
Architettura Costruzione Città
Politecnico di Torino
a.a. 2018-19

relatore
prof. Massimiliano Lo Turco

correlatori
prof. Monica Naretto
prof. Filiberto Chiabrando

in collaborazione con
Laboratorio di Rilievo dell'Architettura e del Territorio
prof. Spanò Antonia Teresa
ing. Paolo Petrucci



01

Inquadramento generale

Inquadramento territoriale	1.1	014
<i>Murello</i>	1.1.1	
Luoghi d'interesse culturale limitrofi	1.2	016
<i>Santuario Madonna degli Orti</i>	1.2.1	
<i>Casa Calandra</i>	1.2.2	
<i>Castello dei Templari</i>	1.2.3	
<i>Confraternita di San Giuseppe</i>	1.2.4	
<i>Rocca di Carpenetta</i>	1.2.5	
<i>Castello di Racconigi</i>	1.2.6	
Etimologia "Bona Valles"	1.3	019
Il Castello di Bonavalle	1.4	020
<i>Una fonte iconografica: la veduta del Gonin</i>	1.4.1	
<i>Analisi della veduta</i>	1.4.2	

02

Analisi del costruito

Composizione generale	2.1	027
<i>Elementi costruttivi</i>	2.1.1	
Analisi dei degradi e dissesti	2.2	036
Conclusioni	2.5	055

03

Rilievo metrico

Le finalità del rilievo	3.1	059
Rilievo Topografico	3.2	061
<i>Elaborazione degli eidotipi</i>	3.2.1	
<i>Reti di inquadramento</i>	3.2.2	
<i>Rilievo celerimetrico</i>	3.2.3	
<i>La stazione totale</i>	3.2.4	
<i>GNSS/GPS</i>	3.2.5	
Rilievo Fotogrammetrico	3.3	068
<i>Fotogrammetria terrestre</i>	3.3.1	
<i>Fotogrammetria aerea</i>	3.3.2	
<i>Stereoscopia</i>	3.3.3	
<i>Fasi del rilievo</i>	3.3.4	
Rilievo LiDAR	3.4	074
Acquisizione dati	3.5	076
<i>Rete d'inquadramento</i>	3.5.1	
<i>Rete di dettaglio</i>	3.5.2	
<i>Scansioni laser</i>	3.5.3	
<i>Rilievi terrestri ed aerei</i>	3.5.4	

Elaborazione dati	3.6	086
<i>Elaborazioni dati LiDAR</i>	3.6.1	
<i>Elaborazioni dati fotogrammetrici</i>	3.6.2	
Conclusioni	3.7	095

04

BIM

Building Information Modeling	4.1	099
<i>BIM in poche parole</i>	4.1.2	
<i>CAD e BIM a confronto</i>	4.1.3	
<i>Interoperabilità</i>	4.1.4	
<i>LoD</i>	4.1.5	
<i>BIM in Italia</i>	4.1.6	
<i>BIM per le opere pubbliche</i>	4.1.7	
Heritage Building Information Modeling	4.2	106
<i>Le Pescherie di Levante (MN)</i>	4.2.1	
<i>La Pinacoteca civica "Il Guercino" di Cento (FE)</i>	4.2.2	
Modello 3D su piattaforma BIM	4.3	110
<i>Muri perimetrali</i>	4.3.1	
<i>Torri sud e torrini nord</i>	4.3.2	
Completamento dei modelli	4.4	121
<i>Famiglie</i>	4.4.1	
<i>Finestre</i>	4.4.2	
<i>Portali</i>	4.4.3	
<i>Camini</i>	4.4.4	
<i>Cornicioni</i>	4.4.5	
Verifica accuratezza dei modelli	4.7	126
<i>Seconda verifica</i>	4.7.1	
Affinamento modello scelto per analisi finali	4.8	138
<i>Workset</i>	4.8.1	
<i>Modello definitivo</i>	4.8.2	
Conclusioni	4.9	145

05

VPL per l'analisi dei degradi

Visual Programming Language	5.1	149
<i>Algoritmi</i>	5.1.1	
Studio di un sistema di mappatura dei degradi	5.2	151
<i>M1 - Tradizionale</i>	5.2.1	
<i>M2 - Componenti adattivi</i>	5.2.2	
<i>M3 - Grasshopper: generazione di superfici</i>	5.2.3	
<i>M4 - Dynamo: proiezioni di superfici</i>	5.2.4	
Conclusioni	5.3	185
Ringraziamenti		187
Bibliografia		189
Sitografia		191

PREMESSA

Questo lavoro di tesi è nato principalmente da una forte voglia di scoprire e perfezionare tutti gli aspetti che riguardano il mondo del BIM, metodologia che ha rivoluzionato il modo di progettare e continua ancora a farlo.

A questo si aggiunge un senso di consapevolezza sulla necessità di salvaguardare l'immenso patrimonio architettonico italiano. Numerosi sono i manufatti italiani abbandonati ad un destino incerto, ed il rischio di perderli è costante.

Il progetto è nato dopo una serie d'incontri con l'ingegnere Paolo Petrucci. Egli è proprietario del Castello di Bonavalle (Murello, CN), un'antica residenza signorile trasformata da una precedente fortezza medievale. Attualmente è in stato di rudere e necessita assolutamente di essere restaurato.

Per fare ciò sono necessari una serie di elaborati che definiscono precisamente l'esistente, come piante, prospetti, sezioni e analisi dello stato di conservazione.

Per produrli ci si è avvalsi di vari metodi di rilievo, tradizionali e non, indispensabili per

ottenere un modello preciso in piattaforma BIM.

Quindi l'obiettivo principale è sempre stato quello di arrivare ad un prodotto completo e preciso che rappresenti lo stato attuale del manufatto, e che possa essere utilizzato da altri utenti futuri che si prenderanno il compito di restaurarlo.

Questo può inoltre essere una interessante occasione per sperimentare la metodologia VPL (*Visual Programming Language*) e ricercare un sistema di mappatura che, affiancato ai metodi tradizionali, possa rendere più veloce il processo.

INTRODUZIONE

Le sorti del Castello di Bonavalle, abbandonato per anni in balia del tempo e degli agenti atmosferici, potrebbero finalmente cambiare. Con l'attuale proprietario non mancano buoni propositi affinché venga restaurato e rifunzionalizzato, un processo che, attualmente, potrebbe richiedere molto tempo non possedendo aiuti esterni.

Immerso tra le fertili campagne cuneesi, il Castello è un'importante polo architettonico monumentale dell'area. Di origini antichissime, dapprima fortezza medievale, poi residenza signorile, ha subito numerose trasformazioni dovute al cambio di funzioni e di proprietari. Modifiche spesso apportate senza un programma coerente e che, quindi, per quanto siano importanti come testimonianza del passato, mettono attualmente a repentaglio la stabilità dell'edificio. Oggi il manufatto è in fase di pulizia da detriti e messa in sicurezza, ma per i futuri lavori è necessaria la stesura di un'accurata analisi e di una rappresentazione dell'esistente, motivo per cui è nata questa collaborazione. In questo lavoro di tesi, infatti, viene riassunto tutto il percorso che va dai rilievi sul campo alla resti-

The fate of Bonavalle's Castle, for years abandoned to the mercy of time and atmospheric agents, could finally change. With the current owner there is no lack of good intentions for it to be restored and re-functionalized, a process that could take a long time without having external help.

Nestled among the fertile Cuneo's countryside, the Castle is an important historical source of the area. Of ancient origins, at first a medieval fortress, then a noble residence, has undergone radical transformation due to changes of functions and owners. Changes often made without a thorough study and which, as important as they are as a testimony of the past, currently jeopardize the stability of the structure. Today the building is being cleaned of debris and secured, but for the future work it is necessary to draw up a thorough analysis and a representation of the existing, which is why this collaboration was born. In fact, this thesis summarizes the entire journey from field surveys to graphic restitution.

tuzione grafica.

Dopo aver sintetizzato la storia del Castello, del relativo contesto ed in seguito ad una serie di sopralluoghi ed incontri con il proprietario, si è eseguito uno scrupoloso rilievo con metodi topografici, LiDAR e fotogrammetrici. Rielaborati i dati in laboratorio, sono state estratte due nuvole di punti, rispettivamente LiDAR e fotogrammetrica, indispensabili per la fase successiva.

Si è quindi passati alla modellazione, optando per la metodologia BIM, ormai sempre più attuale nonché in fase di consolidamento in ambito progettuale. La trasposizione delle nuvole sulla piattaforma ha dato vita a due modelli, utili per un confronto delle varie metodologie di rilievo. Definiti tali elaborati attraverso un'analisi di accuratezza, è stato realizzato un modello unico accorpando i rispettivi pregi dei precedenti.

Possedendo questa base e gli ortofoto dei prospetti, si è passati, quindi, ad una precisa osservazione dello stato di conservazione attraverso la mappatura dei degradi e dissesti, svolta in primis con metodo tradizionale su piattaforma CAD. A tal proposito, si è anche cercato di studiare una serie di sistemi di mappatura dei degradi con metodo VPL (*Visual Programming Language*) che, affiancati a quelli tradizionali, potrebbero rendere molto più veloce, se non automatizzata, questa procedura.

Il risultato finale è quindi un modello accurato del Castello in ogni suo aspetto, condivisibile dai vari utenti che entreranno in gioco nella fase di restauro, nonché uno spunto rivolto ad una nuova metodologia di analisi dell'esistente.

Understood the history of the Castle, its context and following a series of inspections and meetings with the owner, a scrupulous survey was carried out with topographic, LiDAR and photogrammetric methods. Once the data were processed in the laboratory, two point clouds, LiDAR and photogrammetric, were extracted, indispensable for the next phase.

So, we moved on to modeling, opting for the BIM methodology, now increasingly topical as well as being consolidated in the design field. The transposition of the clouds on the platform gave birth to two models, useful for a comparison of the various survey's methodologies. Once these documents have been defined through an accuracy analysis, a single model was created by combining the respective merits of the previous ones.

With this basis and the orthophotos of the elevations, we passed to a precise observation of the state of conservation through the mapping of degradations and instability, carried out primarily with the traditional method on CAD platform. We have then tried to study a series of mapping systems of these degradations with the VPL (*Visual Programming Language*) method which, together with traditional ones, could make this procedure much faster, if not automated.

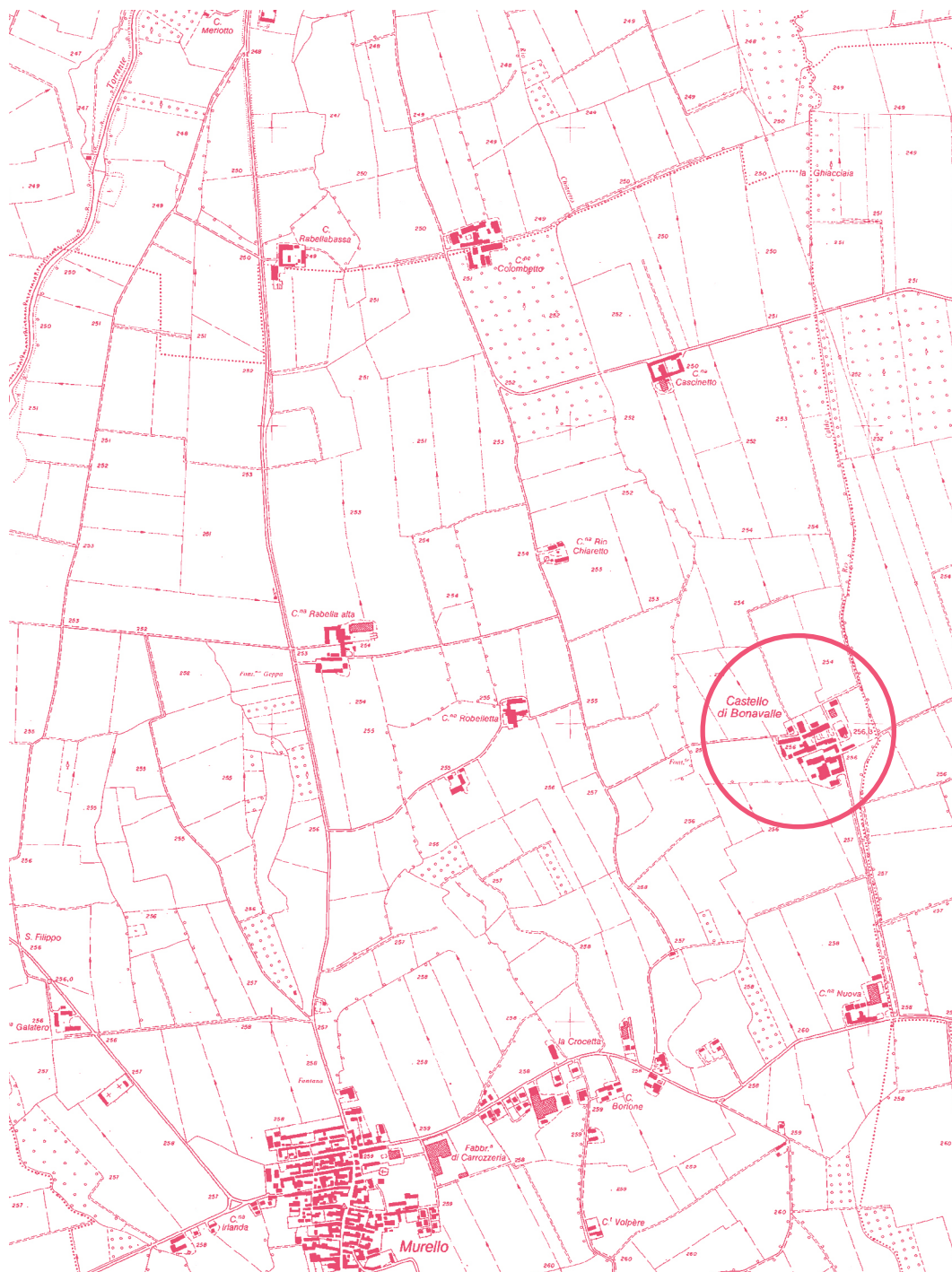
The final result is therefore an accurate model of the Castle in all its aspects, which can be shared by the various users who will come during the restoration phase, as well as a starting point for a new analysis methodology of the existing one.

1.

INQUADRAMENTO GENERALE

1.





← 1. Mappa del contesto (fuori scala)
(fonte: geoportale.piemonte.it)

.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il Castello di Bonavalle è sito nella località omonima, territorio del comune di Murello (CN). Il contesto è prettamente agricolo, caratterizzato da aperta campagna e determinato da un nucleo di cascine, di cui il castello è polo monumentale.

Ci troviamo nella parte settentrionale della pianura cuneese, un territorio vasto delimitato a sud-est dalla valle della Stura di Demonte e a nord dalla ricca campagna del triangolo Saluzzo-Fossano-Carmagnola. Geograficamente parlando non presenta rilievi e si trova ad un'altezza che varia tra i 180 ed i 400 metri s.l.m..¹

L'area è caratterizzata da un importante sistema viario che connette le vallate alpine di Cuneo alla pianura padana torinese e genera dei nuclei di insediamenti urbani ed extraurbani nuovi o di antica costituzione. Mentre nell'ultimo Medioevo si consolida un habi-

tat per lo più centrato sulla relazione castello-villaggio, nei secoli successivi, in particolar modo dal XV, il territorio subisce un processo di dispersione e privatizzazione delle caseforti. Questo preoccupa alcuni detentori e governatori terrieri che si trovarono in difficoltà a difendere i centri con funzioni urbane.²

*Nel Cuneese [...] la diffusione dell'habitat sparso appare strettamente correlata alla privatizzazione di vasti beni comuni, che rafforza notevolmente un processo, ormai secolare, di appoderamento, e alla valorizzazione di terreni incolti mediante irrigazione e disboscamento.*³

La moltiplicazione di aziende agricole fortificate dà successivamente vita ad un periodo di rinnovamento delle strutture nel territorio, in tutto il Piemonte. La nobiltà dell'epoca gestisce il tutto, investendo i propri capitali nella terra.⁴

¹ LUSO E., *Pianura Cuneese*, in AA.VV. (a cura di), *Atlante castellano. Strutture fortificate della provincia di Cuneo*, Celid, Torino, 2010, p. 122.

² *ibid*

³ COMOLI V. M., *Piemonte*, Laterza, Roma, 1988, p. 19.

⁴ *ivi*, p. 20.

.1 MURELLO

Murello dista circa 6 km da Racconigi e copre una superficie di 17.20 km².

La vicinanza dei torrenti Varaita e Maira (due affluenti del Po) e la falda acquifera a poca profondità, rendono il terreno molto fertile. L'agricoltura ha sempre avuto un ruolo cardine nello sviluppo del territorio, come testimoniano le molteplici cascine e il Castello stesso, considerato un'eredità di un'antica tenuta agricola (lo stesso nome latino *Bona Valis* rimanda alla prospera valle alluvionale in cui si trova).⁵

Le prime informazioni che abbiamo sui centri abitati di questa zona risalgono ad un atto del 1055, in cui la loro proprietà venne concessa all'Abbazia di Cavour.⁶ Intorno alla seconda metà del XII secolo, Murello viene preso sotto controllo dai Templari,

i quali acquisiscono proprietà terriere e fanno costruire un castello e alcune case coloniche. Con la soppressione dell'Ordine templare, tutti gli immobili passano ai Cavalieri di Malta.⁷

Inizialmente l'assetto insediativo era molto concentrato, ma con la prima epoca moderna cominciano a proliferare piccoli nuclei abitativi, in particolar modo in corrispondenza delle caseforti. Sono da segnalare quindi altri tre insediamenti minori non molto distanti dal nucleo principale di Murello: uno intorno al Castello di Bonavalle, altri alla Cascina Rivarola ed a Tetti Sperelli (il più compatto dei tre).⁸

Il feudo di Bonavalle è stato rivendicato nel XIX secolo, dal Comune di Racconigi, per ragioni storiche, ma non ci sono prove concrete di un'effettiva annessione.⁹



^ 2. Focus sul rapporto tra Murello e Bonavalle (fuori scala)
(fonte: geoportale.piemonte.it)

⁵ *Murello*, archiviocasalis.it

⁶ *Storia di Bonavalle*, castellodibonavalle.com

^{7 8 9} *ibid*

.2 LUOGHI D'INTERESSE CULTURALE LIMITROFI

Di seguito verranno analizzati brevemente alcuni luoghi d'interesse nell'immediato contesto territoriale. In alcuni di essi troviamo molte similitudini con il castello.

.1 SANTUARIO MADONNA DEGLI ORTI (Murello)

Inizialmente era una cappella costruita attorno un pilone votivo dedicato alla Madonna degli Orti (fatto erigere nel 1535). Subì ampliamenti nel 1630, in occasione dell'epidemia di peste che devastò l'Europa.⁹

.2 CASA CALANDRA (Murello)

Residenza estiva della famiglia Calandra. Da menzionare: Claudio Calandra, sindaco di Murello nel 1864, Edoardo Calandra, uno dei maggiori scrittori piemontesi (XIX-XX secolo), Davide Calandra, fu grande ed apprezzato scultore, con opere diffuse non solo in Italia, ma anche all'estero.¹⁰

⁹ Santuario della Madonna degli Orti, visitterredeisavoia.it

¹⁰ Casa Calandra, comune.murello.cn.it

¹¹ Castello dei Templari, comune.murello.cn.it

¹² Confraternita di San Giuseppe, comune.murello.cn.it

.3 CASTELLO DEI TEMPLARI (Murello)

Originario del XIII secolo ed edificato in fasi successive, attualmente è adibito ad abitazione del Parroco di Murello. Presenta un'attitudine difensiva definita da tracce di un antico fossato, ponte levatoio e feritoie ancora presenti all'ultimo piano.¹¹ [fig. 4]

.4 CONFRATERNITA DI SAN GIUSEPPE (Murello)

Conosciuta come "Crusà", dalla fine del XVI secolo, anima la vita spirituale del paese. La facciata ospita le sculture di Davide Calandra raffiguranti S. Giuseppe e la Madonna.¹²

.5 ROCCA DI CARPENETTA (Casalgrasso)

Funzione originaria di difesa (XI secolo), appartenne inizialmente all'Abbazia di Staffarda. Dal Cinquecento, divenne un feudo consortile. È attualmente circondata da cascine ed

inserita nei percorsi ciclabili del Parco del Po Torinese.

Come per Bonavalle (vedremo in seguito), Casalgrasso potrebbe derivare dai termini Casale (per i casali attorno) e Grasso (terreno fertile).¹³ [fig. 3]

.6 CASTELLO DI RACCONIGI (Racconigi)

Nasce nel XI secolo come casaforte e passa nelle mani dei marchesi di Saluzzo e, successivamente, ai Savoia. La struttura fu trasformata nel corso del XVII secolo e restaurata da Guarino Guarini come residenza dei Savoia-Carignano. A continuare l'impresa fu l'ar-

chitetto Gianbattista Borra: suoi i padiglioni del prospetto principale, il pronao di accesso, alcune sale e gabinetti. Il giardino fu progettato nel 1670 da André Le Nôtre.

Sotto il regno di Carlo Alberto di Carignano, il Castello subisce ulteriori perfezionamenti: gli spazi verdi vennero ridisegnati dal giardiniere tedesco Xavier Kurten (1820), gli interni da Pelagio Palagi.

Una volta spodestata Torino come capitale, anche il Castello venne abbandonato dai Reali. Nel XX secolo, re Vittorio Emanuele III la elesse di nuovo a sede di villeggiatura. Nel 1980 venne acquistato dallo Stato italiano.¹⁴ [fig. 3]



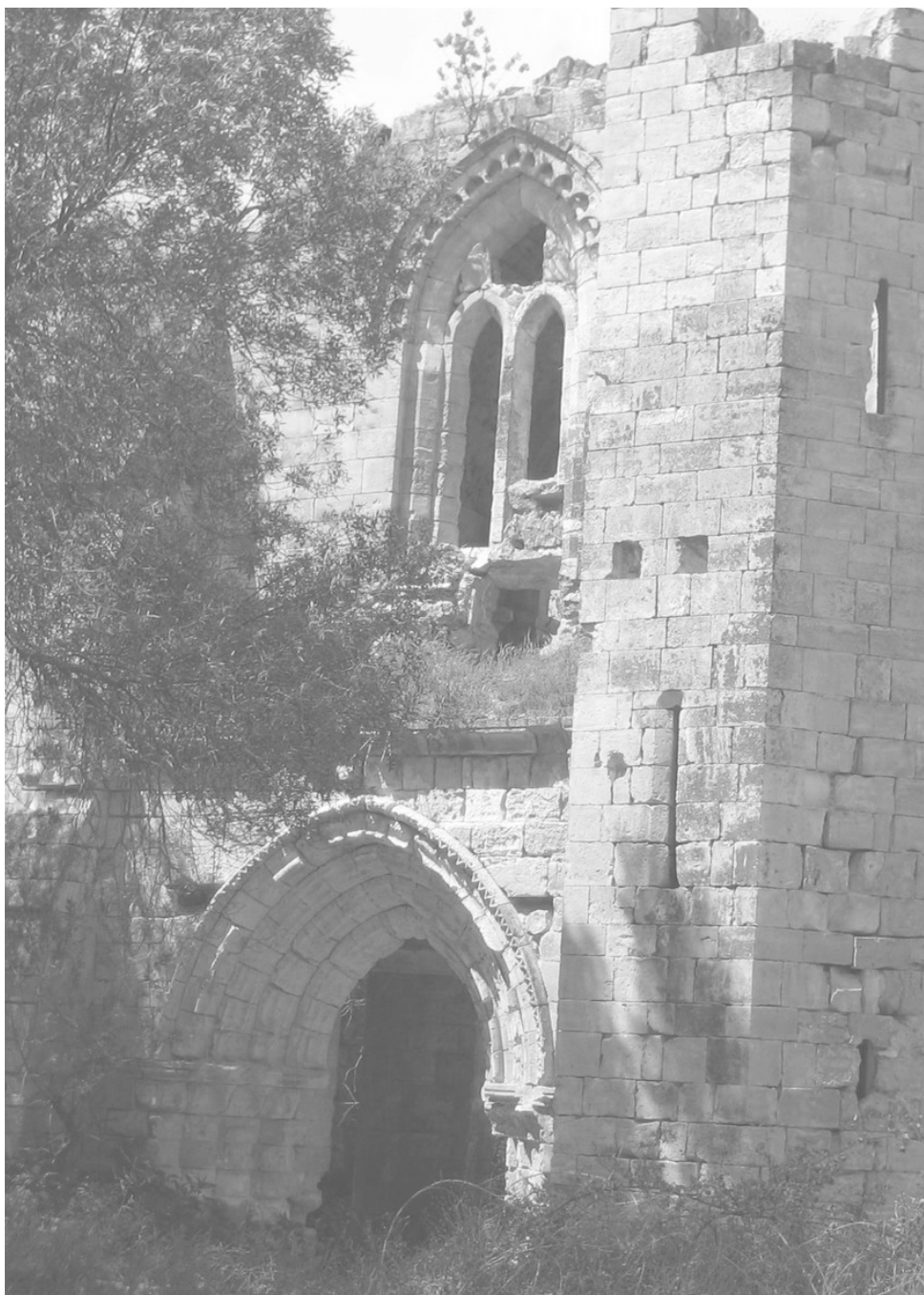
▲ 3. Rocca di Carpenetta
(fonte: visitterredeisavoia.it)



▲ 4. Castello dei Templari (alto) Castello di Racconigi (basso). (fonti: visitterredeisavoia.it, piemonte.abbonamentomusei.it)

¹³ Rocca di Carpenetta, visitterredeisavoia.it

¹⁴ NOEMI GABRIELLI, *Racconigi*, Istituto Bancario San Paolo di Torino, Torino, 1972.



↑ 5. Monastero Bonaval, Retiendas
(fonte: en.wikipedia.org)

.3 ETIMOLOGIA “BONA VALLES”

Bonavalle è una denominazione assegnata principalmente dal contesto topografico. Il nome, infatti, potrebbe derivare dai termini latini *Bona* (prospera) e *Valles* (valle) che indicherebbero una valle prospera per l'agricoltura. Come già anticipato, la pianura compresa tra Murello e Racconigi è prettamente alluvionale, e questo dà ulteriore conferma sull'origine del nome.¹⁵

Oltre ad essere il nome del Castello è anche la denominazione storica del feudo in cui si trova. Essendo un nome abbastanza semplice e comune, esistono alcuni manufatti omonimi in giro per l'Italia e l'Europa (principalmente in Spagna e sono tutti originari dell'epoca medioevale).

Per citarne qualcuno:

- *Monastero Bonaval*, Retiendas (Guadalajara, Spagna) [fig. 5]
- *Convento di Santo Domingo di Bonaval*, Santiago de Compostela (Galizia, Spagna)
- *Monastero di Santa Maria di Valbuena*, Valladolid (Castiglia e León, Spagna)

Si trattano di gruppi religiosi che han scelto di stabilirsi in luoghi distanti dalle città ed a contatto con la natura, in zone fertili e coltivabili. In alcuni casi può trattarsi solamente di punti di ristoro per pellegrini diretti verso mete importanti (per esempio la Terra Santa o la Strada del Sale).¹⁶

Il termine Bonavalle può anche essere un'estrazione del nome di San Bernardo di Chiaravalle, fondatore della regola templare. Il monastero di Retiendas, per esempio, è stato edificato da monaci cistercensi sotto donazione del re Alfonso VII di Castiglia (devoto a San Bernardo).

Esistono anche fonti accertate sulla passata presenza templare a Murello.

Quest'ultima si potrebbe considerare una coincidenza: i Templari sono noti per la quantità di ricchezze e possedimenti, alcuni di questi concessi in dono.¹⁷

¹⁵ *Storia di Bonavalle*, castellodibonavalle.com

¹⁶ *ibid*

¹⁷ COMOLI V. M., *Piemonte, Laterza*, Roma, 1988, p. 56.

IL CASTELLO DI BONAVALLE

Il Castello di Bonavalle è un insediamento con un'originaria funzione difensiva, dotato di torri sul fronte sud principale e di un fossato perimetrale che ormai non è più riconoscibile. Il compito originario dell'architettura era infatti quello di difendere le persone che ci abitavano e di salvaguardare i prodotti della terra che venivano coltivati nei feudi di pertinenza al Castello.

In seguito alla perdita della funzione di fortificazione, il Castello fu utilizzato come residenza "signorile" extra-urbana. I primi documenti che attestano Bonavalle come luogo abitato risalgono al XIV secolo. Si può parlare, perciò, di una residenza composta da più "consignori" che si dividevano e gestivano autonomamente l'immobile.¹

Fu proprio in questo periodo che il fabbricato venne altamente trasformato ed adeguato alla sua nuova funzione. Finestre perimetrali furono tamponate e canne fumarie vennero

introdotte per creare nuovi spazi abitabili.

Molti furono i signori che nel corso degli anni furono proprietari del Castello e del feudo annesso. I primi che ne ebbero il possesso furono i Balbo di Chieri (2/3 del Castello) e i Simeoni di Cavoretto (1/3 del Castello) attorno a metà del Quattrocento. Tra i detentori più noti possiamo inoltre ricordare la famiglia dei Marchesi Turinetti di Priero che ne ebbe il possesso dal 1641 fino al 1930. Nel 1791 i Turinetti diventano proprietari unici del Castello e dei territori annessi.²

Attorno al 1849, Demetrio Turinetti si preoccupò di apportare miglioramenti e ristrutturazioni al Castello, e lo rese nuovamente operativo in quanto azienda agricola. Quest'ultimo, a differenza dei suoi predecessori, fissò in maniera stabile la propria residenza a Bonavalle e cercò di far diventare il complesso una delle aziende agricole di riferimento per tutto il territorio circostante.³

¹ COMOLI V. M., *Piemonte*, Laterza, Roma, 1988

² CRAVERO P., *Il castello di Bonavalle: problemi di restauro e conservazione*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. VINARDI M. G., Politecnico di Torino, 2010.

³ *Storia di Bonavalle*, castellodibonavalle.com

La notevole presenza di diversi signori, che si dividevano la gestione del Castello e dei successivi cambi d'uso (prima fortezza, subito dopo Consignoria ed infine azienda agricola) condusse a un numeroso susseguirsi di interventi che nel tempo si sono rilevati compatibili.

Altri, invece, più drastici ed invasivi (canne fumarie), nel corso degli anni hanno causato la formazione di fessure e vari dissesti che, non essendo stati monitorati, sono diventati diffusi e che oggi comportano gravi conseguenze dal punto di vista strutturale.

I problemi che riscontriamo oggi, però, non sono esclusivamente dovuti al ripetuto cambio di proprietà, bensì anche al successivo abbandono della Signoria, avvenuto dopo la

morte dell'ultimo proprietario Giuseppe Augusto Levis ad inizio '900, il quale, prima della sua morte, lasciò un terzo della sua proprietà al Comune di Chiomonte, e i restanti due terzi al Comune di Racconigi.

La scarsa cura da parte del Comune fa sì che l'edificato si trovi in stato di rudere, e tale situazione potrebbe persino aggravarsi portando al crollo dell'intero bene oggetto di studio. Attorno agli anni 2000, il Comune di Racconigi ha aperto un'asta pubblica per assegnare la gestione del rudere a privati. In questo contratto, il privato che acquisisce il Castello si impegna ad eseguire interventi di restauro e risanamento conservativo per la salvaguardia del castello.



▲ 6. Veduta aerea del castello

(fonte: elaborazione da drone Phantom 4 Pro, sopralluogo 17/04/2019)

1 UNA FONTE ICONOGRAFICA: LA VEDUTA DEL GONIN

Enrico, fratello di Francesco Gonin, ricordato per aver dipinto i volti dei famosi interpreti dei Promessi Sposi di Alessandro Manzoni, nacque a Torino il 1° gennaio 1799.

Fu pittore e litografo, sensibile alla cultura del paesaggio romantico e pittoresco. Tra le sue opere più importanti si ricordano: l'*Album Turin et ses environs. Vues dessinées d'après nature par Chapuy et lithographiées par H. Gonin* del 1842 e l'*Album delle principali castella feudali della monarchia dei Savoia*, considerata la sua opera monumentale, pubblicata tra 1840 e il 1860.¹

Nell'opera *Album delle castella feudali della Monarchia di Savoia*, il Castello di Bonavalle viene raffigurato alla data del 1854. Questa veduta ci permette di analizzare com'era l'immobile a quell'epoca e quali parti sono state successivamente modificate.

2 ANALISI DELLA VEDUTA

Le colonne neogotiche a fregio dell'ingresso del giardino sud sono già presenti ed identiche all'attuale², e risultano conservate ancora oggi.

La facciata principale presenta ancora le due finestre centrali (terzo e quarto piano fuori terra) che ora sono tamponate, ed in particolare quella del quarto livello è ora coperta dalla grande decorazione dell'orologio, che evidentemente è stata realizzata in epoca successiva; nell'incisione si vede infatti il quadrante dell'orologio, identico all'attuale, ma del tutto privo della decorazione; la meridiana è presente ed identica³

Nella fonte iconografica non si riscontra "Nessuna traccia del fossato, l'accesso al portale è interrotto con la pendenza necessaria per raggiungere il livello del cortile interno"⁴

Le persiane curiosamente non appaiono a tutte le finestre; gli infissi delle finestre appaiono identici agli attuali⁵

L'aspetto della torre sudest è identico all'attuale; spicca l'identica fascia intonacata a fregio della finestra del penultimo piano; la torre sud ovest invece è visibilmente mattoni faccia a vista⁶

Le torrette nord sono identiche all'attuale, se si eccettua l'assenza della fascia marca piano a fregio della parte sopraelevata; si nota un manufatto metallico sulla sommità⁷, esse presentano la stessa consistenza di oggi.

La facciata ovest è in ombra, si notano lacune e rappezzi nell'intonaco; il secondo piano ft. presenta le quattro finestre nella medesima attuale distribuzione; altrettanto non si può dire per il piano superiore. Quello che colpisce l'attenzione è la presenza di una fila di piccole aperture a sesto acuto all'ultimo piano, di cui ora non esiste traccia.⁸



↑ 7. Raffigurazione del Castello ad opera del Gonin
(fonte: Gonin E., *Album delle castella feudali della monarchia dei Savoia*. Castello di Bonavalle, 1854, tav 15)

¹ Francesco Gonin, treccani.it

² Storia di Bonavalle, castellodibonavalle.com

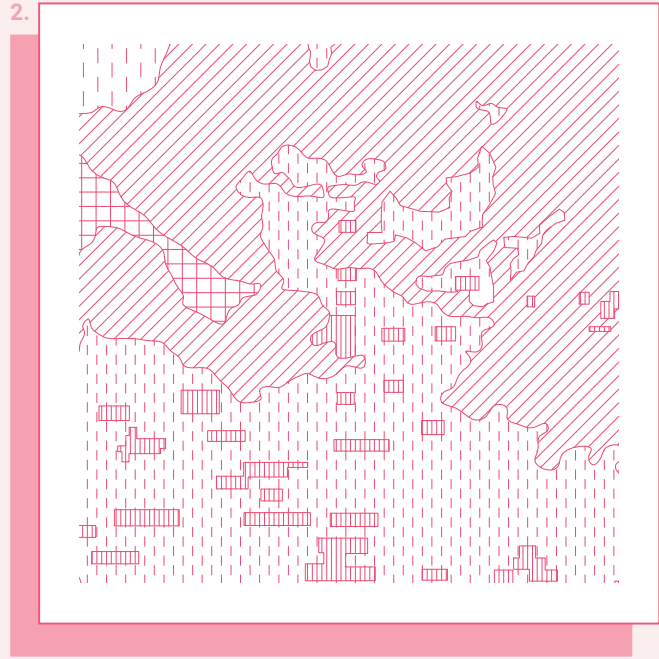
^{3,4,5} *ibid*

^{6,7,8} *ibid*

2.

ANALISI DEL COSTRUITO

2.



.1 COMPOSIZIONE GENERALE

Il rudere è costituito da un corpo a pianta quadrata, con due torri angolari a sud e due torrette sopra elevate sormontate da cupolotti a nord.

L'attuale proprietario possiede anche l'area antistante al prospetto sud, delimitata da un fabbricato rettangolare anch'esso in stato di rudere.

Gli spazi davanti ai prospetti nord ed est sono stati alterati da quando i terreni, appartenenti al feudo originario, sono stati venduti a privati. Questi hanno utilizzato l'area adiacente all'edificio per usi propri (deposito fieno e piccola strada di circolazione); nel prospetto ovest la proprietà è delimitata da un muretto di cinta nel quale è presente il cancello d'ingresso già raffigurato dal Gonin.¹

I fronti nord, est ed ovest si elevavano fino a tre piani fuori terra; quello sud presenta un'ulteriore sopra elevazione di due piani nella parte centrale. Questa aggiunta richia-

ma molto il concetto di Torre Porta, tipico dell'architettura medievale.

.1 ELEMENTI COSTRUTTIVI

La struttura portante del Castello è composta da muri in mattoni pieni di laterizio. Il loro sviluppo in altezza varia da piano a piano e si parte da una sezione utile di 1.20 m circa fino ad arrivare a 0.50 m circa. Dopo una fase progetturale, si è potuto supporre che, ai livelli inferiori, la sezione utile possa essere raggiunta grazie ad una combinazione di disposizioni e tipologie diverse di mattoni, tenuti assieme da una malta di allettamento a base di calce.

Oltre ai tre piani fuori terra, l'edificio presenta anche un piano interrato composto da locali voltati in laterizio.

L'elemento di copertura principale, che correva sulle quattro maniche, non è più presente. La sua forma originaria era di un tetto a padiglione in legno con manto di copertura in

¹ GONIN E., *Album delle castella feudali della monarchia dei Savoia. Castello di Bonavalle, 1854.*

coppi.
Gli unici elementi provvisti di copertura, con un alto grado di deterioramento, sono la torre porta e le due torri angolari presenti nel prospetto sud. A causa di questa mancanza tutti

gli orizzontamenti principali in legno sono crollati. Ora è solo possibile leggere dov'erano situati e che sezione avevano le travi principali che conformavano tali solai.



▲ 1. Vista aerea del castello
(fonte: elaborazione da drone Phantom 4 Pro, sopralluogo 17/04/2019)



▲ 2. Prospetto sud
(fonte: foto dell'autore, sopralluogo 19/01/2019)



▲ 3. Prospetto nord
(fonte: foto dell'autore, sopralluogo 17/04/2019)



^ 4. Cortile interno
(fonte: foto dell'autore, sopralluogo 19/01/2019)



^ 5. Cortile interno
Da notare la fessura passante in corrispondenza della canna fumaria. (fonte: foto dell'autore, sopralluogo 19/01/2019)



^ 6. Stanza ad est, piano rialzato.
Parte del solaio è crollato rendendo scoperto l'interrato. (fonte: foto dell'autore, sopralluogo 17/04/2019)



▲ 7. Interno nord-ovest
(fonte: foto dell'autore, sopralluogo 17/04/2019)



▲ 8. Interno nord-est
(fonte: foto dell'autore, sopralluogo 19/01/2019)



▲ 9. Interno sud-est
(fonte: foto dell'autore, sopralluogo 19/01/2019)



^ 10. Interno della torre porta, piano terzo
(fonte: foto dell'autore, sopralluogo 17/04/2019)



^ 12. Dettaglio della composizione dei solai della torre porta
(fonte: foto dell'autore, sopralluogo 17/04/2019)



^ 11. Sottotetto della torre porta
(fonte: foto dell'autore, sopralluogo 17/04/2019)



^ 13. Vista dalla torre porta dell'edificio annesso
(fonte: foto dell'autore, sopralluogo 17/04/2019)

.2 ANALISI DEI DEGRADI E DISSESTI

I magisteri murari esterni identificano e avvalorano l'edificio; un'analisi attenta di questi può raccontarci molta storia del Castello. Come detto in precedenza, il Castello subì numerose modifiche nel tempo ed i prospetti sono i principali testimoni. A sud ed ovest vediamo uno stile prettamente Ottocentesco (eclettico e neogotico); a nord troviamo elementi collocabili intorno al Seicento, mentre quello est si può definire quattrocentesco, molto semplice, con aperture rettangolari e privo d'intonaco.

Attualmente l'edificio presenta degradi e dissesti importanti, molti dei quali compromettono la sua stabilità. È opportuno quindi farne un'analisi e mappatura, per costruire una base tematica utile a definire quali siano gli interventi necessari affinché questi vengano contenuti, se non del tutto eliminati.

In questa prima fase si è optato per una mappatura tradizionale. Estrapolati i prospetti dal modello BIM e sovrapposte le ortofoto ottenute dalle nuvole di punti, prodotti di proces-

si che saranno ampiamente approfonditi nei prossimi capitoli, si possono ricalcare le aree che presentano degradi, dando loro un opportuno retino, prendendo come riferimento la *Norma UNI 1182/2006*.

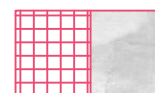
L'analisi si è svolta sui quattro prospetti esterni del Castello. Questi presentano all'incirca gli stessi degradi, ma in proporzioni differenti principalmente dovute all'esposizione.

A sud ed ovest si può notare una notevole quantità di disgregazione d'intonaco ed alterazioni cromatiche di questo, mentre ad ovest mantiene in certe parti il suo colore originale, a sud sembrerebbe quasi del tutto scomparso. Elemento fondamentale ad ovest sono le fessure passanti, che attraversano lo spessore del muro. Una in particolare molto evidente, in corrispondenza dei camini, percorre il prospetto in tutta altezza.

A nord prevalgono macchie, patine biologiche e distacchi d'intonaco. Il colore di questo si è scurito con gli anni ed ha molte alterazioni cromatiche. Non manca la vegetazione, che

copre interamente il lato nord-est e avvolge anche le porzioni basamentali.

Il fenomeno più esteso sul fronte est è la presenza di vegetazione superiore, che avvolge le membrature architettoniche. Nelle porzioni ancora non infestate si riscontrano, nell'ordine, alterazioni cromatiche, macchie, patine biologiche e disgregazioni diffuse.



Alterazione cromatica

Variazione di uno o più parametri che definiscono il colore



Disgregazione

Distacco di granuli sotto minime sollecitazioni meccaniche



Distacco

Soluzione di continuità tra strati superficiali del materiale



Fessura passante

Fessurazione esterna, visibile anche internamente



Fessura progredita

Fessurazione esterna visibilmente estesa



Rappezzo

Rappezzi con materiali non coerenti



Macchia

Pigmentazione accidentale e localizzata della superficie



Mancanza

Caduta e perdita di parti



Patina biologica

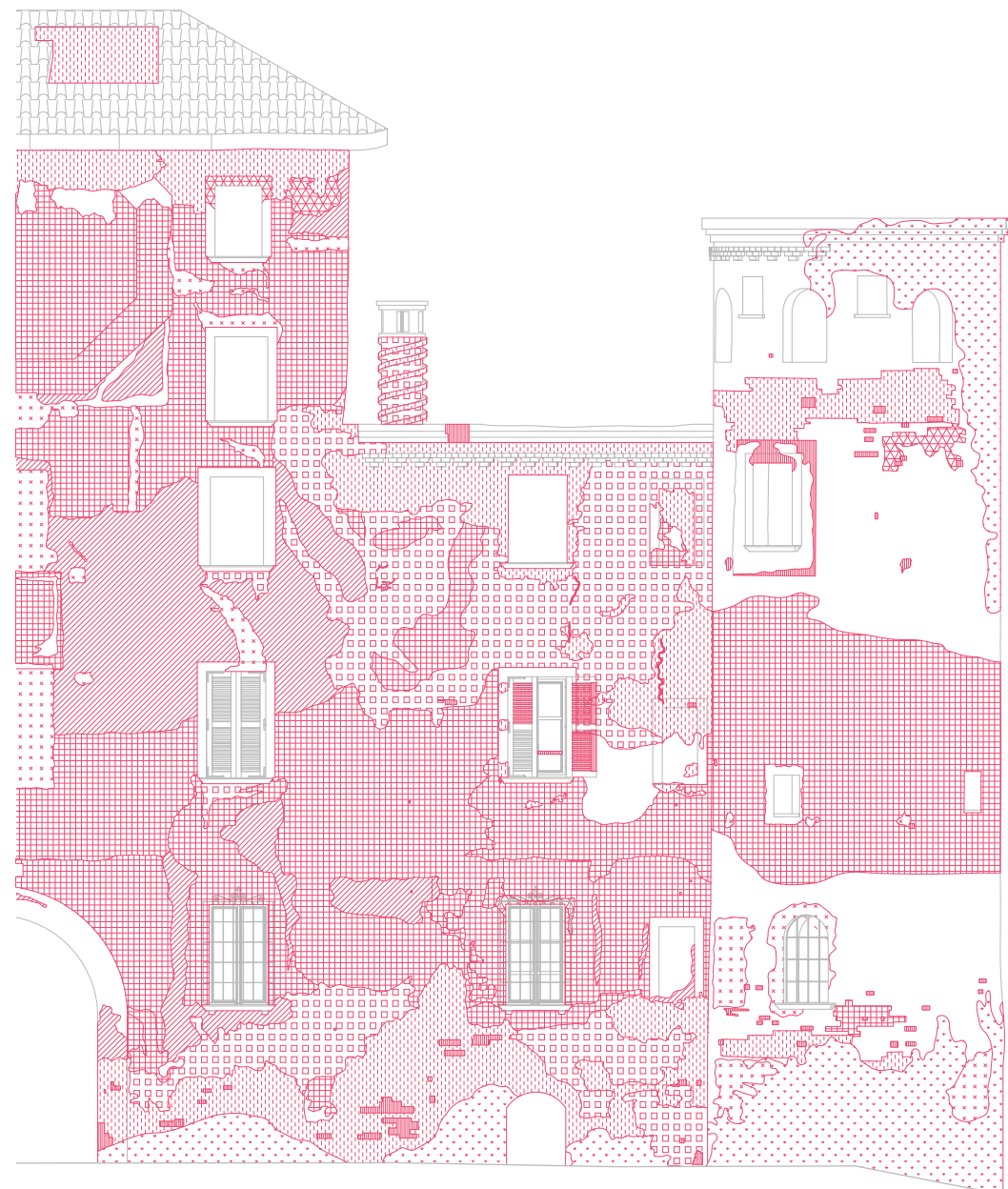
Strato sottile ed omogeneo di evidente natura biologica



Vegetazione

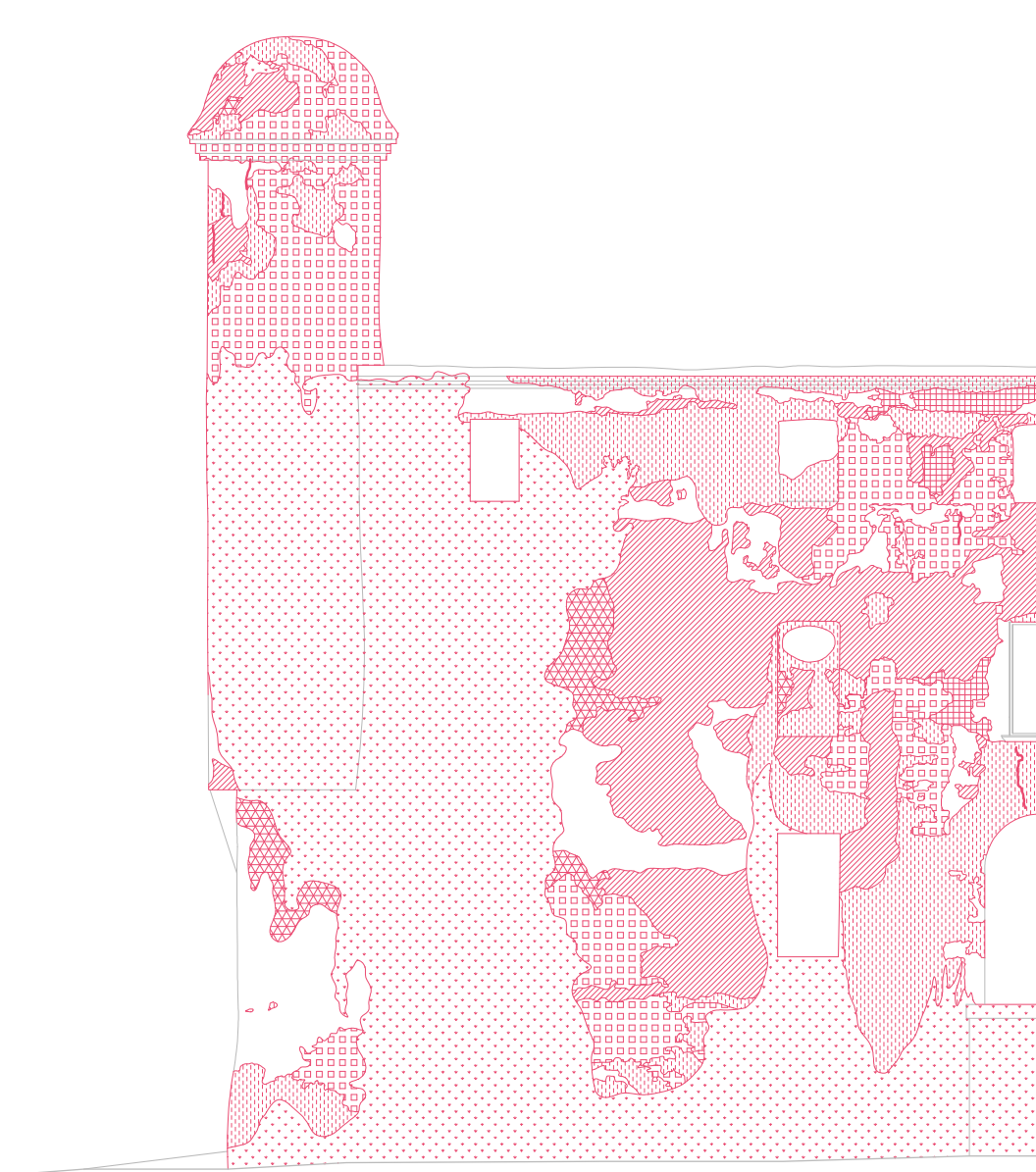
Presenza di licheni, muschi e piante

▲ 14. **Legenda dei degradi e dissesti analizzati (riferimento alla Norma UNI 1182/2006)**
A seguire i prospetti esterni su cui è stata fatta l'analisi

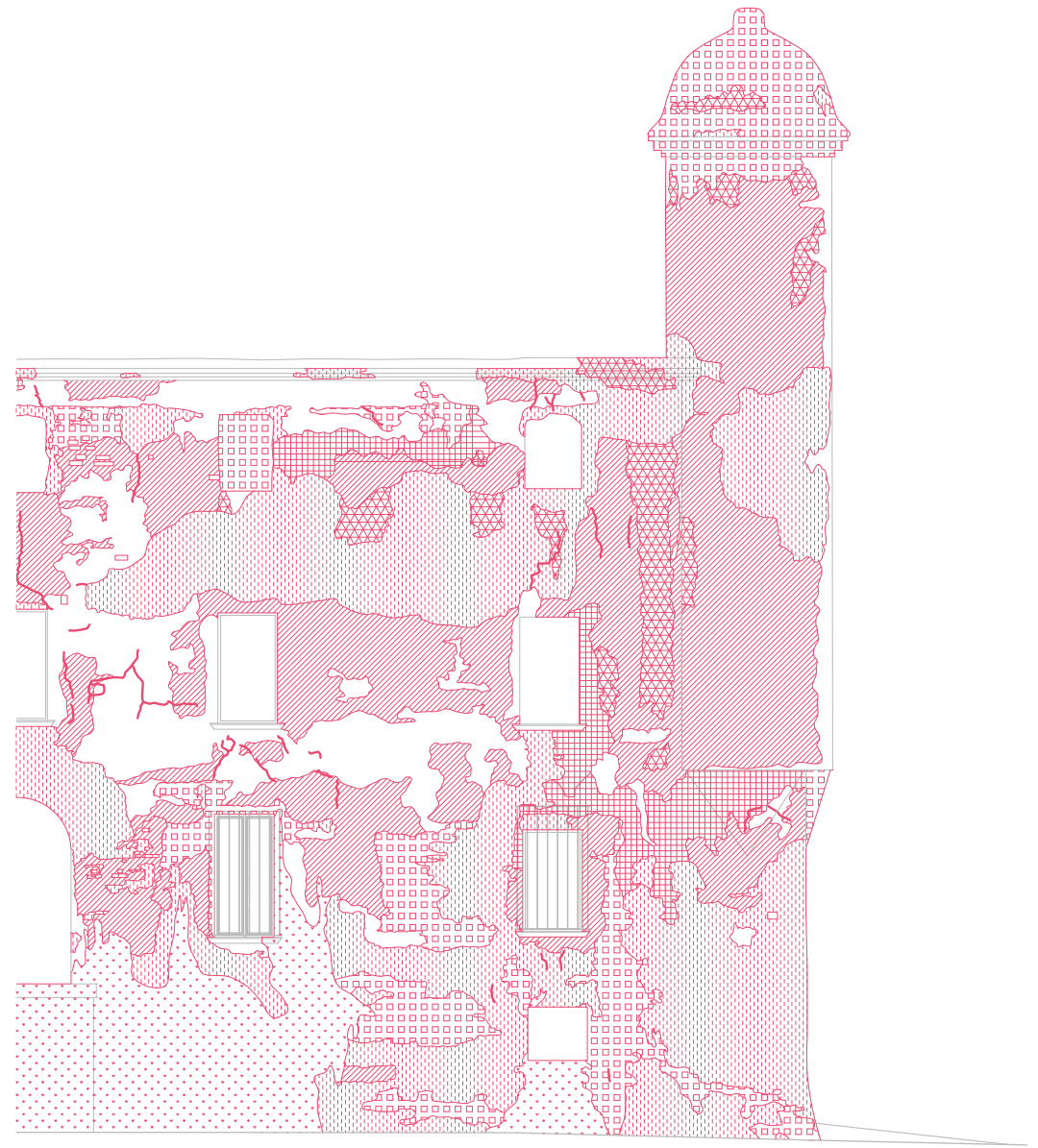


0 3 m

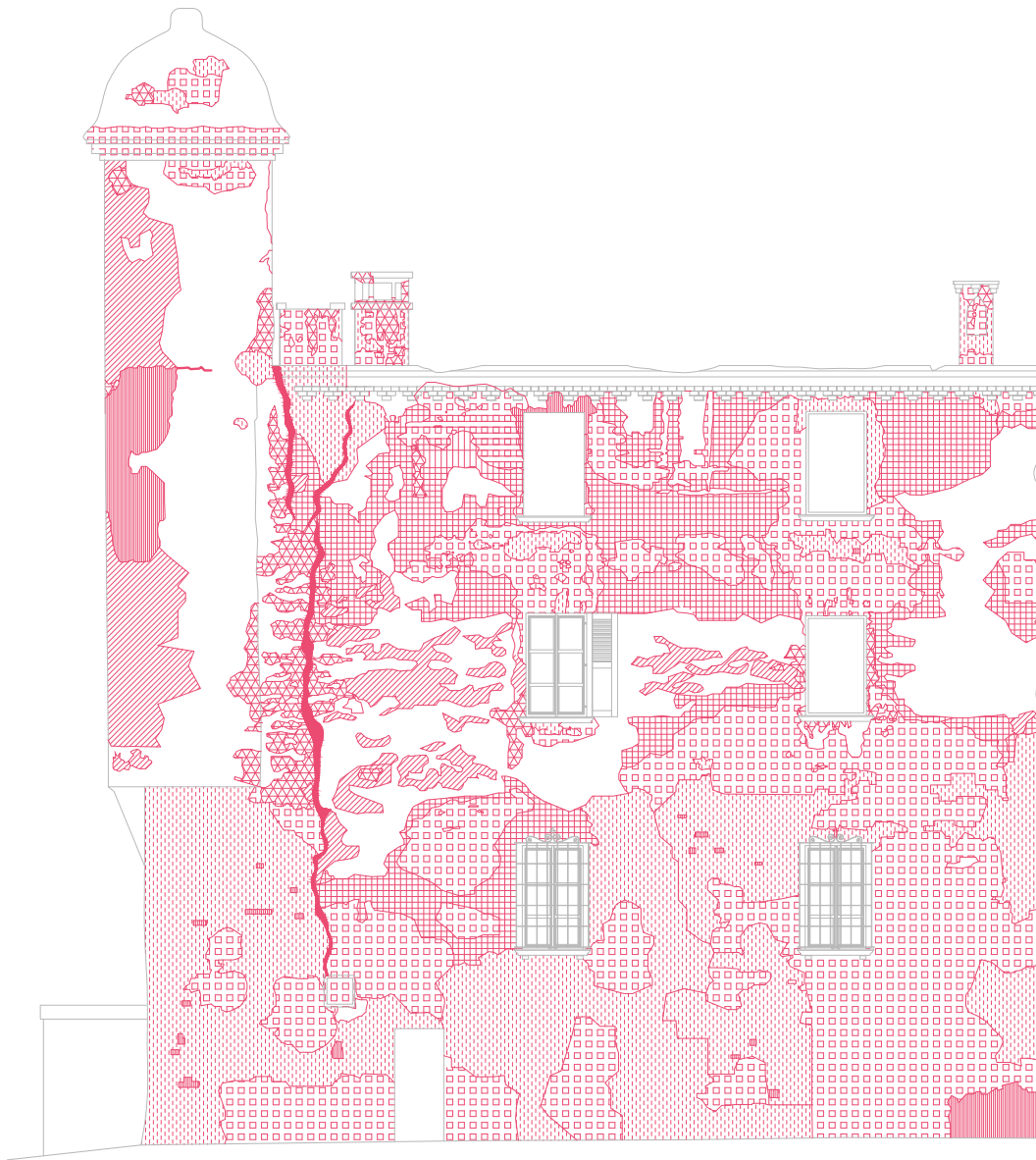
^ 15. Analisi dei degradi del prospetto sud



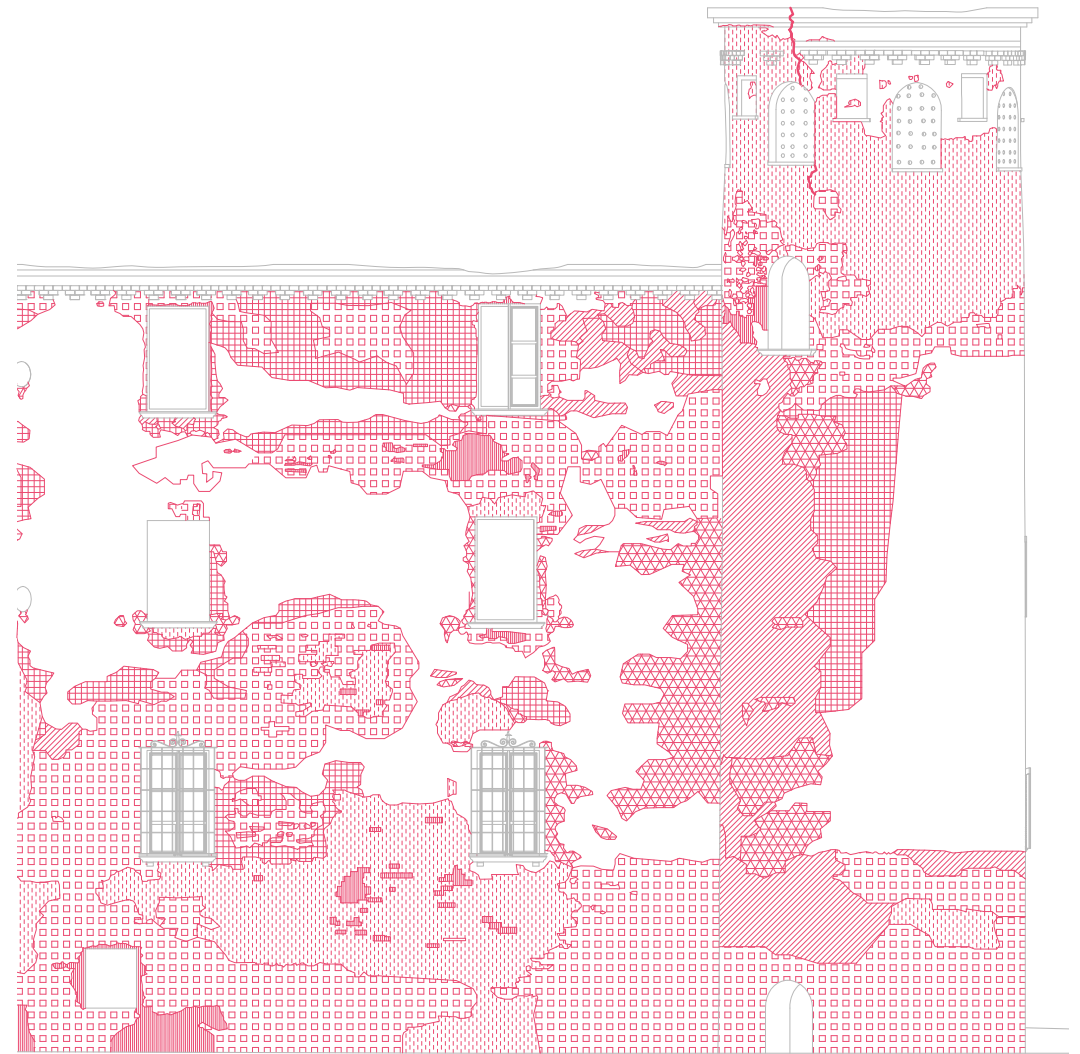
^ 16. Analisi dei degradi del prospetto nord

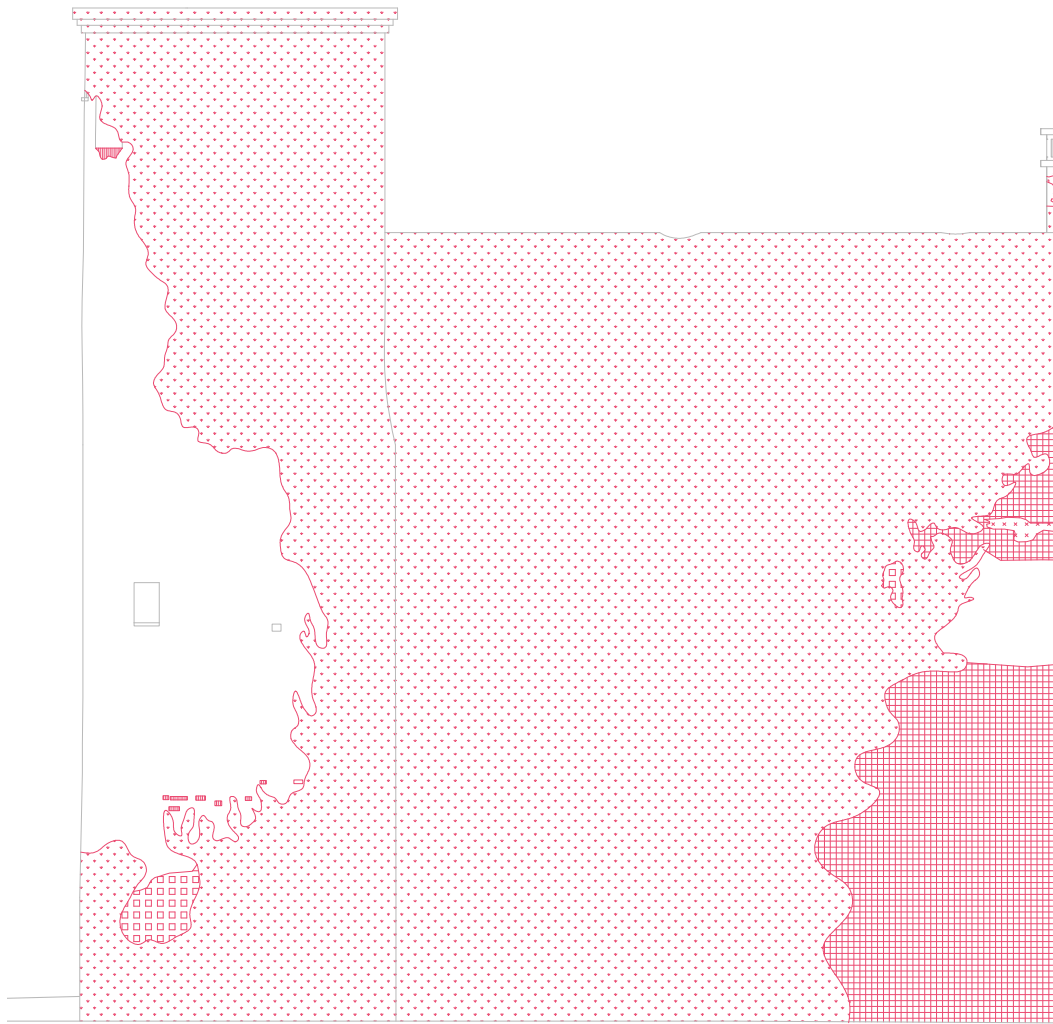


0 3 m

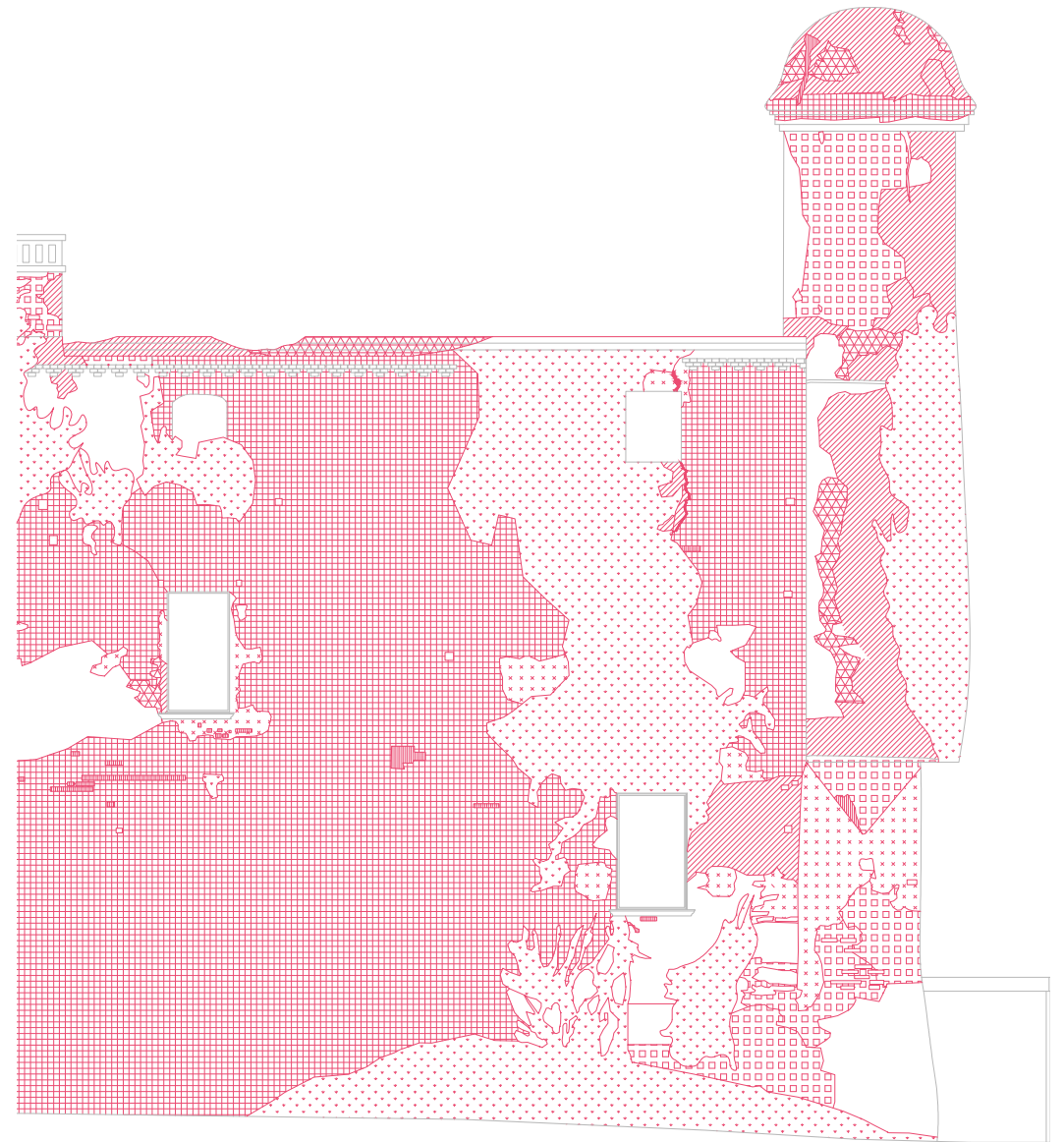


▲ 17. Analisi dei degradi del prospetto ovest





^ 18. Analisi dei degradi del prospetto est



0 3 m



▲ 19. Ortofoto prospetto Ovest
 Degrado caratteristico di questa elevazione è la fessura passante che si sviluppa in tutta altezza circondata da una leggera patina biologica



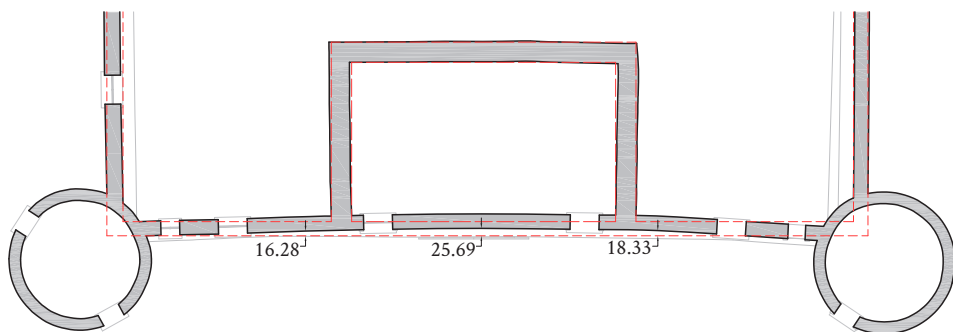
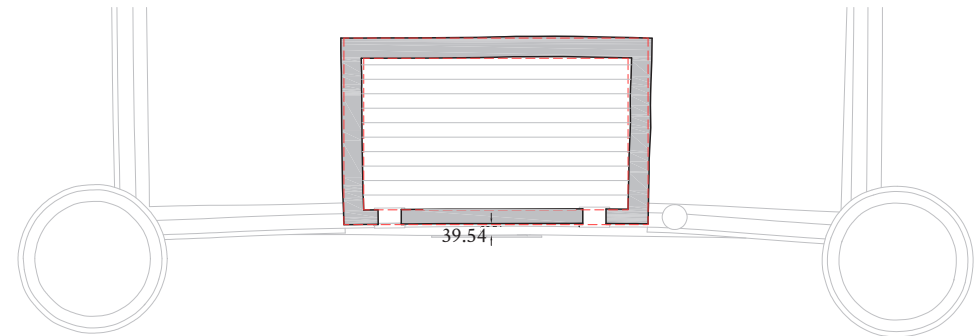
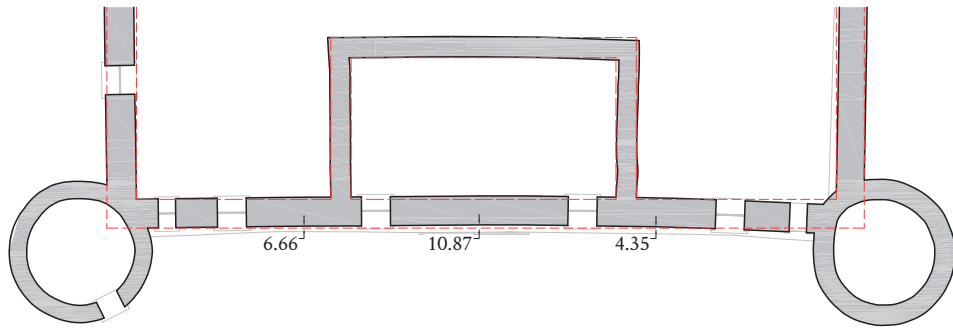
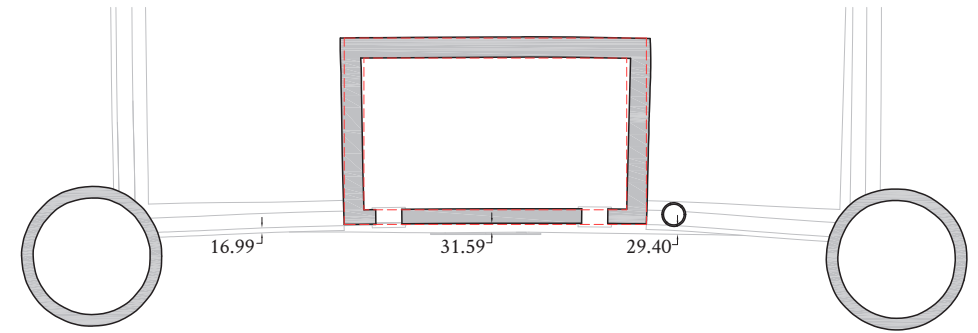
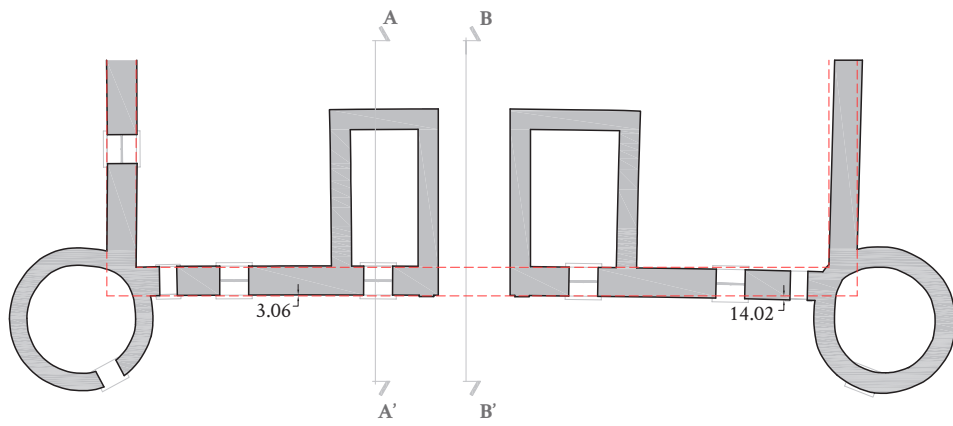
▲ 21. Ortofoto prospetto Nord
 Torrino Nord-Ovest caratterizzato dal degrado macchia e accompagnato da una serie di distacchi d'intonaco e patine biologiche



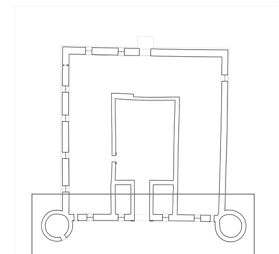
▲ 20. Ortofoto prospetto Sud
 Mancanze, alterazione cromatica e distacco d'intonaco caratterizzano questa elevazione



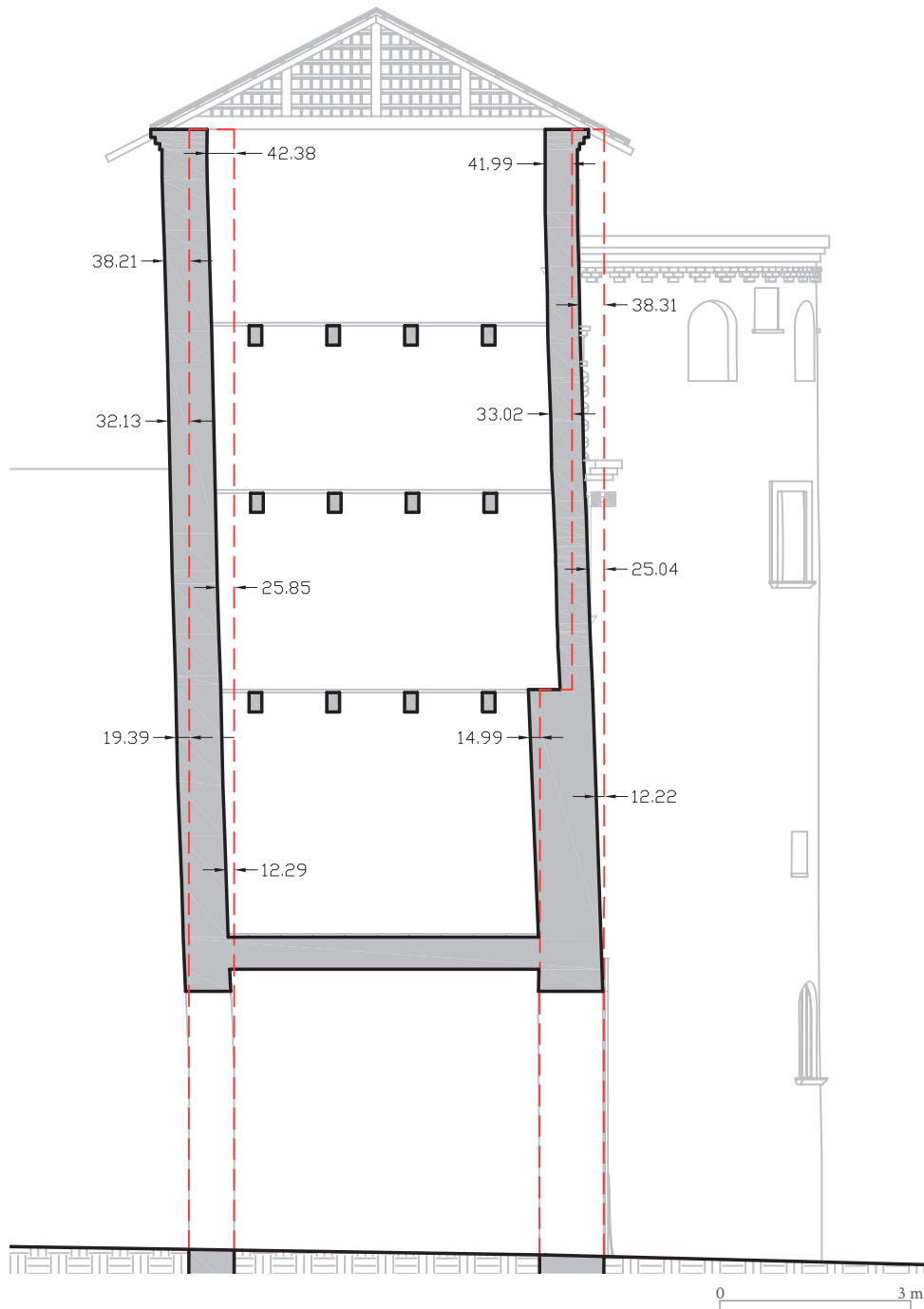
▲ 22. Ortofoto prospetto Est
 Da questa foto si può notare come la vegetazione regni sovrana e ricopra gran parte della elevazione



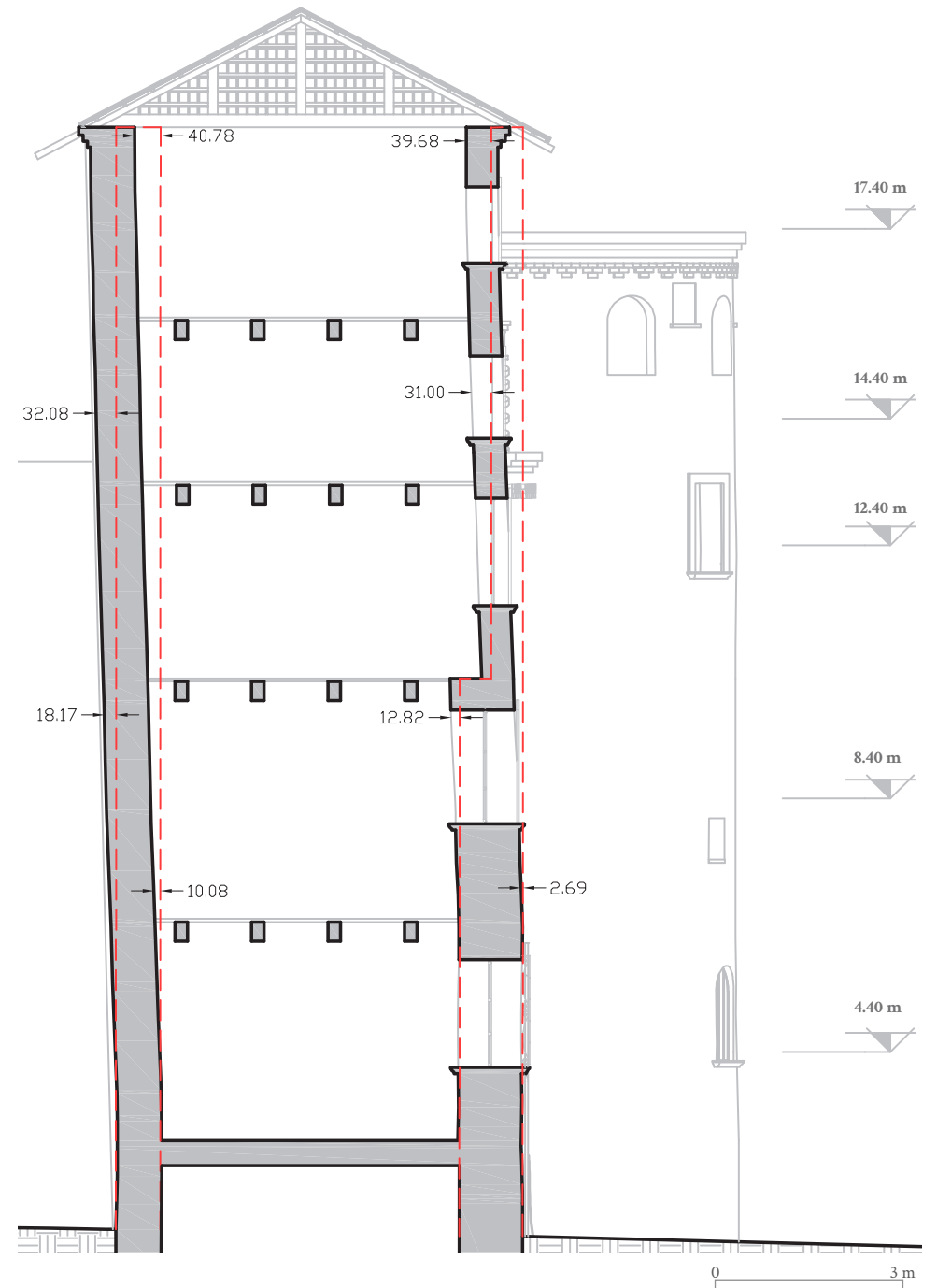
0 3 m



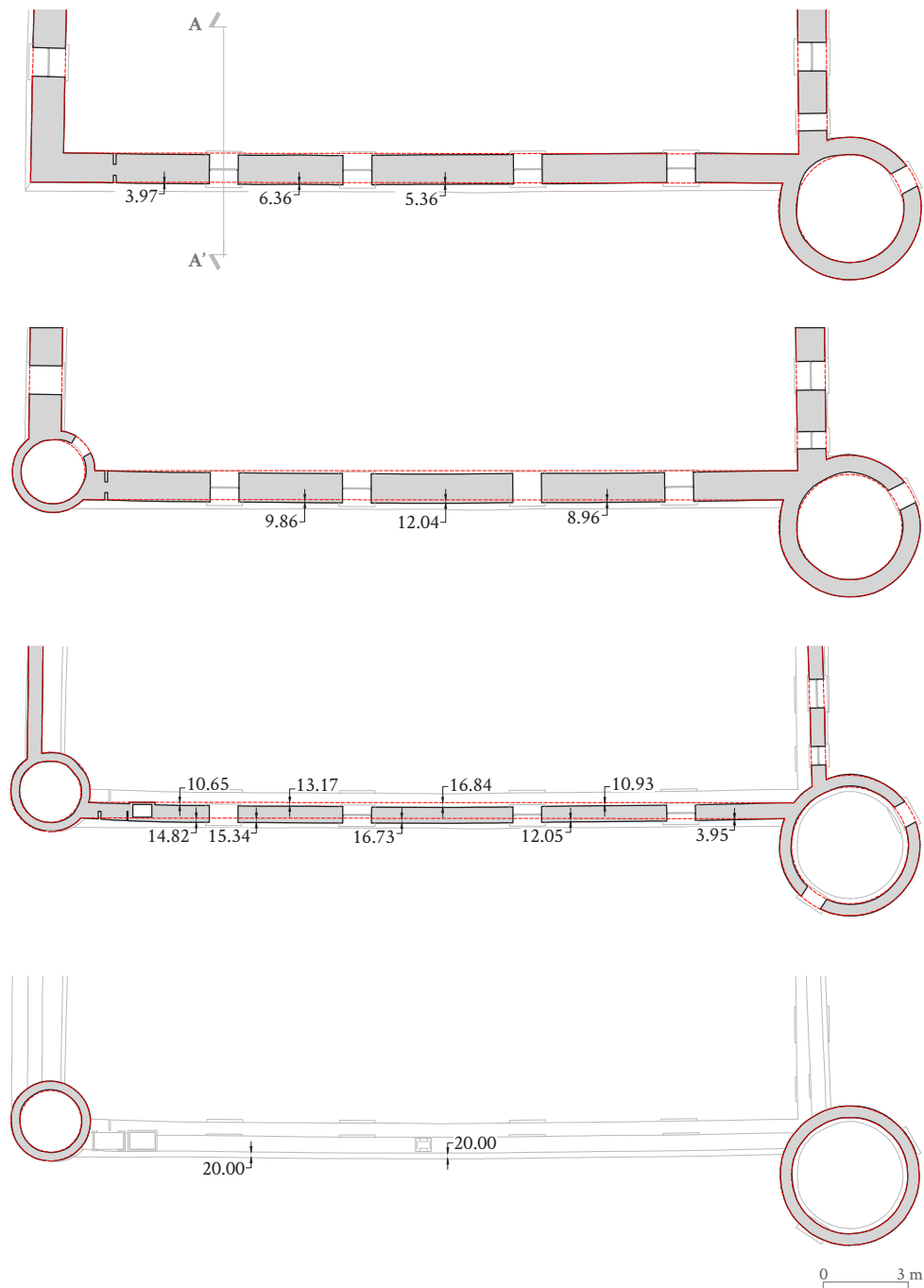
^ 23. Piante fuori scala della zona ricoprente il prospetto Sud
Serie di piante dalle quali si possono vedere gli spancimenti che caratterizzano la torre porta



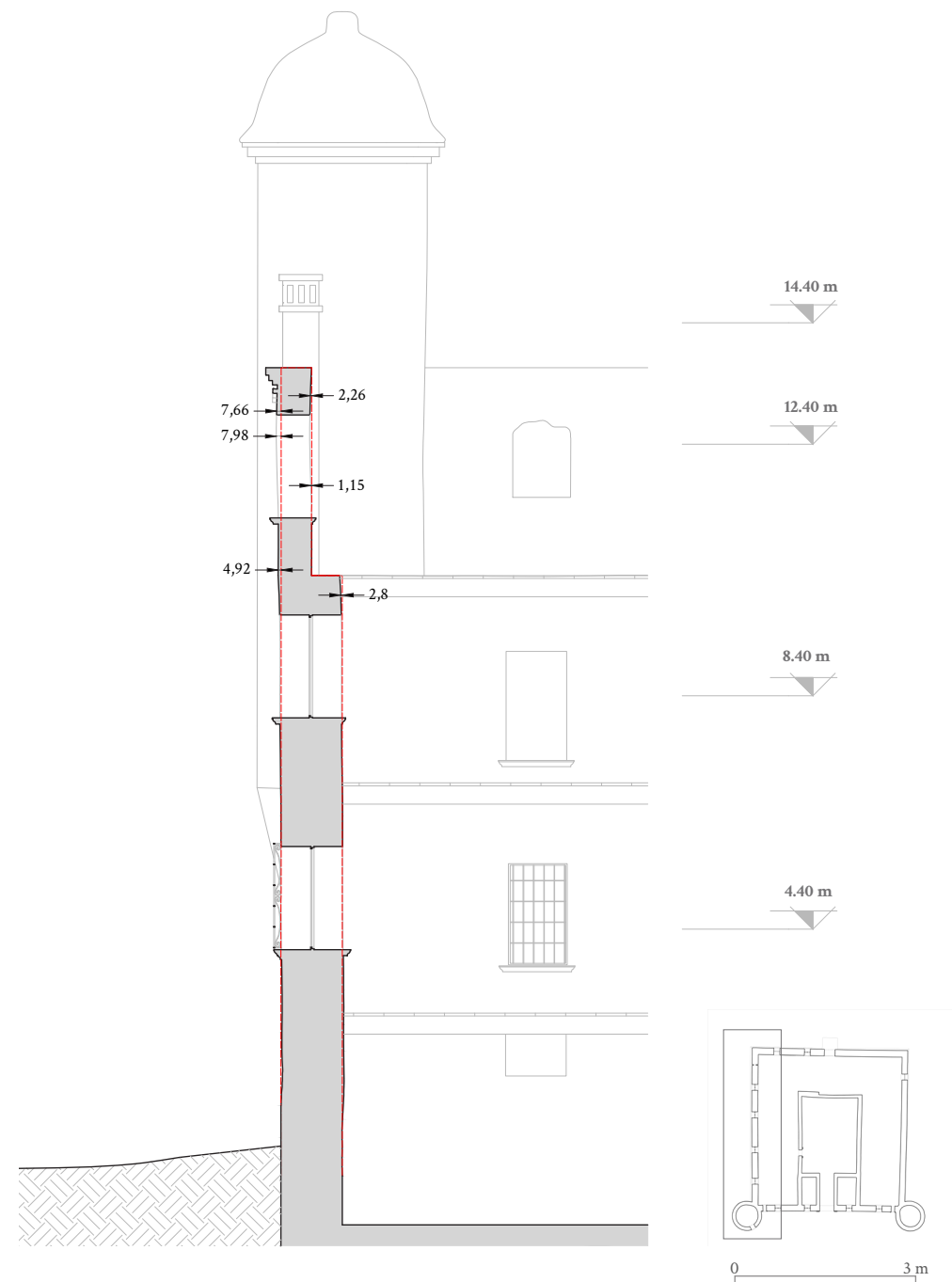
^ 24. Sezione B-B'



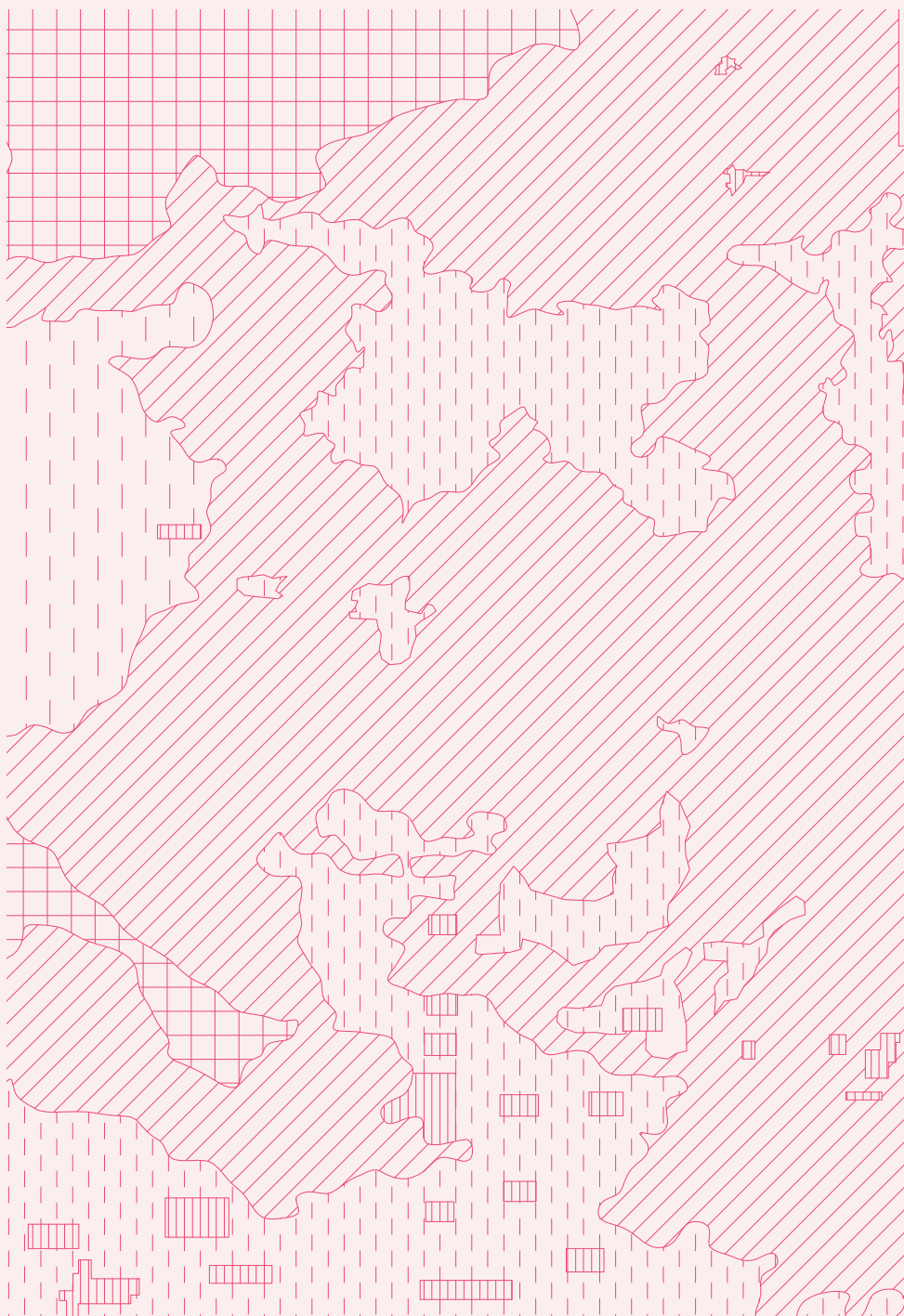
^ 25. Sezione A-A'



^ 26. Pianta fuori scala della zona ricoprente il prospetto Ovest



^ 27. Sezione A-A'



4 CONCLUSIONI

L'analisi del costruito, così come l'analisi dello stato di conservazione, ci hanno fornito un'idea generale sulle condizioni in cui si trova il Castello di Bonavalle. Dal processo di analisi abbiamo riscontrato che:

- Il prospetto che presenta le condizioni più critiche è quello situato a Ovest, il quale presenta una fessura passante lungo tutto l'elevazione e può compromettere, dal punto di vista strutturale, l'intero Castello.
- La mancanza di un elemento di copertura comporta che le intemperie danneggino ancor di più le murature perimetrali e gli elementi lignei ancora presenti.
- Lavori di consolidamento strutturale sono obbligatoriamente necessari se si vuole rendere agibile ed abitabile nuovamente l'immobile.

In sintesi, questo capitolo è stato fondamentale per avere un quadro generale sulle problematiche che affliggono l'oggetto di studio e sottolineare gli interventi di relativa urgenza,

utili per salvaguardare il sussistere del Castello.

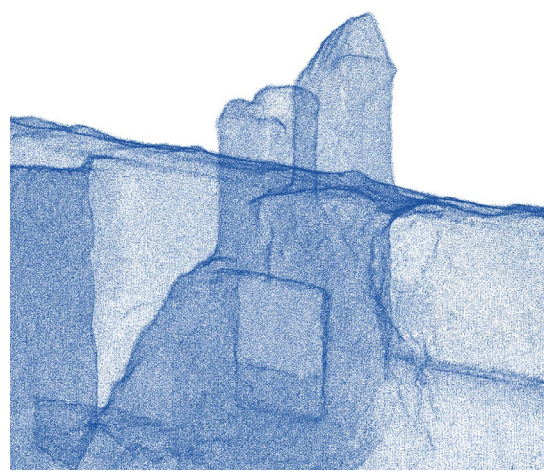
L'aiuto dell'Ing. Paolo Petrucci, il proprietario dell'immobile, e del suo collaboratore Leinon Rojas, è stato fondamentale per la conoscenza del Castello in prima persona.

Il loro supporto e disponibilità ha permesso che questo processo avvenisse nel migliore dei modi.

3.

RILIEVO METRICO

3.



.1 LE FINALITÀ DEL RILIEVO

Il rilievo dell'architettura è una disciplina che nel tempo ha avuto diversi connotati legati alla cultura e alle conoscenze tecnico scientifiche di ogni periodo storico.

Ogni architettura è in genere costituita da un universo di dati, spazi e volumi, colori, materiali, piani, luci e ombre. Un universo di dati, quindi, che può essere letto e decodificato soltanto mediante adeguati approcci e con l'utilizzazione di molteplici chiavi di lettura tramite la disciplina del rilievo.¹

È evidente, quindi, che per un corretto e preciso rilevamento di un bene, che sia esso ambientale o architettonico (incluso tutto ciò che riguarda l'ambito archeologico), è necessario integrare più metodi di rilievo complementari. Parliamo di metodi topografici, fotogrammetrici, laser e longimetrici [fig. 1].

Quest'uso integrato di strumenti e metodi assicura un rilievo provvisto di caratteristiche precise. In questo caso il rilievo è denominato metrico.

Tale rilievo tridimensionale, quindi, è un in-

sieme di operazioni che determinano le dimensioni e la forma dell'oggetto misurato ed il suo rapporto spaziale con tutto ciò che lo circonda.

Viene fissata la posizione di un insieme di punti nello spazio, aventi delle relazioni geometriche in grado di determinare superfici e volumi. Questi, se il rilievo è corretto, rispetteranno le relazioni topologiche dell'oggetto, cioè le sue proprietà di connessione (disgiunzione, vicinanza e sovrapposizione).

Un altro metodo di acquisizione della posizione dei punti è il rilievo mediante laser-scanner. La tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*), detta anche *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) è un metodo ormai consolidato: le prime applicazioni in questo campo risalgono alla fine degli anni '90. Il principio deriva dall'uso di onde elettromagnetiche per la misurazione delle distanze (simile ai distanziometri ad onde elettromagnetiche).

Data la sua precisa e veloce modalità di rilievo è ormai sempre affiancato alle tecniche tradizionali.

¹ BERTOCCI S. , BINI M., *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012.

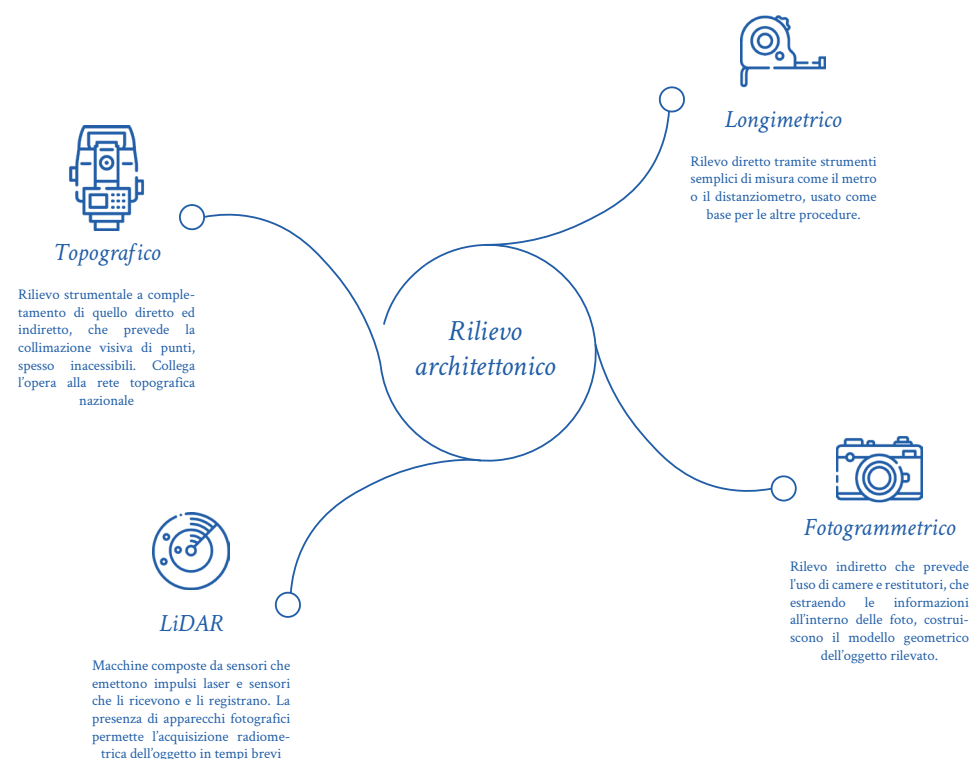
Il primo passo fondamentale è stabilire la scala del manufatto e le sue relative dimensioni col fine di determinare l'attrezzatura da impiegare.

Per ottenere un risultato più vicino all'oggetto reale è, quindi, altamente consigliato l'utilizzo congiunto di tutte queste tecniche. In questo modo, non solo migliora la capacità di rilievo di ogni singolo strumento, semplificando la riproduzione di forme complesse (sia dal punto di vista geometrico che materico), ma permette anche di ottenere diverse informazioni specifiche.

Detto questo, per "finalità" intendiamo gli obiettivi che il rilievo deve soddisfare. In base a questi si avrà un certo tipo di tolleranza.

Per quanto riguarda la scala di rilievo, essa può essere: regionale, locale o oggetto. Nel nostro caso è locale, dovendo rilevare un'architettura ed il contesto nelle immediate prossimità. Si è optato quindi per tecniche topografiche (GPS/GNSS e stazione totale), fotogrammetriche (aerea e terrestre) e LiDAR con laser scanner a *differenza di fase*.

Abbiamo deciso di avvalerci dei metodi e delle tecnologie sopracitati, col fine di ottenere una base molto precisa su cui lavorare successivamente. Il prodotto di questa fase sarà una nuvola di punti dettagliata utilizzabile per le successive fasi di modellazione in ambiente BIM.



^ 1. Tecniche di rilievo architettonico

2 RILIEVO TOPOGRAFICO

Una volta definito lo scopo del rilievo e il grado di dettaglio che si vuole raggiungere, si può procedere con la fase di rilievo topografico. Le operazioni di rilievo devono rispettare un ordine preciso e definito, andando "dal generale al particolare":

- produzione di una rete di inquadramento che andrà utilizzata per geo referenziare l'oggetto di analisi e servirà di appoggio per successive operazioni di misurazione;
- affinamento dei punti della rete di inquadramento;
- rilievo di dettaglio.²

Ogni operazione di rilievo dovrà anche prevedere una fase iniziale di sopralluogo:

*Questo sopralluogo, tradotto graficamente in uno o più eidotipi, consente di prevedere l'insieme di operazioni di misura e l'opportuna collocazione dei vertici della rete di inquadramento.*³

1 ELABORAZIONE DEGLI EIDOTIPI

*L'eidotipo non è un disegno ad una scala approssimativa; è un documento di dimensione sufficientemente estesa da permettere che i dettagli da rilevare e le misure possano trovare al suo interno una rappresentazione assolutamente priva di confusione.*⁴

L'eidotipo deve permettere una facile lettura dei punti individuati in esso, deve essere chiaro e non deve creare confusione per chi lo legge. Se questa lettura diventa faticosa c'è il rischio di creare confusione e commettere errori nella fase di restituzione del rilievo.

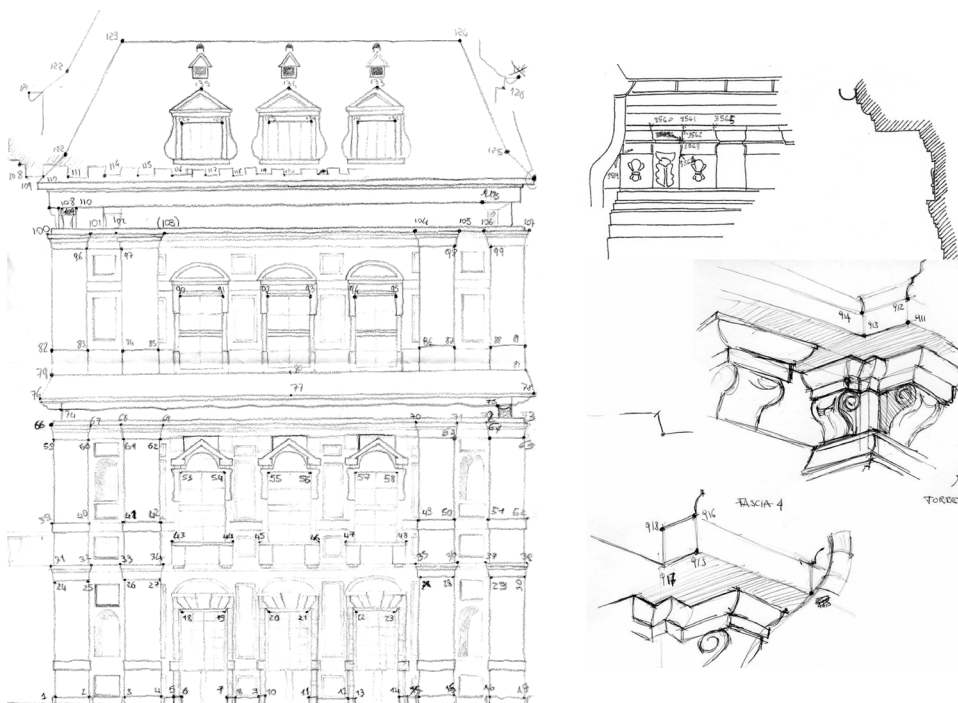
Inoltre, se l'elemento da rilevare è caratterizzato da un numero elevato di dettagli è di norma realizzare un disegno "ingrandito" del particolare di interesse.⁵ [fig. 2, 3]

Agli eidotipi realizzati si affiancano anche la redazione di monografie che verranno utilizzate per posizionare i vertici della rete di inquadramento. [fig. 4]

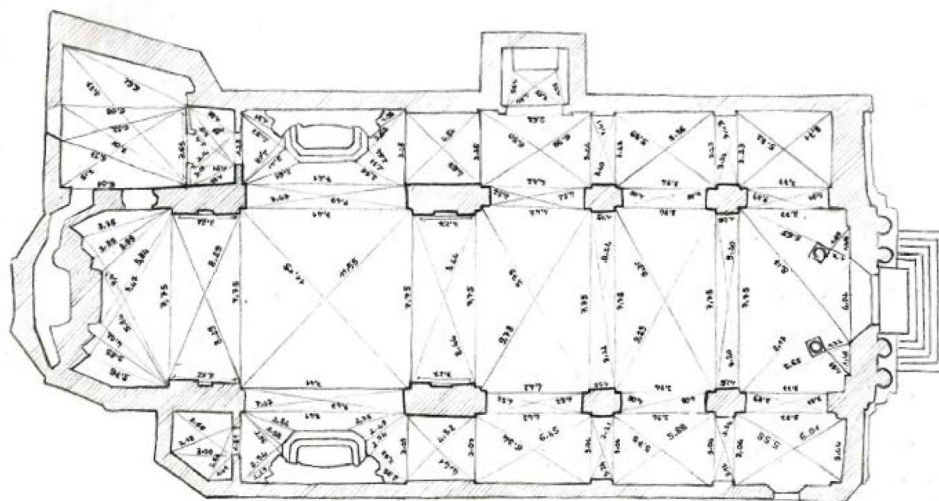
² SAINT AUBIM JEAN-PAUL, *Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura*, Moretti e Vitali Editori, Bergamo, 1999. p. 77

³ *ibid* p. 78

⁵ FARINA S., GALLEANO A., *Fotogrammetria ed HBIM: un percorso per la conoscenza di Villa Sarmatoris a Salmour*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. F. CHIABRANDO, M. LO TURCO, M. NARETTO, Politecnico di Torino, 2016. p.222-223



^ 2, 3. Esempio di eidotipi
(fonte: geomaticaconservazione.it)



^ 4. Esempio di monografia
(fonte: unibg.it)

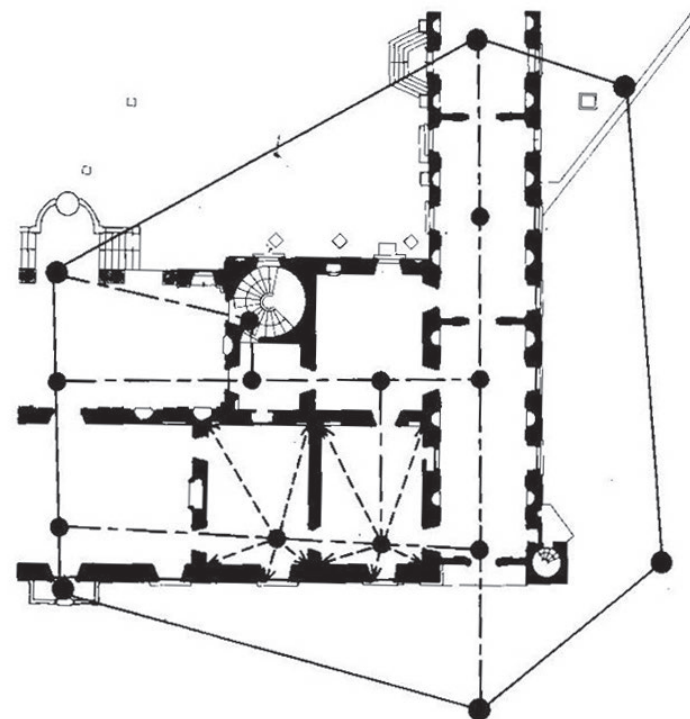
2 RETI DI INQUADRAMENTO

La costruzione di una rete di inquadramento è un'operazione che consiste nel circondare l'oggetto e nel percorrerlo con una serie di segmenti che definiscono un poligono. A partire da questi segmenti e dai vertici del poligono verranno eseguite le misure di dettaglio dell'oggetto.⁶

Per la redazione di una rete di inquadramento la posizione dei vertici è molto importante. Essi devono essere visibili l'uno dall'altro

così d'agevolare le collimazioni reciproche e facilitare la misura delle loro distanze. Inoltre, tali vertici devono essere segnati su apposite monografie e nel libretto delle misure di campagna. [fig. 5]

Definito la rete di inquadramento, si procede alla loro materializzazione dei vertici a terra che dovrà seguire un determinato senso di lettura. Le misure e angoli ricavati dovranno essere successivamente rielaborate con una serie di calcoli così da ottenere le coordinate cartesiane di ciascun vertice.



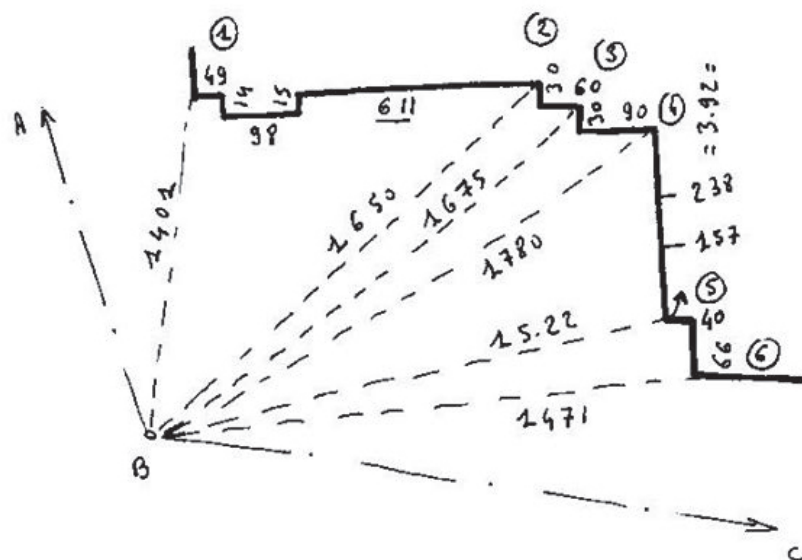
^ 5. Esempio di poligonale (chiusa) (fonte: SAINT AUBIM JEAN-PAUL, Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura, Moretti e Vitali Editori, Bergamo, 1999. p. 80)

⁶ SAINT AUBIM JEAN-PAUL, *Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura*, Moretti e Vitali Editori, Bergamo, 1999. p. 78

3 IL RILIEVO CELERIMETRICO

Sono gli elementi di dettaglio da rilevare che determinano il tracciato e la definizione dei vertici di queste linee poligonali; per quanto è possibile, ogni punto di dettaglio dovrà essere rilevato in rapporto a questi vertici e a queste linee.⁷

Per la determinazione dei punti di dettaglio, ci affidiamo alla tecnica ideata da Ignazio Porro a metà del XIX secolo che permetteva di acquisire contemporaneamente la posizione planimetrica e della posizione altimetrica dei punti, conosciuta al giorno d'oggi come celerimensura.

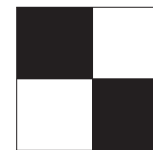


^ 6. Esempio di rilievo dei particolari topografici (fonte: SAINT AUBIM JEAN-PAUL, *Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura*, Moretti e Vitali Editori, Bergamo, 1999. p. 80)

⁷ SAINT AUBIM JEAN-PAUL, *Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura*, Moretti e Vitali Editori, Bergamo, 1999. p. 80

Affidandoci all'utilizzo delle stazioni totali, che come risultato ci forniscono le coordinate polari di un punto (angoli e distanze), possiamo ricavare le coordinate cartesiane (x,y,z) di ciascun punto di dettaglio. Questa stazione totale verrà posizionata su ciascun vertice della rete di inquadramento, permettendo così di acquisire punti di dettaglio su tutto l'oggetto da rilevare. [fig. 6]

Per facilitare questa fase di rilievo ci agevoliamo anche con il supporto di appositi "markers" che verranno collocati sia sul terreno che in facciata. [fig. 7]



^ 7. Tipologia di markers

4 LA STAZIONE TOTALE

La stazione totale si ottiene dall'unione di un teodolite elettronico e un distanziometro. [fig. 8] Questa unione permette di ottenere uno strumento capace di eseguire letture di distanze e angoli. Essendo elettrico permette anche di registrare un determinato numero di letture senza dover utilizzare un libretto di campagna.

Nonostante sia uno strumento di natura integrata, la struttura di base non è molto diversa dai teodoliti classici. [fig. 9] Anche esso è caratterizzato da:

- *basamento*, che costituisce la parte inferiore della stazione totale e permette il collega-

mento col treppiede;

- *alidada*, parte di struttura scatolare dotata di tre perni per agganciarsi al basamento. Inoltre, presenta i cerchi per le letture angolari e gli spazi riservati al display e alla tastiera;
- *livella sferica* e *livella torica*, utili per rendere orizzontale il basamento ed il piano contenente il cerchio orizzontale;
- due cerchi, quello orizzontale (CO o azimutale) e quello verticale (CV o zenitale), indispensabili per la misura degli angoli;
- un mezzo collimatore, cannocchiale munito di reticolo, che è collegato rigidamente a una parte ruotante.

Per il regolare funzionamento della stazione



^ 8, 9. Esempio di stazione totale e teodolite classico (fonte: archiproducts.com; indiamart.com)

totale i tre assi principali di cui esso è composto (asse primario legato alla rotazione dell'alidada; asse secondario che controlla il movimento del cannocchiale; asse di collimazione che regola la linea di mira del cannocchiale) devono soddisfare determinate condizioni. [fig. 10]

Quest'ultime le possiamo classificare in due categorie: condizioni intrinseche (legate allo strumento) e condizioni di rettifica (legate alle operazioni di messa in stazione).

Le condizioni intrinseche incidono sulla precisione di angoli e distanze. Esse le possiamo rapportare alla modalità di assemblaggio dei vari componenti che costituiscono la stazione totale. Alcune di esse sono:

- L'asse primario e l'asse secondario devono passare per il centro del cerchio azimutale e zenitale (se l'asse primario non rispetta la condizione il CO è affetto da errore di eccentricità dell'alidada; se l'asse secondario non rispetta questa condizione il CV è affetto da errore di eccentricità del CV);
- L'asse di collimazione e l'asse primario si devono intersecare. Se questo non avviene il CO è affetto di eccentricità del cannocchiale;
- L'asse primario e secondario devono essere perpendicolari rispettivamente al piano CO e al piano CV.

Le condizioni di rettifica, invece, possono essere controllate dall'operatore. Procedendo con verifiche e accorgimenti si può limitare l'errore. Le principali sono:

- L'asse primario deve essere verticale. Per far sì che questo avvenga il piano del basamento ed il CO devono essere orizzontali (manovrando viti calanti e livella torica);
- L'asse primario e l'asse secondario devono

essere perpendicolari. Se questa condizione viene a mancare si ha l'errore di inclinazione;

- L'asse di collimazione deve essere ortogonale all'asse secondario che se non viene rispettata crea l'errore di collimazione;

- La lettura del cerchio verticale (CV) quando l'asse di collimazione è verticale deve essere pari a 0° e quando è orizzontale deve essere pari a 90°. Se questo si verifica si ha l'errore di zenit strumentale;

- Il raggio laser deve essere coassiale all'asse di collimazione. Se questa coassialità viene a mancare si possono creare imprecisioni nella misura delle distanze.

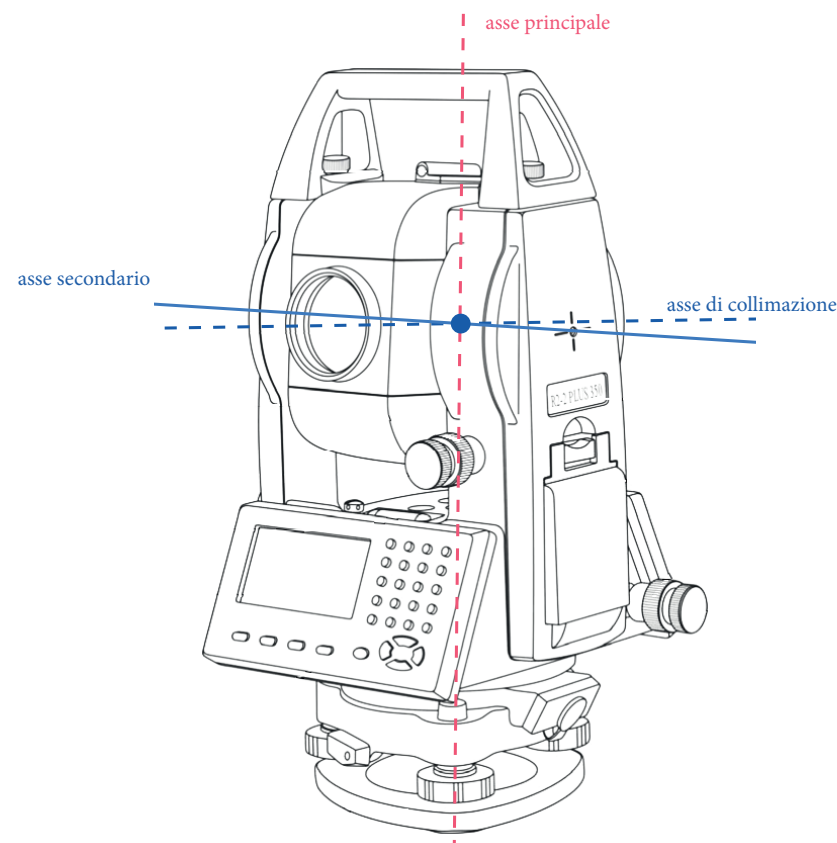
Nonostante si cerchi di soddisfare queste condizioni di rettifica, rimarranno sempre degli errori detti residui che andranno sempre influenzare la precisione delle misure di angoli e distanze. ⁸

5 IL GNSS/GPS

Il sistema di posizionamento GNSS (Global Navigation Satellite System) è un sistema di navigazione basato sulla ricezione di segnali radio emessi da una costellazione di satelliti artificiali in orbita attorno alla Terra. ⁹

Il sistema di posizionamento più diffuso al giorno d'oggi è il GPS (*Global Position System*). Quest'ultimo, con l'aiuto di un ricevitore, permette in modo semplice e veloce di ottenere la posizione globale di un determinato punto sulla superficie terrestre. Nonostante sia il più diffuso ne esistono altri di uguale importanza. Il GLONASS che è gestito dalla Russia e il Galileo che è un sistema Europeo di posizionamento globale alternativo a quello americano e russo.

Dopo una fase di acquisizione, il ricevitore re-



^ 10. Esempio di stazione totale (fonte:)
Con questa immagine si vuole evidenziare gli assi principali della stazione totale.

gistra e fornisce in tempo reale la posizione GPS nel sistema globale WGS84 (*World Geodetic System 1984*).

Le coordinate ottenute da osservazioni GPS possono essere espresse sia come coordinate cartesiane (x,y,z) che in coordinate ellissoidiche (latitudine, longitudine e altezza sull'ellissoide), che in coordinate cartografiche piane. ¹⁰

Anche questo sistema di rilevamento è carat-

terizzato da diversi tipi di errore che possono essere completamente o parzialmente rimossi adottando alcuni accorgimenti tecnici.

Tra gli errori più comuni possiamo trovare quelli che possono essere fatti nella fase di misurazione dall'operatore a terra o quelli di natura sistemica.

⁸ FARINA S., GALLEANO A., *Fotogrammetria ed HBIM: un percorso per la conoscenza di Villa Sarmatoris a Salmour*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. F. CHIABRANDO, M. LO TURCO, M. NARETTO, Politecnico di Torino, 2016, p.222-223

⁹ *Il sistema di posizionamento GPS*, spingnss.it

¹⁰ GOMARASCA M. A., *Elementi di geomática, Associazione Italiana di Telerilevamento*, Milano, 2004, p.

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 scena.¹¹

Le immagini sono fotografie che possono essere acquisite in due modi: per via diretta con macchine digitali o analogiche (ormai obsolete), o indiretta attraverso sensori particolari o scansioni che possono anche registrare onde elettromagnetiche fuori dallo spettro del visibile (per esempio la radiazione infrarosso). Le immagini digitali traducono la radiometria sottoforma di numeri: l'immagine detta raster non è altro che una suddivisione di pixel aventi ciascuno una dimensione finita ed una posizione fissata a priori (non variabile nel tempo).

Attraverso la tecnica fotogrammetrica è possibile definire forma, dimensioni e posizione degli oggetti utilizzando le informazioni ottenute dalle immagini fatte da punti di ripresa differenti.¹² Con tale tecnica è possibile ottenere una descrizione completa dell'oggetto in tempi brevi, che sia esso di grandi o piccole dimensioni, rilevando un gran numero di punti.

I concetti chiave risalgono all'epoca rinascimentale, con la prospettiva di Brunelleschi, ma può definirsi applicabile soltanto con l'introduzione della strumentazione adatta a riprendere immagini. Durante il XIX secolo si è sviluppato l'uso della fotografia in ambito progettuale: dopo l'introduzione del Dagherrotipo sono state fatte numerose misure utilizzando foto, in particolar modo nei luoghi in cui un rilievo diretto sarebbe stato particolarmente rischioso.

Per decenni poi furono prodotte e perfezionate camere fotogrammetriche e restitutori, soprattutto con la sopraggiunta delle due guerre

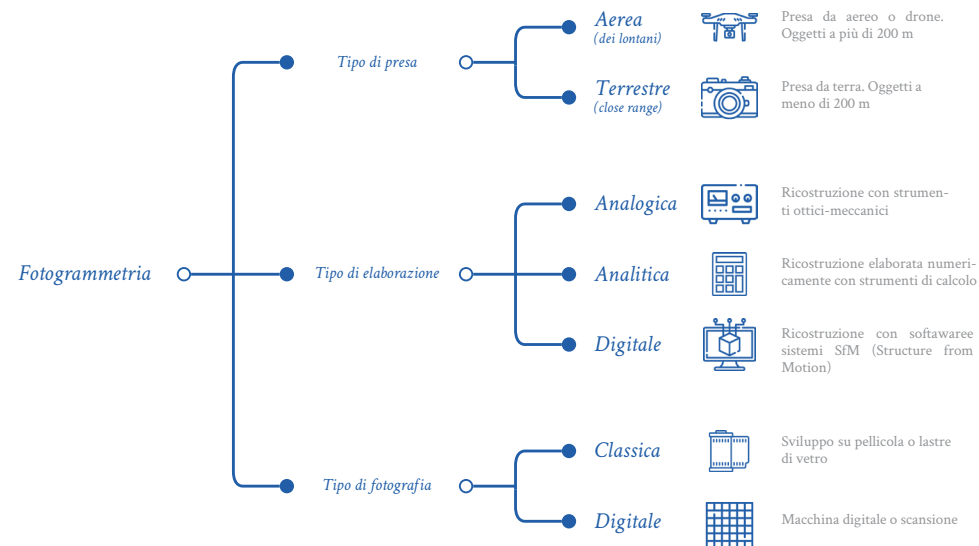
mondiali, dove vennero molto utilizzate le riprese aeree per la produzione di documenti cartografici.¹³

La fotogrammetria può essere classificata in base a 3 fattori: il tipo di presa, l'elaborazione ed il tipo di fotografia.

Le prese possono essere svolte da aereo o drone (*f. aerea o dei lontani*) o da terra (*f. terrestre o dei vicini*). Gli oggetti rilevati possono essere elaborati con dispositivi fisici (*f. analogica*), direttamente sui fotogrammi (*f. analitica*), o tramite software che producono nuvole di punti (*f. digitale*). Infine, le immagini utilizzate possono essere su pellicola o lastre di vetro (*f. classica*) o organizzate in una griglia di pixel tramite camera digitale o scansione (*f. digitale*).¹⁴ [fig. 11]

.1 FOTOGRAMMETRIA TERRESTRE

La fotogrammetria terrestre (denominata anche *close range* per le piccole distanze tra camera e oggetto), da lungo tempo impiegata in architettura e nell'ingegneria civile, trova ormai impiego nei campi più disparati. Questo perchè la comodità di poter ottenere informazioni senza dover effettuare una misurazione diretta e la sua rapidità di acquisizione sono fattori che prediligono una tecnica ad un'altra. Le camere digitali sul mercato ormai offrono prestazioni elevate e questo, abbinato ai numerosi software commerciali, fa sì che un numero sempre più elevato di utenti differenti possano applicare questa tecnica nel loro settore.



▲ 11. Classificazioni del rilievo fotogrammetrico

¹³ GOMARASCA M. A., *Elementi di geomatica*, Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano, 2004, p. 79.

¹⁴ FARINA S., GALLEANO A., *Fotogrammetria ed HBIM: un percorso per la conoscenza di Villa Sarmatoris a Salmour*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. F. CHIABRANDO, M. LO TURCO, M. NARETTO, Politecnico di Torino, 2016, p. 234.

¹¹ GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M., *op. cit.*, in: *Archeologia e Calcolatori*, n. 22, 2011.

¹² GUIDI G., RUSSO M., BERARDIN A., *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, McGraw-Hill, Milano, 2010, p. 17

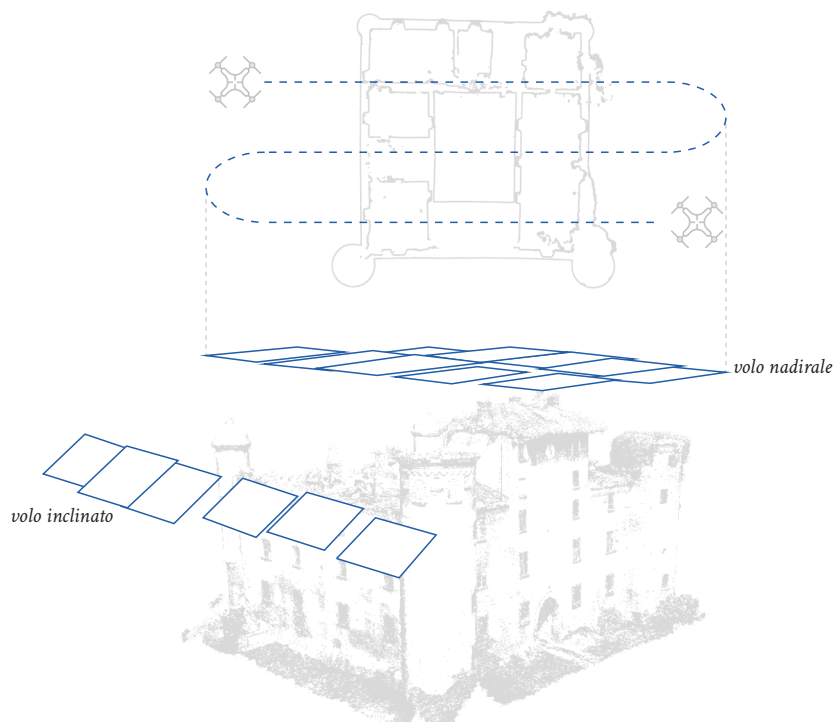
Prima della fase di acquisizione fotografica è importante organizzare il progetto di presa: buone condizioni di luce ed un adeguato numero di fotografie ne determinano la buona riuscita; fotografare con un certo ordine il manufatto e mantenere la stessa distanza focale, senza dover per forza inquadrarlo per intero (basta avere lo stesso punto ripreso da almeno 2 riprese consecutive).

2.2 FOTOGRAMMETRIA AEREA

Un altro campo di applicazione è quello aereo, che sta avendo uno sviluppo maggiore. Questo è molto utile quando si tratta di rilevare grosse porzioni di territorio per la realizzazione di mappe e cartografie, motivo per cui è nato principalmente. Considerando la

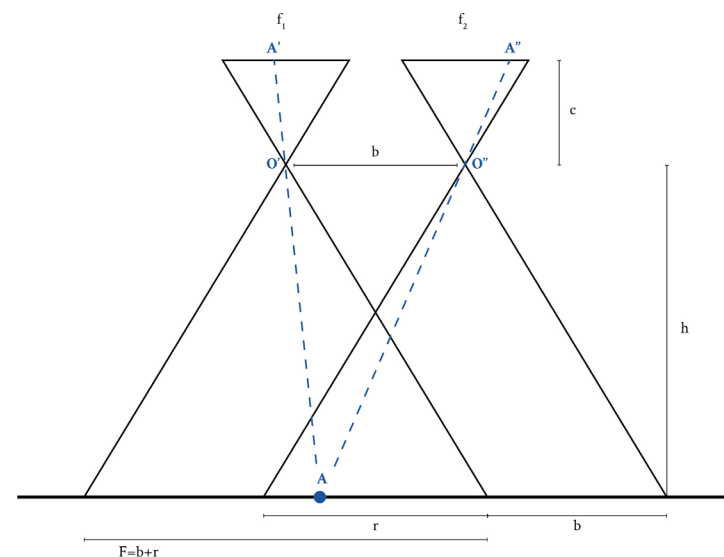
crescente produzione di tecnologie maneggevoli a prezzi accessibili e grazie alla rapidità e alla semplicità di ripresa, il campo di applicazione aereo è attualmente utilizzato anche in ambito civile ed architettonico. Risulta altrettanto utile specialmente in caso di rilevazione di manufatti difficilmente accessibili da terra, come ad esempio la valutazione di danni, la mappatura di rischi ambientali (incendi, alluvioni..) nonchè le misure atmosferiche.

Le piattaforme più usate ai giorni nostri sono quelle non convenzionali: gli UAV (*Unmanned Aerial Vehicles* o *Aeromobili a Pilotaggio Remoto*), comunemente conosciuti come droni, ma che possono essere anche di altro tipo. In base al loro utilizzo sono classificati in tre categorie principali: *Tactic*, *Strategic* e *Special*



12. Tipi di voli

In alto uno schema del volo nadirale tipo. I fotogrammi ripresi lungo il medesimo percorso rettilineo definiscono una strisciata. L'insieme di strisciate è denominato *blocco di strisciate*.



13. Schema di presa stereoscopica di fotogrammi o immagini aeree.

Il punto A viene visualizzato sia dal punto di presa O' (A') che dal O'' (A''). Questo ne può determinare le caratteristiche tridimensionali. (rielaborazione dell'autore da: GOMARASCA M. A., *Elementi di geomatica*, Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano, 2004, p. 91)

Purpose. Queste sono suddivisibili a loro volta in sottocategorie in base alle caratteristiche e prestazioni svolte: quelli impiegati per il rilievo fotogrammetrico sono prettamente *Tactic Micro* e *Mini*.

Questi possono presentare un multi-rotore (serie di eliche) per rilievi modesti o ad ala fissa, per aree più estese o ad alte altitudini.

Le camere integrate o incorporabili permettono di acquisire un gran numero di immagini in poco tempo.

Il volo, che sia esso manuale (con radiocomando) o programmato, deve seguire determinate regole. Come per quello terrestre, ogni porzione da rilevare dev'essere fotografata da due punti in sequenza, in modo da avere lo stesso elemento in almeno due fotogrammi vicini. Vengono eseguiti principalmente due tipi di voli: nadirale e inclinato [fig. 12]. Il primo segue

delle direzioni rettilinee, parallele fra loro, scattando fotografie in successione ad intervalli regolari; il secondo segue traiettorie circolari, con l'obiettivo puntato verso il centro dell'oggetto.

3 STEREOSCOPIA

Il principio di base del metodo fotogrammetrico si fonda sulla definizione di prospettiva centrale: *un procedimento geometrico che trasforma una realtà 3D in una realtà 2D.*¹⁵

Comunque sia disposto l'oggetto nell'immagine, la proiezione centrale genera una corrispondenza biunivoca tra i punti oggetto (3D) ed i punti immagine (proiezioni 2D).

Da qui il principio della stereoscopia [fig. 13]: se un elemento viene ripreso in almeno due immagini prese da punti differenti, queste possono essere sovrapposte per ricavare in-

¹⁵ SPANÒ A. T., *dispense Workshop Metodi 3D Imaging and ranging per la documentazione del patrimonio*, Politecnico di Torino, 2019.

formazioni metriche e 3D sull'oggetto. Esattamente come funziona l'occhio umano: la visione dello stesso oggetto da due punti vicini ma differenti danno il senso di profondità.

La terza dimensione degli oggetti, cioè il senso della profondità intesa come altezze o depressioni dell'oggetto osservato, si può ottenere solo attraverso la visione binoculare. [...] In Fotogrammetria la presa di una stessa scena da due punti di vista, o centri di proiezione, diversi consente, sotto certe condizioni, di ottenere una visione tridimensionale, detta stereoscopica, dell'oggetto osservato.¹⁶

4 FASI DEL RILIEVO

Le fasi del rilievo fotogrammetrico sono fondamentalmente tre:

- *Pres*a (acquisizione delle immagini);
- *Orientamento* (determinazione dei parametri che stabiliscono le relazioni tra punti oggetto ed immagine);
- *Restituzione* (ricostruzione delle dimensioni e forma dell'oggetto ripreso).¹⁷

Sull'acquisizione ci sono alcune considerazioni da fare. Prima di svolgere i lavori si dovrà fare un progetto delle prese. Bisogna innanzitutto conoscere la scala media del fotogramma, che essendo originalmente in prospettiva, non ha una scala definita. Questo si può calcolare con:¹⁸

$$1/S = f/D$$

$1/S$ = scala fotogramma

f = distanza focale obiettivo

D = distanza media della superficie

Altri fattori importanti sono la percentuale di sovrapposizione da garantire e che tipo di risoluzione ci si deve aspettare. Per questi viene espresso il concetto di GSD (*Ground Sample Distance*), la distanza tra i centri di due pixel consecutivi [fig. 14]. Si calcola geometricamente con:¹⁹

$$d/D = f/H \quad \text{quindi} \quad \text{GSD} = (d \cdot H)/f$$

d = dimensione pixel su sensore

D = dimensione pixel su oggetto (GSD)

f = distanza focale

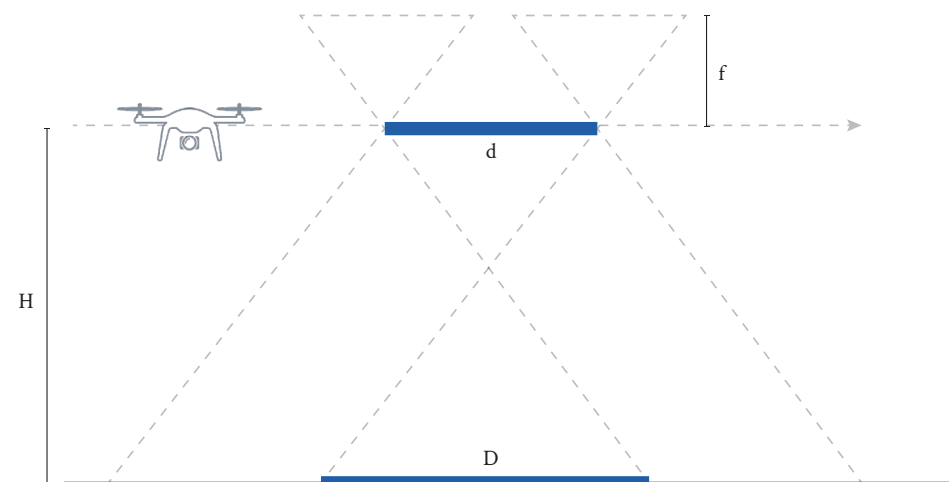
H = distanza di presa

I parametri di orientamento, invece, sono due e vengono affrontati separatamente:

- *orientamento interno*. Stabilisce il sistema di riferimento immagine e definisce la posizione dei centri di proiezione;
- *orientamento esterno*. Determina la posizione dei centri di presa ed il sistema di riferimento oggetto.

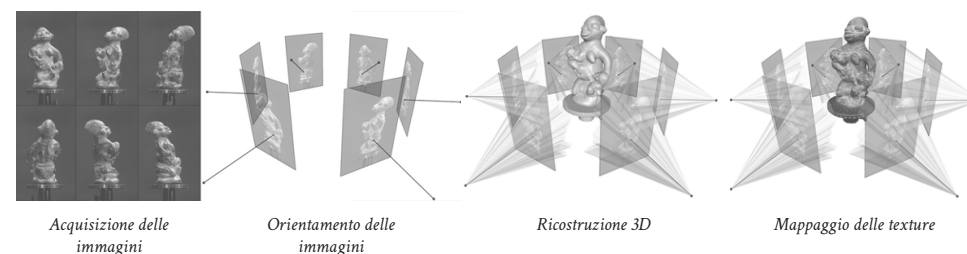
Per quanto riguarda la fase di restituzione, attualmente vengono utilizzati i sistemi SfM (*Structure from Motion*). Con questi si possono eseguire le fasi di orientamento ed il calcolo di un modello denso di punti. [fig. 15]

I software di fotogrammetria digitale integrano oggi algoritmi e processi derivanti da altre discipline, in particolare dalla computer vision, che permettono di stimare la posizione 3D di punti rappresentati in molteplici immagini, ricostruendo la geometria dell'oggetto rappresentato (structure) e la posizione delle prese (motion) anche quando non si è in possesso di definiti parametri di calibrazione della camera.²⁰



▲ 14. Schema di calcolo della GSD

(rielaborazione dell'autore da: SPANÒ A. T., dispense Workshop "Metodi 3D Imaging and ranging per la documentazione del patrimonio", Politecnico di Torino, 2019, p. 54)



▲ 15. Fasi di elaborazione dei sistemi SfM

(rielaborazione dell'autore da: SPANÒ A. T., dispense Workshop "Metodi 3D Imaging and ranging per la documentazione del patrimonio", Politecnico di Torino, 2019, p. 19)

¹⁶ GOMARASCA M. A., *Elementi di geomatica*, Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano, 2004, p. 90

¹⁷ SPANÒ A. T., dispense Workshop *Metodi 3D Imaging and ranging per la documentazione del patrimonio*, Politecnico di Torino, 2019

¹⁸ FARINA S., GALLEANO A., *Fotogrammetria ed HBIM: un percorso per la conoscenza di Villa Sarmatoris a Salmour*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. F. CHIABRANDO, M. LO TURCO, M. NARETTO, Politecnico di Torino, 2016, p. 245

²⁰ *ibid*

I sistemi a scansione laser costituiscono una generazione di strumenti di misura recente che grazie all'elevato grado di automatismo consentono di acquisire in tempi molto brevi la posizione di un elevato numero di punti.²⁰

Al giorno d'oggi, la velocità e la capacità di acquisire, in tempo breve, un elevato numero di informazioni, ha reso i sistemi a scansione laser un punto di partenza per le operazioni di rilievo architettonico. E' bene, però, sottolineare che tale metodo non sostituisce i già consolidati metodi di acquisizione di dati, come la topografia e la fotogrammetria, bensì li affianca.

Questi sistemi di scansione laser possono essere suddivisi in due grandi categorie:

- sistemi distanziometrici
- sistemi triangolari.

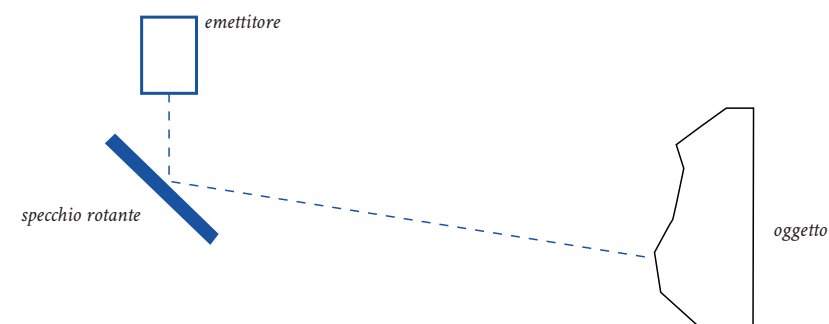
I primi, utilizzano un principio di misurazione si-

mile alle stazioni totali; ogni punto è rilevato mediante misura diretta di due angoli ed una distanza²¹. Le coordinate tridimensionali del punto vengono convertite da sferiche a cartesiane, in un sistema di riferimento solidale allo strumento²².

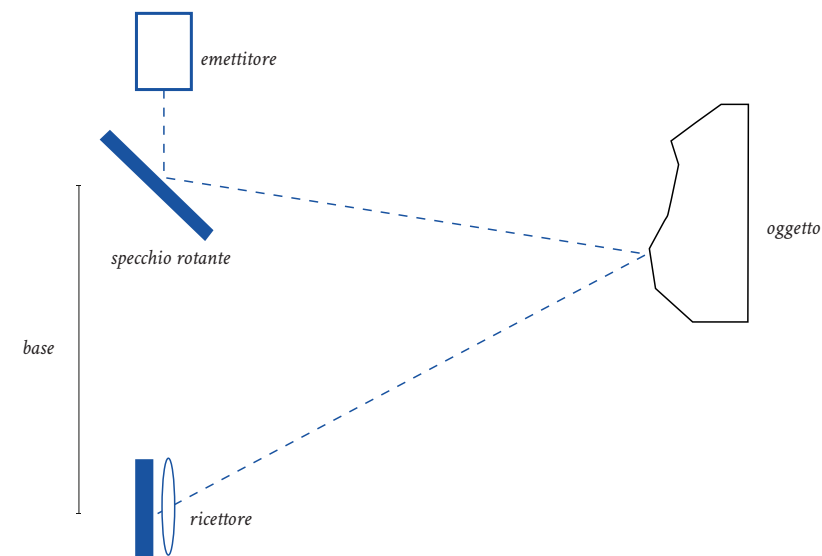
Questa tecnica, conosciuta anche sotto il nome di LIDAR (*light detection and ranging*) è composta da sensori che sono capaci di emettere impulsi laser e da sensori che riescono a ricevere e registrare una risposta. Inoltre, grazie all'aggiunta di apparecchi fotografici digitali sono capaci anche di acquisire l'*informazione radiometrica* dell'oggetto rilevato.²³ [fig. 16]

I sistemi triangolari, invece, agiscono su un campo molto ridotto, favorendo una maggiore precisione del rilievo. Utilizzano il principio di misura della Fotogrammetria, nella quale il punto da identificare *viene rilevato come l'intersezione di due rette di direzione nota nello spazio.*²⁴ [fig. 17]

Una volta definito il sistema di laser scanning da utilizzare - che verrà scelto in base al grado di precisione che si vorrà ottenere e alla grandezza dell'oggetto da rilevare - si procede con la scansione laser che, come risultato, ci darà una nuvola di punti.



▲ 16. Sistemi a scansione distanziometrici



▲ 17. Sistemi a scansione triangolari

²⁰ SPANÒ A. T., dispense Workshop "Metodi 3D Imaging and ranging per la documentazione del patrimonio", Politecnico di Torino, 2019.

^{21,22} *ibid*

²³ SACERDOTE F., TUCCI G., *Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio*, ALINEA editrice S.r.l, Firenze, 2007.

²⁴ *ibid*

La fase di rilievo è avvenuta in data 17/04/19. Nella prima parte della giornata è stata eseguita la registrazione dei vertici 100, 200, 300, 400 così da definire la rete di inquadramento. In seguito, è stata realizzata la materializzazione a terra, e sull'edificato di alcuni marker utili per il rilievo topografico e per il rilievo tramite laser scanner LIDAR. Infine, sono state redatte monografie di ogni singolo vertice d'inquadramento e i necessari eidotipi di rappresentazione del castello.

Una volta definiti i markers si è proceduto al loro rilievo celerimetrico attraverso l'utilizzo di stazione totale.

La seconda parte della giornata è stata caratterizzata da scansioni laser e dal rilievo fotogrammetrico, sia aereo, mediante UAV, che terrestre, attraverso l'impiego di una macchina fotografica.

.1 RETE D'INQUADRAMENTO

Come accennato poc'anzi, i vertici 100, 200, 300, 400 definiscono la rete d'inquadramento principale utile per le operazioni di rilievo. Il numero di vertici è stato scelto in modo tale

da inglobare all'interno di una rete l'intero edificato.

Per il rilevamento di questi vertici ci siamo avvalsi dell'uso della stazione GPS. L'uso di questo metodo ha risolto le difficoltà che si sono riscontrate in campagna le quali non favorivano l'intervisibilità completa tra i quattro vertici che circondavano il castello. Gli unici vertici che favorivano un rilevamento diretto di angoli e distanze erano i vertici 100, 200 e 300. [fig. 18]

.2 RILIEVO DI DETTAGLIO

Una volta posizionati i marker a terra e sulle facciate del Castello, si è proseguito con il rilievo celerimetrico, noto anche come "rilievo di dettaglio" eseguito con stazione totale.

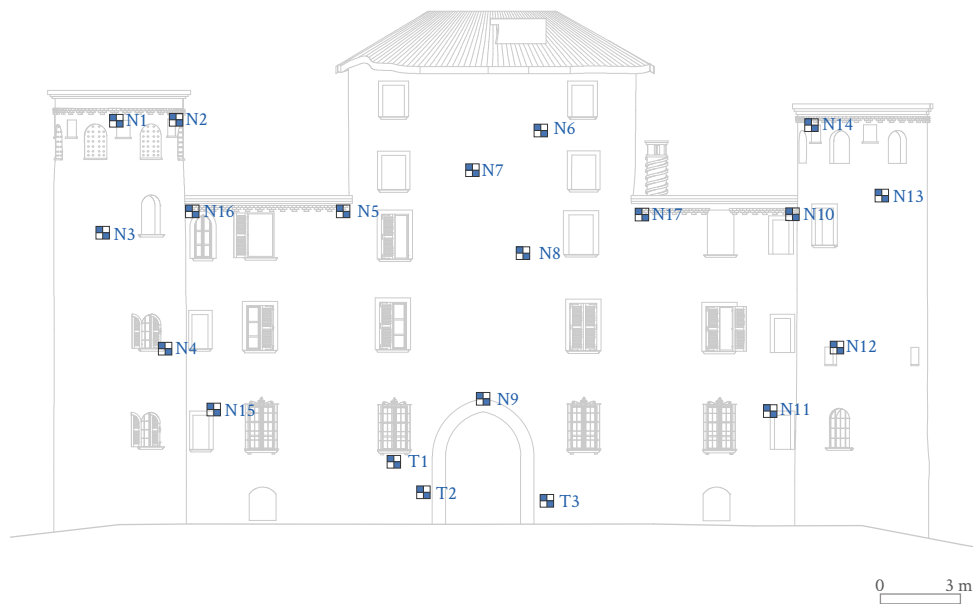
Nella fase di misurazione, ad ogni marker viene associato un rispettivo codice al quale corrisponderà una determinata coordinata nella successiva fase di elaborazione dati. I marker presenti nei prospetti hanno una numerazione che va dal N1 al N50; per quelli presenti nel terreno, invece, la numerazione va dal M1 al M15.

Per favorire un loro rapido riconoscimento sono stati redatti una monografia planimetrica e quattro eidotipi raffiguranti i vari prospetti nel quale sono stati segnalati e nominati i rispettivi markers. [fig. 19, 20, 21, 22]



100	390870.768; 4957917.901; 254.309	MV7	390856.417; 4957941.563; 254.244
200	390904.728; 4957913.254; 254.989	MV8	390848.852; 4957962.355; 254.490
300	390925.846; 4957954.775; 253.956	MV9	390924.928; 4957944.061; 253.910
400	390874.505; 4957986.637; 303.283	MV10	390917.544; 4957964.506; 254.028
MV1	390888.114; 4957953.898; 256.139	MV11	390905.161; 4957968.596; 254.590
MV2	390895.316; 4957931.590; 255.142	MV12	390891.713; 4957980.258; 254.791
MV3	390906.521; 4957920.948; 254.876	MV13	390877.075; 4957979.265; 254.583
MV4	390913.951; 4957935.833; 254.655	MV14	390848.849; 4957962.354; 254.490
MV5	390884.798; 4957921.967; 254.495	MV15	390856.405; 4957941.563; 254.240
MV6	390865.740; 4957913.171; 254.381		

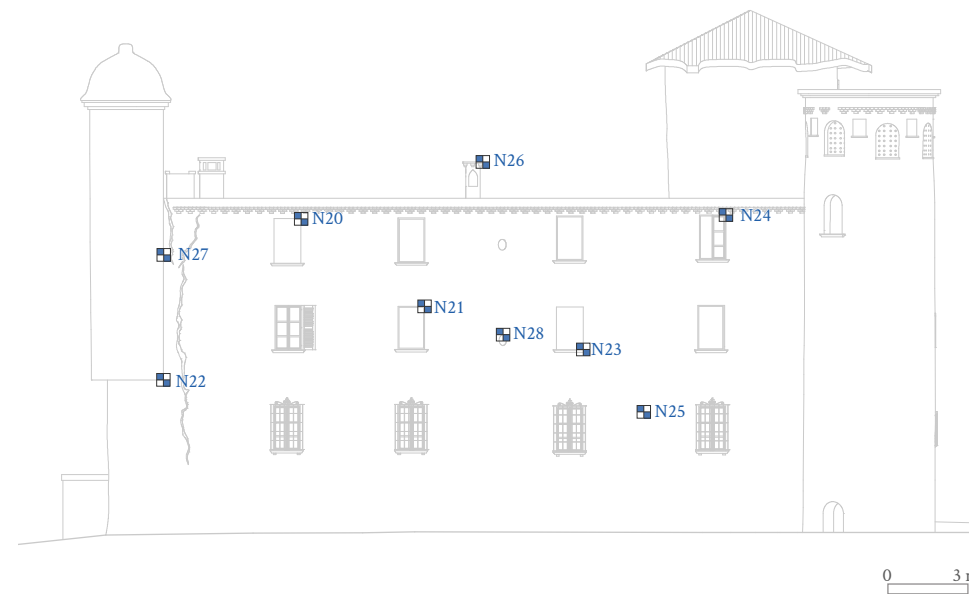
▲ 18. Rete di inquadramento e markers a terra
In alto la monografia, in basso la tabella con le coordinate cartesiane dei punti.



<i>T1</i> 390890.215; 4957939.011; 257.660	<i>N8</i> 390893.692; 4957940.986; 265.731
<i>T2</i> 390891.628; 4957939.768; 256.975	<i>N9</i> 390892.927; 4957940.394; 260.770
<i>T3</i> 390894.488; 4957941.136; 256.304	<i>N10</i> 390903.621; 4957945.507; 267.344
<i>N1</i> 390882.234; 4957931.482; 271.035	<i>N11</i> 390902.896; 4957945.177; 259.716
<i>N2</i> 390883.630; 4957933.587; 271.017	<i>N12</i> 390906.295; 4957943.475; 262.273
<i>N3</i> 390880.922; 4957931.231; 266.789	<i>N13</i> 390906.652; 4957943.564; 268.725
<i>N4</i> 390883.618; 4957932.960; 262.168	<i>N14</i> 390905.223; 4957943.772; 270.769
<i>N5</i> 390888.247; 4957938.257; 267.453	<i>N15</i> 390883.814; 4957935.851; 259.711
<i>N6</i> 390894.760; 4957941.686; 270.387	<i>N16</i> 390883.133; 4957935.514; 267.636
<i>N7</i> 390892.296; 4957940.392; 268.765	<i>N17</i> 390898.330; 4957943.281; 267.374

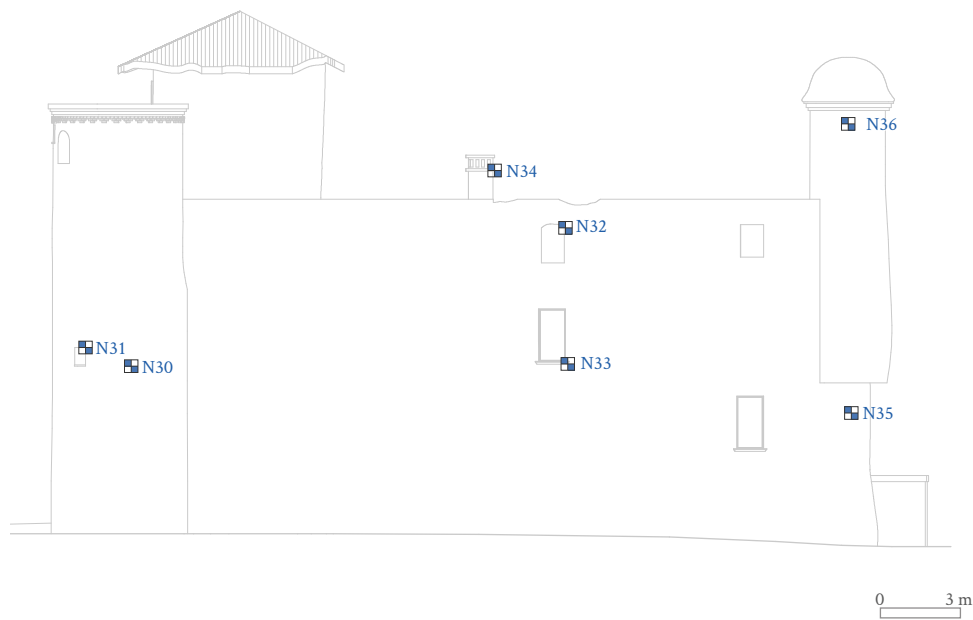
^ 19. Eidotipo prospetto sud

In basso la rispettiva tabella con le coordinate cartesiane di ogni marker



<i>N20</i> 390872.554; 4957952.960; 267.110	<i>N25</i> 390878.247; 4957941.695; 259.959
<i>N21</i> 390874.599; 4957948.849; 263.778	<i>N26</i> 390875.440; 4957946.884; 269.312
<i>N22</i> 390870.659; 4957926.902; 257.123	<i>N27</i> 390870.252; 4957957.950; 267.044
<i>N23</i> 390877.291; 4957943.538; 262.112	<i>N28</i> 390875.804; 4957946.417; 264.210
<i>N24</i> 390879.626; 4957938.861; 267.254	

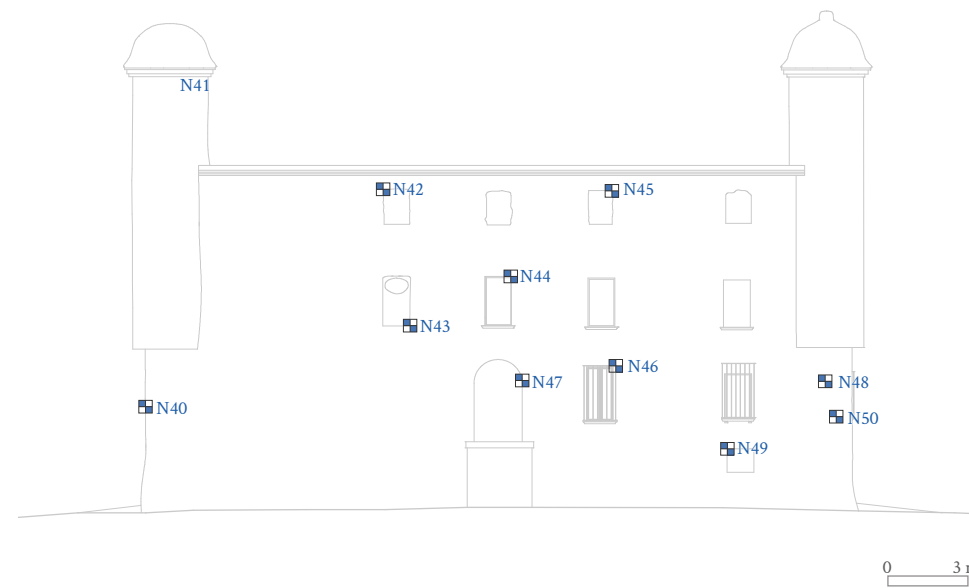
^ 20. Eidotipo prospetto ovest



<i>N30</i>	390907.991; 4957947.558; 261.491	<i>N34</i>	390899.481; 4957958.269; 268.983
<i>N31</i>	390908.600; 4957945.694; 262.285	<i>N35</i>	390893.699; 4957970.043; 259.701
<i>N32</i>	390898.323; 4957960.676; 267.005	<i>N36</i>	390894.196; 4957969.580; 271.081
<i>N33</i>	390898.281; 4957960.708; 261.774		

^ 21. Eidotipo prospetto est

In basso la rispettiva tabella con le coordinate cartesiane di ogni marker



<i>N40</i>	390893.275; 4957970.916; 258.414	<i>N46</i>	390877.344; 4957963.420; 260.427
<i>N41</i>	390891.403; 4957969.951; 271.000	<i>N47</i>	390880.544; 4957964.837; 259.764
<i>N42</i>	390885.301; 4957967.132; 267.054	<i>N48</i>	390872.716; 4957961.292; 263.744
<i>N43</i>	390884.376; 4957966.694; 261.808	<i>N49</i>	390870.307; 4957960.036; 259.670
<i>N44</i>	390880.787; 4957965.081; 263.785	<i>N50</i>	390873.705; 4957961.555; 257.108
<i>N45</i>	390877.434; 4957963.579; 266.980	<i>N51</i>	390869.843; 4957959.793; 258.723

^ 22. Eidotipo prospetto nord

3 SCANSIONI LASER

Una volta definiti i marker utili per il processo di rilievo con tecnica LiDAR, la fase di scansioni laser può partire.

Per il rilevamento completo del castello sono state eseguite 13 scansioni [fig. 23] con il Laser Scanner Faro. Il posizionamento del laser scanner deve seguire un ordine ben preciso, e la distanza da mantenere rispetto all'elemento da rilevare deve rimanere costante. Questo procedimento fa sì che si crei un sovra-campionamento delle scansioni, utile per distribu-

ire l'errore di misurazioni su tutte le rilevazioni eseguite. Inoltre, per la fase di elaborazione dei dati il laser scanner deve essere disposto in posizioni tali da poter inquadrare almeno due target e in modo tale che gli stessi marker appaiano in più scansioni diverse. Queste sovrapposizioni, ci permettono, perciò, di ottenere un maggiore grado di completezza nel rilievo architettonico. Tale procedura non necessita la presenza dell'operatore e per ottenere un ottimo risultato è preferibile che nessuna persona circoli nell'area circostante alla scansione.



^ 23. Posizionamento del laser scanner

4 RILIEVI TERRESTRI ED AEREI

Parallelamente al rilievo laser sono stati eseguiti rilievi fotogrammetrici di tipo terrestre ed aereo.

Nel primo si è optato per l'utilizzo di una Canon EOS 5DS R con una lunghezza focale di 25 mm ed un rapporto focale costante di $f/11$. Sono state, quindi, realizzate 135 foto in sequenza, partendo dal prospetto sud dell'edificio e continuando in senso orario, mantenendo un percorso circolare uniforme, puntando sempre verso il centro del manufatto. Per ogni prospetto sono state riprodotte foto su due livelli per poter catturare l'intera struttura da una distanza ravvicinata, cercando di riprendere la stessa porzione da due riprese successive, in modo tale da avere punti omologhi in tutte le foto.

Le immagini *raw* risultanti sono state in seguito ridotte al formato *.jpeg* con risoluzione massima di 8688 x 5792 pixel.

Il rilievo aereo, invece, è stato realizzato con il drone DJI Phantom 4 Pro, un dispositivo UAV di peso 1388 g e dotato di una camera FC6310 con sensore CMOS 1" (13.2 x 8.8 mm) e 20 MP. L'obiettivo ha un campo visivo di 84° e lunghezza focale 8.8 mm, questo permette di realizzare immagini e video in alta definizione. Il percorso del drone è stato compiuto manualmente attraverso un radiocomando collegato allo smartphone, che di norma raggiunge una distanza massima di trasmissione di 3.5 km.

È stato quindi fatto un progetto di presa per definire meglio le sovrapposizioni e la risoluzione finale dell'elaborato. Per fare ciò è stato calcolata l'altezza di volo tramite il GSD spiegato precedentemente:

$$\text{GSD} = (d \cdot H)/f \quad \text{quindi} \quad H = (\text{GSD} \cdot f)/d$$

Abbiamo detto che la scala dell'elaborato finale scelta è a 1:50, a cui corrisponde un livello tolleranza di 1 cm. La GSD è al massimo uguale alla metà: 0.5 cm. La dimensione del pixel è di 0.00241228 mm, mentre la lunghezza focale di 8.8. Detto ciò, l'altezza di volo sarà di:

$$H = (5 \cdot 8.8) / 0.0024 = 18.24 \text{ m}$$

Definita l'altezza bisognerà stabilire l'avanzamento, ovvero la distanza tra i centri di presa. Questo perché deve esserci una certa percentuale di sovrapposizione tra le immagini, in modo da rendere più immediata l'elaborazione del software SfM. Decidiamo di avere almeno una sovrapposizione dell'80%, l'avanzamento in tal caso sarà:

$$\begin{aligned} \text{Avanzamento} &= (1 - 0.8) \cdot (ls/f) \cdot H = \\ &= 0.2 \cdot 8.8/8.8 \cdot 18 \cdot 240 = 3.65 \text{ m} \end{aligned}$$

ls = lato corto sensore
 f = distanza focale
 H = distanza di presa

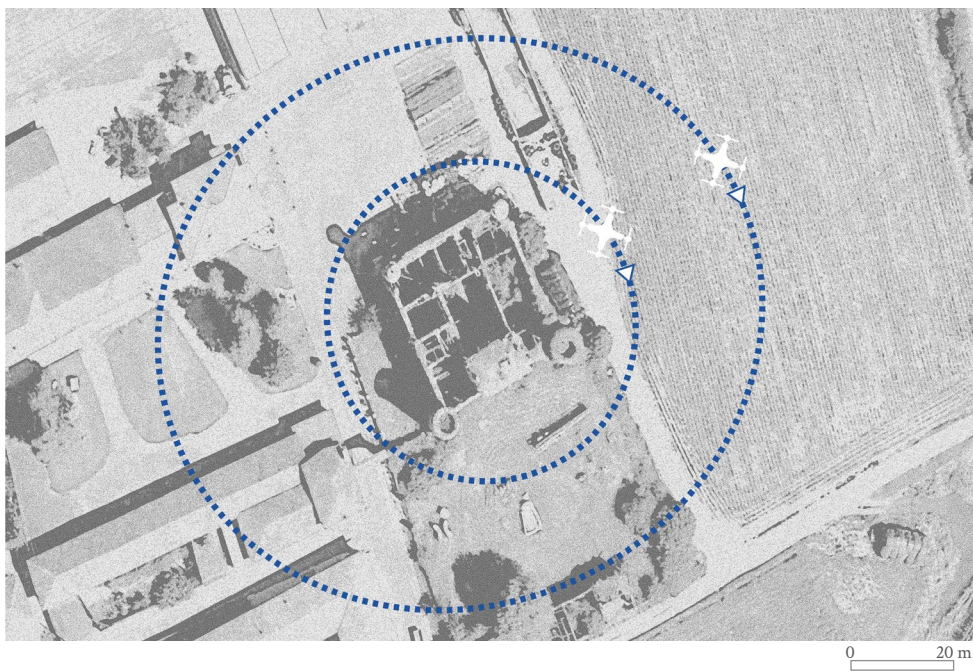
La distanza tra le strisciate parallele, invece, sarà:

$$\begin{aligned} D &= (1 - 0.8) \cdot (Ls/f) \cdot H = \\ &= 0.2 \cdot 13.2/8.8 \cdot 18 \cdot 240 = 5.47 \text{ m} \end{aligned}$$

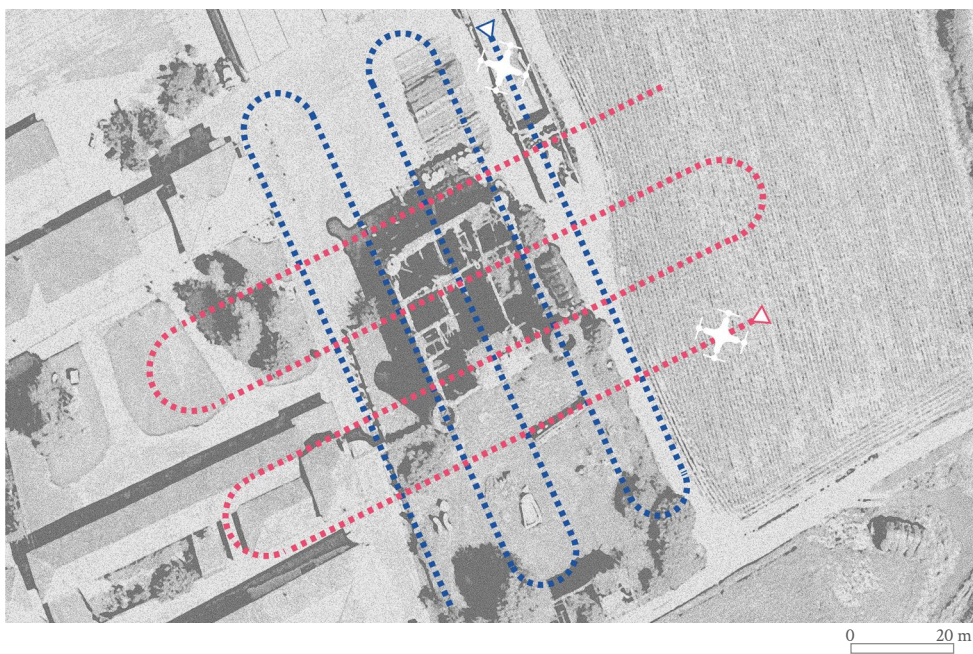
Ls = lato lungo sensore

Son state state quindi realizzate foto nadirali [fig. 24] ed inclinate di 45° [fig. 25] intorno al manufatto, per un totale di 283 immagini [fig. 26] in formato *.jpeg* di 5472 x 3648 pixel.

Le foto terrestri e aeree, oltre ad aver presenti gli stessi target (che siano essi sull'edificio, a terra o naturali), sono anche state acquisite praticamente in contemporanea, con la stessa luce e condizione meteorologica. Questo permette di elaborare i dati in un unico processo.

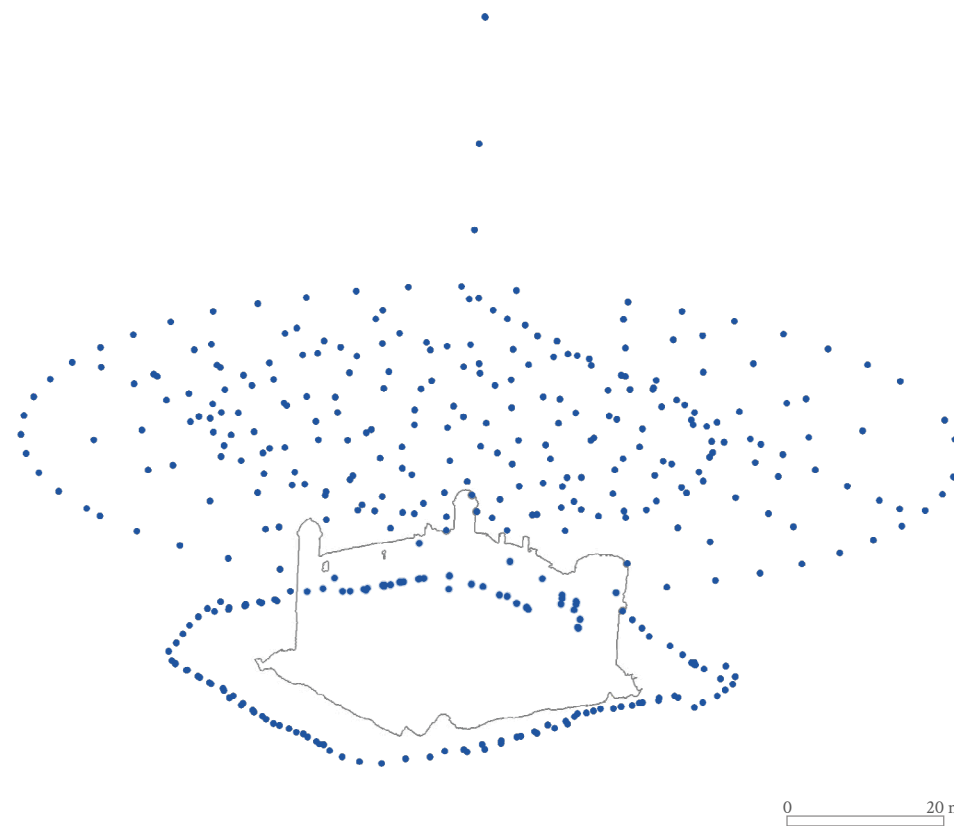


^ 24. Percorsi inclinati del drone



^ 25. Percorsi nadirali del drone

Il primo tragitto (in blu) è stato ripercorso in senso contrario



^ 26. Posizioni delle camere

Una volta conclusa la parte di acquisizione dati che, come risultato, ci ha fornito il rilievo topografico classico, le scansioni laser e le riprese fotografiche aeree e terrestri del castello, abbiamo iniziato con la parte di elaborazione dati. Sotto la supervisione dell'equipe del laboratorio di geomatica siamo riusciti ad elaborare i dati ricavati in campagna, e così da ottenere una nuvola di punti utile per riuscire a creare un modello 3D del castello di Bonavalle.

Per elaborare i dati ottenuti dalle scansioni laser LiDAR ci siamo serviti del programma Faro Scene, e per i dati ricavati dalla fotogrammetria aerea che terrestre, il programma Agisoft Metashape.

.1 ELABORAZIONI DATI LIDAR

Per ottenere una nuvola di punti utile per la creazione di un modello 3d ci siamo valse dell'aiuto del software Faro Scene.

I file ottenuti dal laser scanner hanno una estensione *.fls*. Una volta importati nel *Workspace*, le scansioni vengono rappresentate

da una icona a forma di nuvola. Per poter concludere l'azione di caricamento, vicino ad ogni apposita nuvola deve essere presente un riquadro verde, che compare una volta utilizzato il comando *carica tutte le scansioni*.

Caricate le tredici scansioni e utilizzando la modalità di visualizzazione *vista corrispondenza*, si è proseguito con il loro posizionamento manuale. Lo scopo di questo processo è quello di ricomporre in linea di massima il castello rilevato, così da facilitare le operazioni di calcolo del software. Per procedere con la seguente operazione, deve essere apportata una verifica iniziale. Questo controllo viene chiamato *registrazione della scansione*, che in questo step viene eseguito da *nuvola a nuvola* e ci fornisce l'accuratezza del primo allineamento manuale delle scansioni. [fig. 27]

Eseguito l'allineamento manuale delle scansioni e ricavato un esito positivo dalla prima verifica, si può procedere con la mappatura dei marker su ogni prospetto della nuvola di punti. Il loro riconoscimento avviene in

modo manuale ed è possibile solo dopo il caricamento di un file di formato *.csv* contenente le coordinate di ciascun punto misurato. Il riconoscimento di questi markers su ogni prospetto ci permetterà di georeferenziare in modo totale le nostre scansioni.

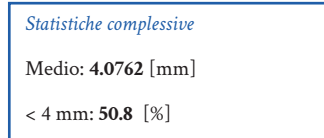
Una volta individuati tutti i marker sulla nuvola, anche questa fase si conclude con una verifica. La registrazione delle scansioni non verrà più effettuata da *nuvola a nuvola*, bensì basata da *target*. [fig. 28] L'analisi di questa verifica avviene riportando i valori ottenuti dalla *tensione dei target* con il grado di tolleranza della scala di rappresentazione che si vuole ottenere. Per i target che presentano valori che superano di molto questa tolleranza possono anche essere esclusi dal calcolo di registrazione.

Completata la fase d'allineamento da *target*, si può creare una vista 3D per visualizzare tutte

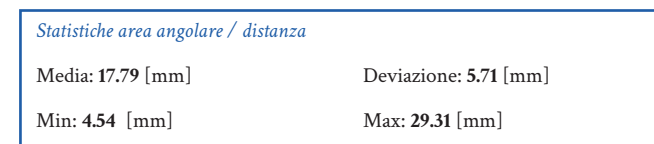
le scansioni del castello. [fig. 31, 32]

Dalla vista 3D è possibile notare una certa varianza di colore dovuta principalmente alla posizione del sole rispetto al punto di scansione, ma che non influisce in modo significativo sulle future elaborazioni della nuvola stessa.

L'esportazione della nuvola di punti può avvenire in un file unico o viceversa si può pensare di esportare la nuvola in file separati così da garantire una maggiore flessibilità nelle successive fasi di elaborazioni. Il formato del file scelto è stato l'.E57 che è leggibile da più piattaforme che gestiscono nuvole di punti.



▲ 27. Tensione dei punti
Registrata dopo la prima verifica da nuvola a nuvola



▲ 28. Tensione media tra i target

2. ELABORAZIONE DATI FOTOGRAMMETRICI

Per l'elaborazione dei dati fotogrammetrici (foto terrestri, aeree e dati delle misurazioni GPS e della stazione totale) è stato utilizzato il software SfM *Metashape*, conosciuto precedentemente con il nome di *Photoscan*, che permette appunto di realizzare modelli tridimensionali partendo da immagini.

Prima di inserire le immagini sono state applicate delle leggere modifiche (dove necessario) alla luminosità ed esposizione, col fine di mantenere un'uniformità visiva ed agevolare i successivi processi del software. La condizione meteorologica è stata favorevole, il cielo sereno ha fatto sì che fossero necessarie minime correzioni al contrasto delle acquisizioni. Inoltre l'acquisizione terrestre ed aerea è avvenuta praticamente nello stesso momento e non è stato necessario ripresentarsi sul posto in successive occasioni. Questo ha determinato un'omogeneità delle foto in entrambe le tecniche.

È importante non modificare mai la dimensione e l'orientamento delle immagini, poiché il programma estrapola le informazioni dalle foto per allinearle. In assenza di queste, utilizza valori standard che non sempre sono analoghi ai valori reali dell'immagine. Non è stata scartata alcuna foto; sono state considerate tutte idonee per esposizione, messa a fuoco e inquadratura del manufatto. Per avere un risultato più preciso e pulito, sono state anche applicate delle maschere sulle immagini, per evitare di ottenere, nel futuro modello, i contorni del cielo sulle estremità dell'edificio.

Si è scelto quindi di far elaborare al software tutte le foto contemporaneamente, avendo una buona macchina, non si è resa necessaria una suddivisione di queste in più gruppi

(*Chunk*). Un totale di 418 immagini, di cui:

- 135 terrestri realizzate con la EOS 5D,
- 283 aeree (nadirali ed inclinate di 45°) con il Phantom 4.

In fase di caricamento è opportuno cancellare eventuali coordinate delle immagini, perché queste sono state rilevate dai sensori delle camere, che non garantiscono un'elevata precisione.

E' stato eseguito, quindi, un primo allineamento automatico delle foto, in modo tale da trovare punti comuni e stabilire una posizione delle camere nello spazio.

Più tecnicamente, il programma prova a combinare i *Key points* (punti chiave 2D con variazione radiometrica) ed a portarli su un piano tridimensionale, trasformandoli in *Tie points*. Questo processo genera una nuvola sparsa, base su cui verrà poi realizzata quella densa, in cui è possibile notare le posizioni delle camere. Aprendo un'immagine si noteranno dei punti blu e bianchi: i primi sono i *Key points* diventati *Tie Points*, i secondi sono stati scartati dal modello.

Se il modello sembra seguire una corretta geometria e le camere hanno una posizione veritiera, si può passare alla georeferenziazione dei punti di dettaglio, inserendo le coordinate XYZ misurate dalla stazione totale dopo aver calcolato e compensato la rete topografica.

Dopodichè vanno posizionati manualmente i *marker*, che siano a terra, fissati sull'edificio o naturali, nelle foto.

Essendo un passaggio determinante per la nuvola densa, bisognerà fare un po' di selezione in base alla chiarezza ed interezza del *marker* rappresentato.

Si passa poi al controllo degli errori. Come già accennato per il LiDAR, la scala di dettaglio

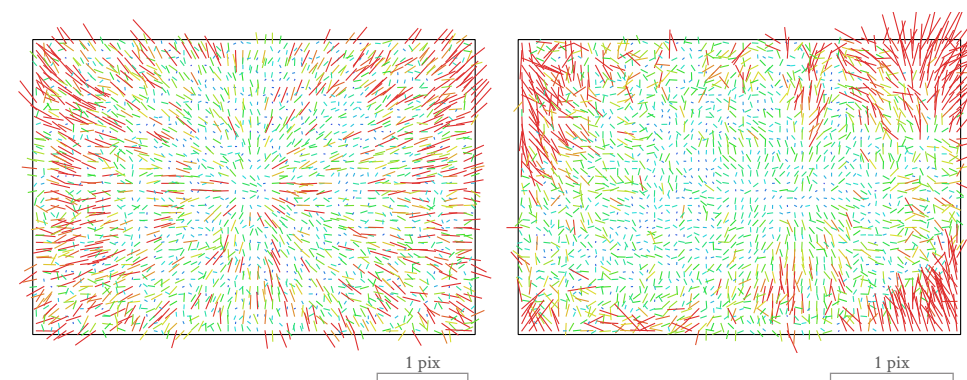
scelta è al 50, questo presuppone una tolleranza di 1 cm.

Dato lo stato di conservazione del manufatto e l'elevata presenza di vegetazione, abbiamo optato per mantenere i target con un errore fino a 2.5 cm. Dei 37 target considerati (su 64 originari) sono quindi rimasti:

- 1 terrestre (*T*), fissato manualmente sul prospetto Sud,
- 28 marker naturali (*N*) sull'edificio,
- 8 marker volo (*MV*) posizionati a terra.

Soddisfatti degli errori [fig. 30] si è passato alla realizzazione della nuvola densa. Questo processo è durato diversi giorni, ma ha permesso di ottenere una nuvola molto precisa e dettagliata. [fig. 33, 34]

Quindi, dopo una fase di pulizia del modello ottenuto, ed un'opportuna conversione, può essere finalmente importato in piattaforma BIM per la fase di modellazione.



▲ 29. Calibrazione delle camere

A sinistra la FC6310 (8.8 mm) del drone, a destra Canon EOS 5DS R (25 mm) della fotocamera. Le due immagini rappresentano i vettori errori delle distorsioni radiali e tangenziali combinate. Queste influiscono sulle differenze tra la proiezione reale ed ideale.

Ground Control Points	Check Points
Count: 37	Count: 6
X error: 0.65882 [cm]	X error: 0.459882 [cm]
Y error: 0.80122 [cm]	Y error: 0.482241 [cm]
Z error: 0.831525 [cm]	Z error: 1.47529 [cm]
XY error: 1.0373 [cm]	XY error: 0.66637 [cm]
Total: 1.32945 [cm]	Total: 1.6188 [cm]

▲ 30. Errori rilevati nei punti di appoggio



^ 31. Vista nuvola LiDAR (fuori scala)



^ 32. Vista nuvola LiDAR (fuori scala)

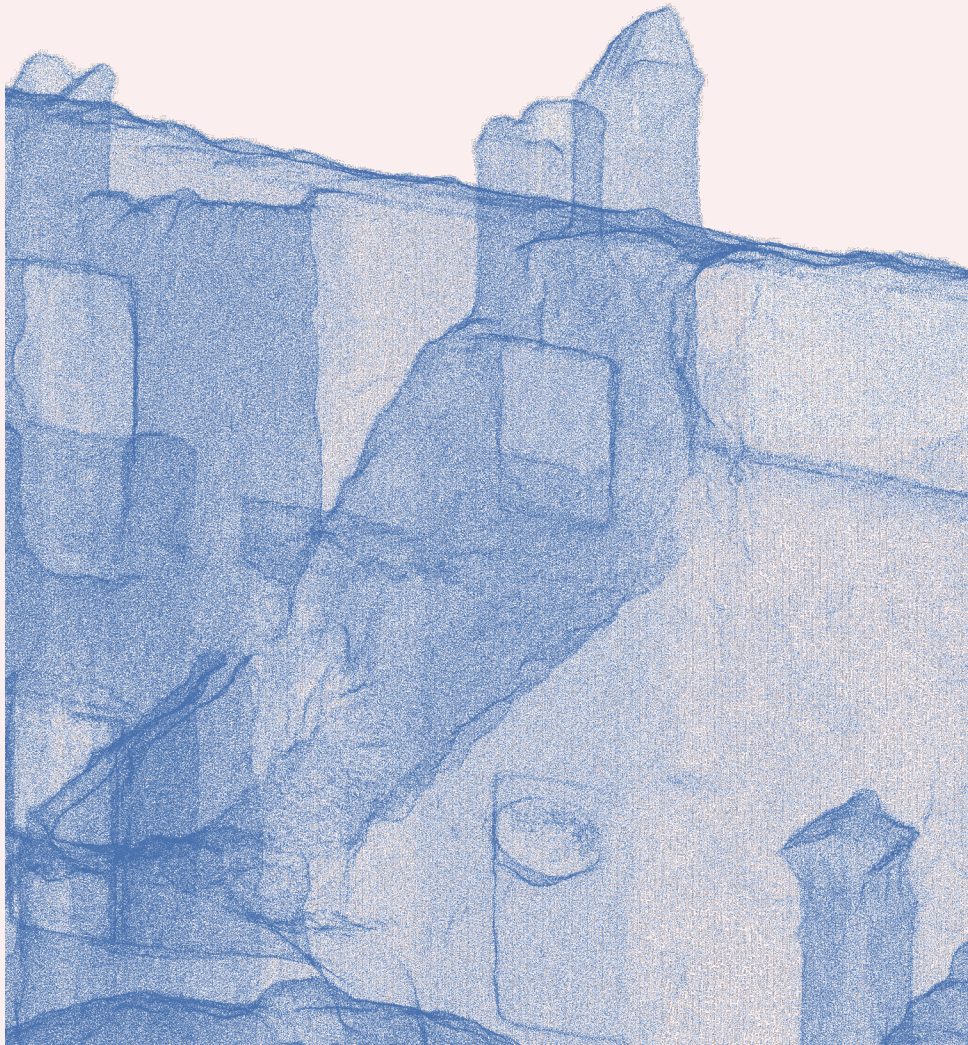


^ 33. Vista nuvola fotogrammetrica (fuori scala)



^ 34. Vista nuvola fotogrammetrica (fuori scala)

.7 CONCLUSIONI



In questo capitolo è stato trattato il processo attraverso cui si è ottenuto un rilievo dell'intero Castello, per mezzo di scansioni LiDAR e tecnica fotogrammetrica di tipo terrestre ed aereo.

Le fasi che ci hanno permesso di ottenere le nuvole di punti sono qui riassunte:

- Acquisizione dati, redazione rete di inquadramento e rete di dettaglio
- Scansione laser LiDAR
- Rilievo terrestre e aereo
- Rielaborazione dati acquisiti in campagna.

Una volta ottenute le nuvole di punti (una LiDAR e una Fotogrammetrica) le abbiamo utilizzate per ottenere gli ortofoto di tutti i prospetti e per ricavare un modello 3D in ambiente BIM che verrà utilizzato per le nostre future analisi.

Inoltre ci siamo serviti delle nuvole di punti per effettuare un confronto finale con il modello 3D ottenuto da *Revit*. Questa comparazione ci è stata utile per conoscere il grado di accuratezza dei modelli 3D realizzati.

4.

BIM

4.



.1 BUILDING INFORMATION MODELING

Uno degli obiettivi principali di questa tesi è la realizzazione di un modello del manufatto nello stato attuale, che possa essere comodamente utilizzato dai progettisti (attuali e futuri) in fase di consolidamento e di riqualificazione.

Vedremo più avanti come l'approccio con le tecniche LiDAR e di Fotogrammetria siano state fondamentali per la stesura di un modello preciso e veritiero, che possa essere, quindi d'aiuto nell'analisi puntuale dei dissesti e degradi.

Tutto questo può essere ottenuto in piattaforma BIM (*Building Information Modeling*) in tempi brevi e con un importante database d'informazioni annesso. Tale piattaforma sta rivoluzionando da tempo il modo in cui i progettisti - in particolare del settore Architettura-Edilizia-Costruzioni - praticano e documentano i loro lavori, cambiando persino la natura del processo progettuale.¹

.1 BIM IN POCHE PAROLE

Ma che cos'è effettivamente il BIM?

L'acronimo può assumere diversi significati in base al processo edilizio in cui viene utilizzato. Il NIBS (*National Institutes of Building Science*) lo definisce così:

*Building Information Modeling (BIM) is a digital representation of physical and functional characteristics of a facility. A BIM is a shared knowledge resource for information about a facility forming a reliable basis for decisions during its life-cycle; defined as existing from earliest conception to demolition.*²

In altre parole, è un insieme di processi utili ad ottenere e condividere informazioni tra utenti operanti sul medesimo progetto, ma su differenti livelli. I modelli realizzati hanno in comune un database di informazioni, ma possono avere tempi e scopi non uguali tra loro.³

¹ KENSEK K. M., NOBLE D. E., *Building Information Modeling. BIM in current and future practice*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2014, p. 3.

² *FAQ about the National BIM Standard-US*, nationalbimstandard.org.

³ OSELLO A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, p. 31.

E' importante specificare che si tratta di un modo di operare, non solo uno strumento. ⁴

2. CAD E BIM A CONFRONTO

Negli ultimi 60 anni abbiamo avuto un costante sviluppo tecnologico per quanto riguarda la scienza digitale. Attualmente è in corso una completa *transizione verso l'utilizzo di modelli 3D altamente strutturati*. ⁵

I CAD possono essere di due tipi: orizzontali o verticali.

I primi hanno un utilizzo più in larga scala ed ogni elemento non ha particolari informazioni. I secondi, più comunemente conosciuti come Object-Oriented (OOCAD), utilizzano solidi e superfici con annessi dati geometrici (*objects*) che permettono di ordinare oggetti per proprietà ed automatizzare alcune operazioni. Questo restringe un po' il dominio di utilizzo, avendo comandi specifici per quell'ambito.

Un importante passo in avanti è stato l'introduzione della geometria parametrica, con regole e variabili che hanno reso il modello più intelligente, permettendo di rappresentare relazioni tra oggetti: posizione delle porte e finestre nel muro, calcolo di superfici e volumi degli spazi (in relazione, per esempio, con elementi fisici). ⁶

Il BIM è un sistema OOCAD di ultima generazione; qui il modello contiene tutte le informazioni di costruzione: capitolato, particolari dell'edificio, dati economici e piani di lavoro. Tutto ciò incluso in un unico database che

rende il tutto più automatizzato. ⁷ Fondamentale è la possibilità di poter controllare individualmente un elemento senza dover poi modificare il tutto (come accade nel OOCAD standard): gli accorgimenti vengono aggiornati in tempo reale in tutte le viste dal programma.

Il valore aggiunto si palesa quindi nella possibilità di organizzare e condividere molteplici dati solitamente gestiti da applicativi differenti, spesso tra loro scollegati. Si obbliga di fatto a prendere quelle decisioni che, per mancanza di tempo o per uno scarso dialogo tra i progettisti, sono procrastinate alle fasi esecutive della progettazione, in cui modifiche sostanziali apportate al progetto risulterebbero eccessivamente onerose. ⁸

I suoi vantaggi si possono vedere chiaramente nel grafico elaborato da Patrick Mac Leamy [fig. 1], dove la progettazione BIM è rappresentata dalla prima curva: lo sforzo viene concentrato nelle fasi iniziali di progettazione, in questo modo le modifiche non saranno troppo dispendiose (in termini di costi e tempo).

Se il CAD ha cambiato il modo di disegnare, il BIM ha rivoluzionato il modo in cui viene realizzato un progetto.

3. INTEROPERABILITÀ

Oltre a poter essere adoperato da diversi utenti utilizzando il medesimo software, i programmi BIM permettono un dialogo simultaneo con altre figure professionali (più esterne al team principale).

Questo è il concetto di interoperabilità: iden-

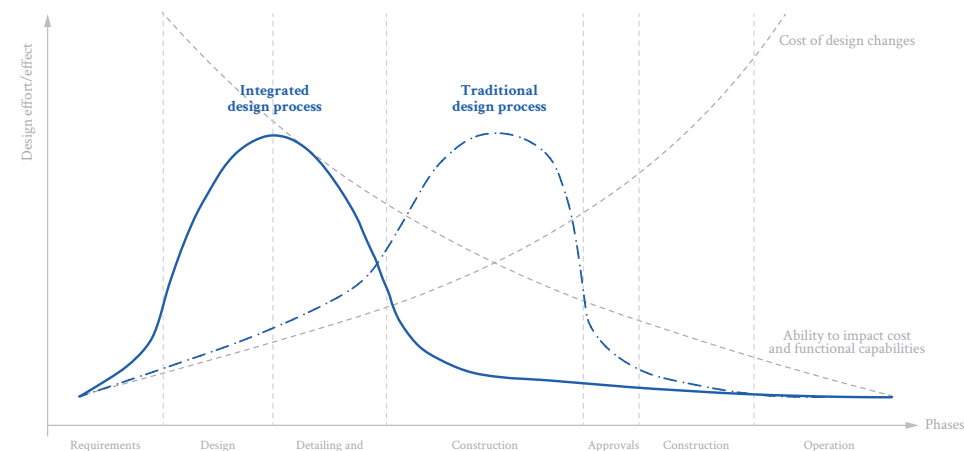
⁴ Cos'è l'IFC? Caratteristiche, vantaggi ed importanza della certificazione IFC, biblus.acca.it.

⁵ OSELLO A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, p. 25.

⁶ LO TURCO M., *Il bim e la rappresentazione infografica nel processo edilizio - dieci anni di ricerche e applicazioni*, ARACNE editrice S.r.l, Roma, 2015, p. 30-31.

⁷ OSELLO A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, p. 33.

⁸ LO TURCO M., *Il bim e la rappresentazione infografica nel processo edilizio - dieci anni di ricerche e applicazioni*, ARACNE editrice S.r.l, Roma, 2015, p. 35.



▲ 1. Curva di MacLeamy (fonte: Patrick MacLeamy, *presentazione*, HOK)

La prima curva rappresenta il processo integrato (BIM), la seconda (tratto-punto) quello tradizionale.

tifica il bisogno di un passaggio di dati tra applicazioni, con molteplici utilizzi, per contribuire congiuntamente al lavoro a portata di mano. ⁹ È il motivo principale per cui il BIM non è da considerarsi semplicemente uno strumento di modellazione.

I formati standard come .dxf, .dwg o .pdf non rispecchiano questo approccio, poiché non trasferiscono un sufficiente quantitativo di informazioni. Attualmente ciò può essere risolto con passaggi diretti tra le applicazioni (solitamente se non *in-built*, tramite *plug-in*) o tramite formati proprietari o pubblici, quali IFC o XML. ¹⁰ L'IFC consente lo scambio senza eccessiva perdita di dati o informazioni; si tratta di un:

modello di dati neutro, utile a raccogliere informazioni relative a tutto il ciclo di vita di un edificio e dei suoi impianti. ¹¹

4. LOD

Mentre per il CAD è facilmente distinguibile lo stato di avanzamento di progetto (le fasi sono piuttosto precise, dal concept fino alla pianta quotata), nel BIM possono sorgere dei fraintendimenti, se ciò non è esplicitato.

Per questo vengono introdotti i LoD, definiti anche da normativa.

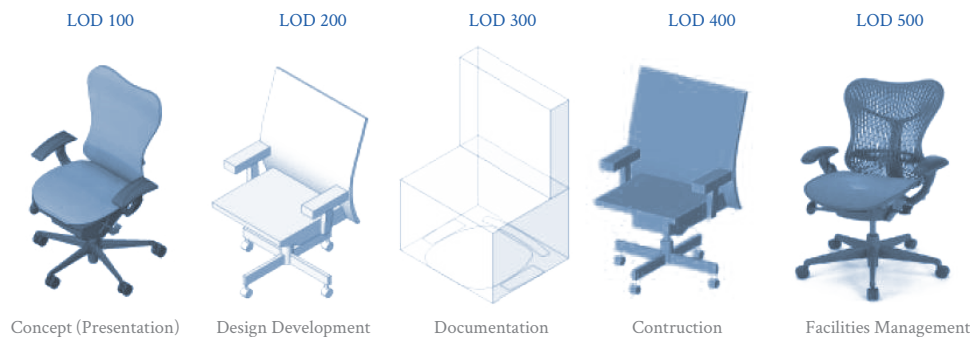
Con questo acronimo emergono due concetti: *Level of Development* (grado di attendibilità) o *Level of Detail* (livello di dettaglio). Col primo s'intende quanto siano affidabili le informazioni di un determinato oggetto, quindi quanto siano state studiate. Col secondo si parla semplicemente della quantità di informazioni incluse nell'oggetto.

Il protocollo dell'AIA (*American Institute of Ar-*

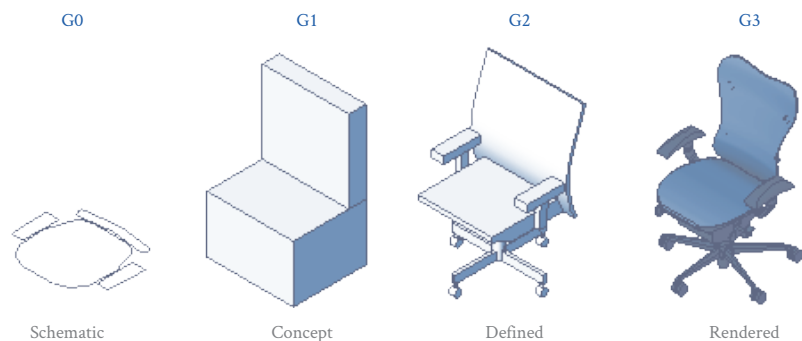
⁹ EASTMAN C., TEICHOLZ P., SACKS R., LISTON K., *BIM handbook. A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008, p.66.

¹⁰ OSELLO A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012, p. 41.

¹¹ Cos'è l'IFC? Caratteristiche, vantaggi ed importanza della certificazione IFC, biblus.acca.it.



^ 2. Level of Development (fonte: practicalbim.net, 2013)



^ 3. Level of Detail (fonte: practicalbim.net, 2013)

chitects) dividono i gradi di attendibilità in [fig. 2]:

- LoD 100. Modello generico semplificato (o assente) con schemi funzionali;
 - LoD 200. Rappresentazione semplificata con metadati;
 - LoD 300. Modello con rappresentazione esaustiva e possibilità di stesura del computo metrico dettagliato;
 - LoD 400. Disegno di dettaglio esecutivo con informazioni necessarie alla sua realizzazione;
 - LoD 500. Dettaglio dell'*as-built* per la manutenzione dell'opera.
- Oltre a questi, ci si può concordare nell'inserimento di LoD intermedi.¹²

L'iniziativa AEC UK (*Architectural, Engineering and Construction*) si focalizza, invece, sui livelli di definizione grafica, dividendoli in [fig. 3]:

- G0, *Schematic*. Disegno simbolico in due dimensioni (anche fuori scala);
- G1, *Concept*. Rappresentazione tridimensionale senza materiali, con minimi dettagli (scala 1:500 - 1:100);
- G2, *Defined*. Modello 3D con informazioni su forma, dimensione, materiali (scala 1:50 - 1:20);
- G3, *Rendered*. Come il G2 ma più accurato, tendente al fotorealistico.¹³

È fondamentale, quindi precisare il grado di dettaglio e sviluppo degli elementi del modello, in modo che i futuri utenti possano capire quali informazioni utilizzare per elaborare altri dati.

Questo approccio conquista sempre più utenti nel nostro territorio.

ASSOBIM, l'associazione formata da Aziende e Professionisti che vogliono promuovere la diffusione del BIM ed essere portavoce delle sue esigenze e bisogni, ha condotto un'indagine nell'arco della prima metà del 2019, riportando dei risultati complessivamente positivi.¹⁴

Quest'anno hanno partecipato oltre 600 operatori, tra studi di progettazione, imprese di costruzioni, produttori di materiali e committenza pubblica e privata:

*fornisce una fedele rappresentazione circa la diffusione del BIM in Italia, utile a focalizzare punti di forza e prospettive di sviluppo di questa metodologia e sensibilizzare ulteriormente istituzioni e player del mondo delle costruzioni.*¹⁵

I dati ottenuti parlano chiaro:

*oltre la metà del campione conosce e utilizza la metodologia BIM, mentre un ulteriore 40% circa la conosce ma non la utilizza o ne fa un uso parziale, e solo un numero marginale di operatori (al di sotto del 10%) non ne è a conoscenza.*¹⁶

Sono numeri che testimoniano una sempre più alta diffusione. Si pensi che dal 2012 al 2018 quasi il 17% del campione analizzato ha introdotto il BIM in azienda e tra chi, invece, non lo usa, l'11% lo prevede in un anno e quasi il 20% in tre anni [fig. 4]. Non solo, quasi la metà del campione dichiara di aver adottato il BIM nei propri progetti (estesamente o par-

¹² LO TURCO M., *Il bim e la rappresentazione infografica nel processo edilizio - dieci anni di ricerche e applicazioni*, ARACNE editrice S.r.l, Roma, 2015, p. 48-49.

¹³ *Ivi*, p. 51-53.

¹⁴ CALABRESE R., *BIM, diffusione sempre più capillare e operatori consapevoli*, edilportale.com, 03/07/19.

¹⁵ *È online il BIM report 2019*, assobim.it, 27/06/19.

¹⁶ *BIM Report 2019*, ASSOBIM, Torino, 2019, p. 2.

zialmente) e almeno il 14% di tutti gli intervistati lo hanno applicato a tutti i progetti.¹⁷

Altro dato importante è il grado di competenze dichiarato, dove il 48% le giudica sufficienti (di cui il 10% si ritiene molto sicuro) ed il 42% carenti in certi aspetti e ritengono necessaria un'integrazione. Questo ritrae il quadro di un approccio emergente ma già entrato nel lessico dei professionisti, ed è una situazione che andrà soltanto a migliorare, se si conta che il 70% si ritiene convinto che la metodologia BIM possa ridurre i costi sia di costruzione che di ciclo di vita dell'edificio.¹⁸

Quest'analisi ha anche esposto varie criticità. Gran parte del campione è convinto del fatto che i clienti (o comunque i futuri utilizzatori dell'opera) non siano in grado di comprendere i vantaggi del BIM, e questo dovrebbe portare a adottare metodi di diffusione della materia. Altro punto critico sono i cambiamenti a livello di pratiche e procedure che comporterà la sua adozione, e questi necessiteranno di figure interne competenti (attualmente in gran parte dei casi assenti o con non adeguata formazione). Questo si scontra con la carenza di domanda dovuta principalmente a costi e tempo.¹⁹

6 BIM PER LE OPERE PUBBLICHE

Da dicembre 2017 è entrato in vigore il decreto 560/17, adottato dal Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, nel quale vengono stabilite le modalità e i tempi con cui dovranno essere introdotti metodi e strumenti elettronici di modellazione per edilizia ed infra-

strutture.

Questo venne già anticipato dal decreto legislativo n. 50 18 aprile 2016, dove all'articolo 23 comma 13 troviamo scritto:²⁰

*Le stazioni appaltanti possono richiedere per le nuove opere nonché per interventi di recupero, riqualificazione o varianti, [...] l'uso dei metodi e strumenti elettronici specifici [...]. Tali strumenti utilizzano piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietari, al fine di non limitare la concorrenza tra i fornitori di tecnologie e il coinvolgimento di specifiche progettualità tra i progettisti.*²¹

Con il decreto 560 si sancisce quindi un'obbligatorietà nell'uso di questi strumenti specifici sia in fase di progettazione che di gestione o verifica. L'articolo 6, in particolare, ne definisce le tempistiche: dal 1° gennaio 2019 per tutti gli appalti superiori ai 100 milioni di euro, dal 2020 per quelli oltre i 50 milioni e dal 2025 per tutti i nuovi progetti.

Questo vuol dire che da quest'anno tutto il processo progettuale, impiantistico e burocratico per le opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro, dovrà essere esportabile ed aggiornato in ogni momento; le stazioni appaltanti dovranno anche formare il personale e definire responsabili per la gestione dei dati.²²

¹⁷ BIM Report 2019, ASSOBIM, Torino, 2019, p. 2.

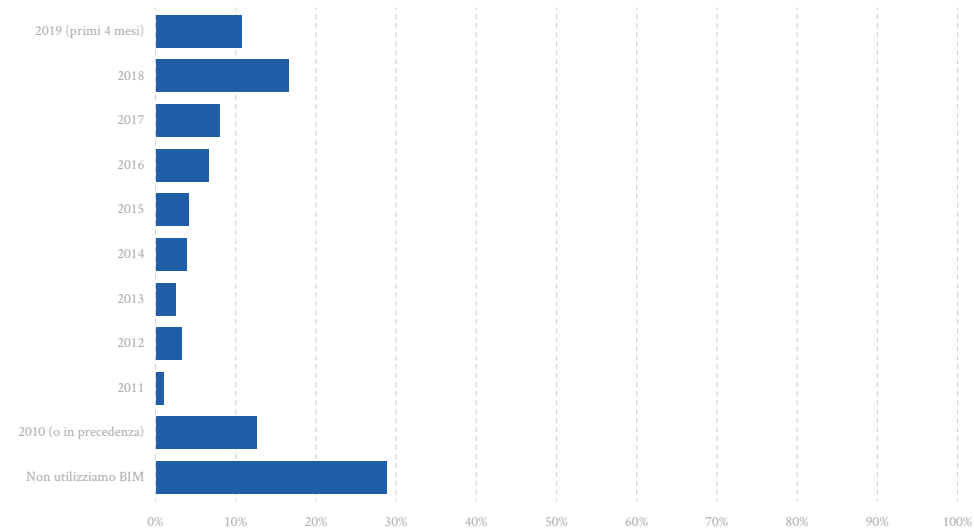
¹⁸ CALABRESE R., BIM, diffusione sempre più capillare e operatori consapevoli, edilportale.com, 03/07/19.

¹⁹ BIM Report 2019, ASSOBIM, Torino, 2019, p. 4.

²⁰ Decreto Ministeriale numero 560 del 01/12/2017, mit.gov.it, 12/01/18.

²¹ D.Lgs. 18 aprile 2016, n. 50, in materia di "Contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture".

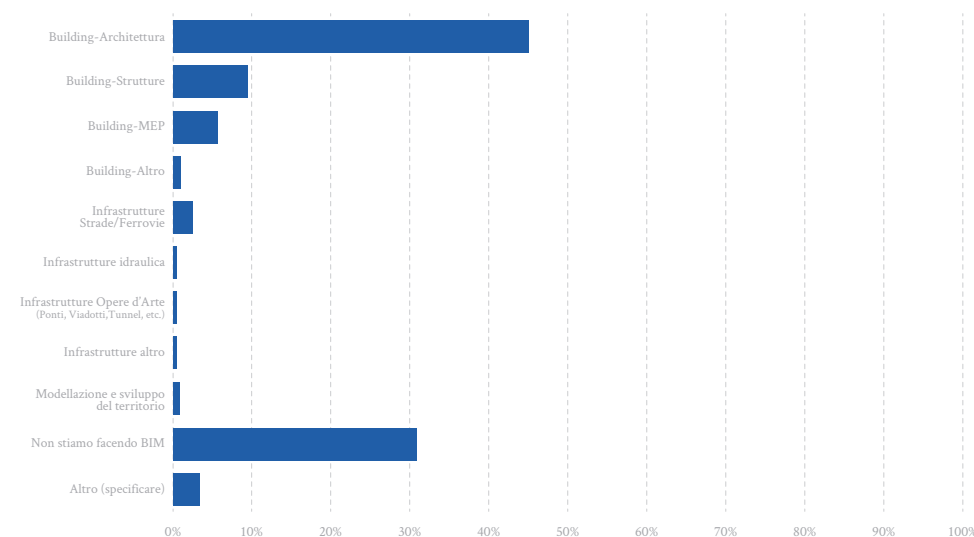
²² Obbligo BIM per appalti superiori a 100 milioni, infobuild.it, 09/01/19.



4. Anno di implementazione del BIM in azienda

(fonte: BIM Report 2019, ASSOBIM, Torino, 2019, p. 11)

Oltre un quarto delle aziende ha implementato il BIM nel corso degli ultimi due anni



5. Tipologia di opere per le quali si utilizza il BIM nei progetti dell'azienda

(fonte: BIM Report 2019, ASSOBIM, Torino, 2019, p. 24)

Quasi la metà del campione utilizza il Building Information Modeling nell'ambito della progettazione architettonica

*BIM roots on architectural design, but recent applications dedicated to architectural heritage show interesting potentialities. In particular the advanced possibilities of deriving 3D models from point clouds and the opportunity to enrich the object attributes with dedicated databases. In this way BIM can favor visual computing, and knowledge and design processes thanks to the possibility to “include” historical transformations and constructive systems, and be a core aggregator for documentation.*²³

Con l'avvento della metodologia BIM il disegno architettonico di un progetto ex-novo è stato fortemente influenzato. Tale tecnologia facilita di molto la redazione di elaborati grafici e fa' si che agli stati embrionali di progettazione si riescano a cogliere aspetti che con l'approccio tradizionale non potevano essere individuati.

Negli ultimi anni, si è cercato di applicare tale metodologia allo studio e alla gestione

del patrimonio culturale esistente venendosi a creare di fatto un nuovo acronimo: HBIM (Heritage o Historical Building Information Modeling).

Si ottiene così un modello HBIM che documenta e rappresenta un qualcosa di già costruito, capace di essere d'aiuto per l'interrogazione dello stato di fatto e la pianificazione d'interventi futuri su un bene oggetto d'analisi.

Per ottenere un alto livello d'accuratezza nel modello 3D la fase iniziale di rilievo viene eseguita da scansioni laser o fotogrammetria digitale che come risultato forniscono delle nuvole di punti che verranno pulite e segmentate ed infine introdotte nella piattaforma BIM.²⁴

Queste nuvole saranno utili per creare una libreria di componenti ad-hoc connotati da parametri contenenti informazioni quantitative e qualitative capaci di descrivere l'architettura rilevata.²⁵

²³ CENTOFANTI M., BRUSAPORCI S., MAIEZZA P., *Abstract in Tra Historical BIM ed Heritage BIM: Building Information Modeling per la documentazione dei beni architettonici*, ReUso, L'Aquila, 2016.

²⁴ FARINA S., GALLEANO A., *Fotogrammetria ed HBIM: un percorso per la conoscenza di Villa Sarmatoris a Salmour*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. F. CHIABRANDO, M. LO TURCO, M. NARETTO, Politecnico di Torino, 2016, p. 204.

²⁵ BARBERIS E., *Il Building Information Modeling per il cultural heritage: le nuove metodologie di modellazione digitale applicata al caso studio del padiglione V del complesso fieristico di Torino Esposizioni*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. LO TURCO M., BRUNO E., Politecnico di Torino, 2016, p. 116.

Per una maggiore comprensione dell'applicazione del HBIM abbiamo scelto di analizzare alcuni casi studio che più si avvicinavano al nostro oggetto di tesi.

Questi casi studio sono: Le Pescherie di Levante di Giulio Romano a Mantova e La Pinacoteca civica “Il Guercino” di Cento.

.1 LE PESCHERIE DI LEVANTE (MN)

Una lettura attenta degli articoli prodotti da Olivieri Marta²⁶, nei quali ci descrive i passaggi fondamentali per il progetto di restauro delle Pescherie di Giulio Romano, ci hanno permesso di capire i vantaggi e alcune problematiche dell'approccio HBIM.

*Se da un lato la possibilità di lavorare direttamente sulle nuvole di punti non è da scartare, dall'altro è importante interrogarsi preliminarmente sul livello di dettaglio e le informazioni che si vogliono utilizzare per il modello BIM a seconda delle finalità da perseguire.*²⁷

Uno dei primi aspetti sui quali ci fa riflettere quest'articolo è l'importanza che si deve dare agli studi preliminari che si devono attuare prima della modellazione 3D. Capire le finalità del modello e le informazioni che servono per una determinata analisi è fondamentale per risparmiare tempo e denaro.

Come da noi svolto nella fase iniziale, anche loro hanno eseguito un accurato rilievo architettonico tramite laser scanner ed hanno cercato di ottenere da esso il maggior grado di precisione nella restituzione degli oggetti architettonici.

*La prima elaborazione condotta a partire dalla nuvola di punti è stata la realizzazione di una mesh texturizzata che, se geometricamente ricalca nella maniera più precisa possibile la realtà, per quanto riguarda la gestione informativa non garantisce la possibilità di gestire separatamente ogni elemento.*²⁸

L'utilizzo di una mesh texturizzata, perciò non permette di ottenere un modello 3D capace di essere scorporato in differenti componenti e di conseguenza non aiuta a creare un modello intelligente.

.2 LA PINACOTECA CIVICA “IL GUERCINO” DI CENTO (FE)

In Seguito agli eventi sismici che hanno coinvolto l'area emiliana nel maggio 2012, la pinacoteca civica è stata gravemente danneggiata e resa inagibile. Il compito di recuperare e di migliorare la risposta sismica dell'edificio viene assegnata alla società bolognese *Open Project*²⁹, la quale esegue tutti i lavori su piattaforma BIM Autodesk Revit.

Avendo anche noi un fabbricato storico caratterizzato da un alto grado di fessurazione e dissesto ci è stato di grande aiuto consultare il loro lavoro e osservare come hanno risolto alcune problematiche legate alla fase di modellazione. In particolare al modo di rappresentare le fessurazioni nelle tre dimensioni e come, successivamente, quantificarle.

Inoltre, la consultazione ci è servita anche per capire i problemi legati all'interscambio del dato tramite formato IFC e come sono state classificate le varie fasi d'intervento all'interno del programma.³⁰

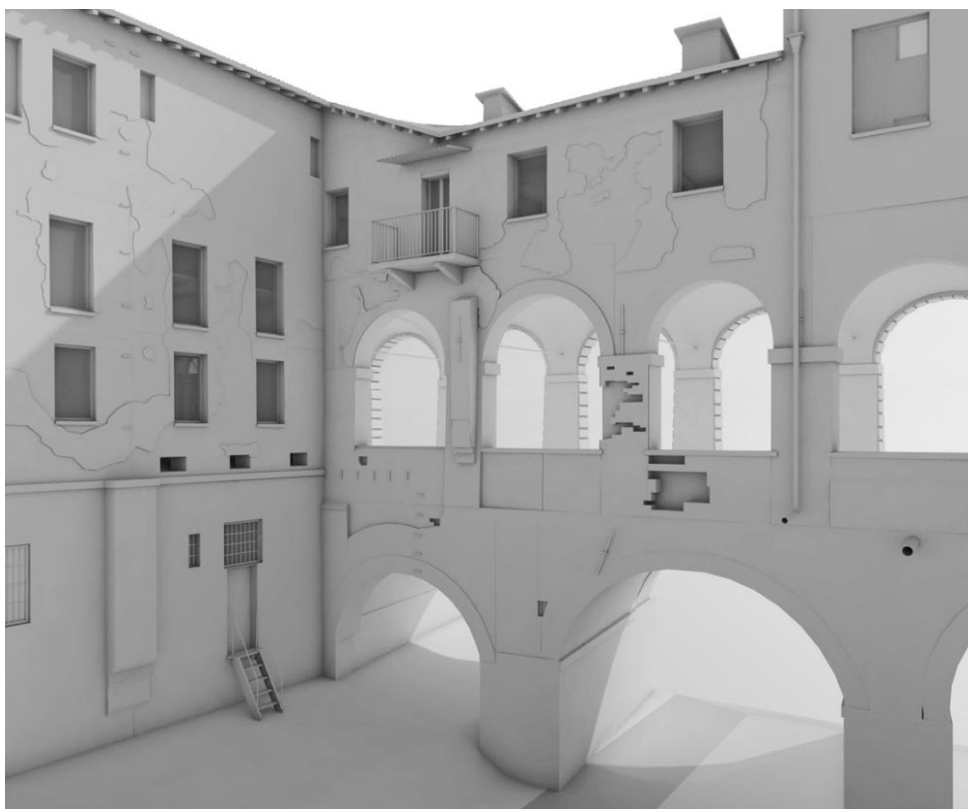
²⁶ Olivieri Marta, laureata in Ingegneria Edile Architettura all'Università di Pisa nel 2017, collabora con BimFactory, società di architettura e ingegneria bresciana.

²⁷ OLIVIERI M., *La traduzione della complessità del costruito storico nel modello HBIM*, bimportale.com, 05/06/18.

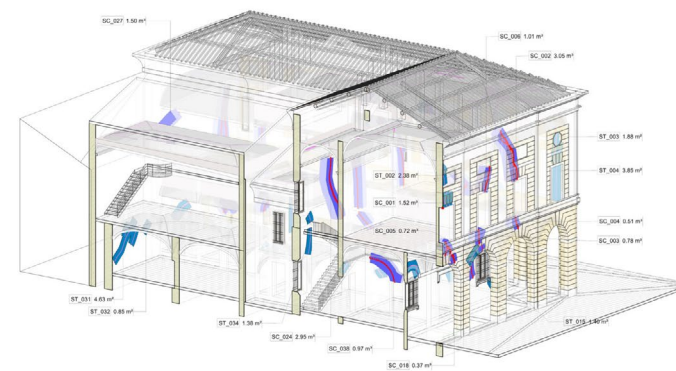
²⁸ *Ibid*

²⁹ Open Project s.r.l., è una studio multidisciplinare con sede a Bologna, organizzata per sviluppare progetti di architettura e ingegneria.

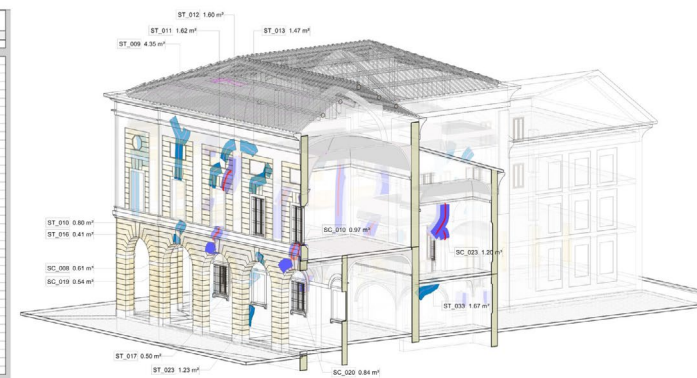
³⁰ BAGNI B., *Progettare HBIM: il caso della Pinacoteca di Cento*, bimportale.com, 14/02/19.



▲ 6. Modello HBIM delle Peschiere di Levante, Mantova
 (fonte: OLIVIERI M., *Il rapporto tra geometria e informazione nel modello HBIM*, bimportale.com, 21/06/18)



-Interventi SC-					
Type	Mark	Int. SC_Volume [3]	Int. Visc. CM	Int. Costo	COSTO
SC_001	1.52 m²	00000a	576.1		874.34
SC_002	3.05 m²	00000a	576.1		1759.36
SC_003	0.79 m²	00000a	576.1		447.78
SC_004	0.52 m²	00000a	576.1		293.98
SC_005	0.72 m²	00000a	576.1		433.31
SC_006	1.88 m²	00000a	576.1		941.58
SC_007	1.89 m²	00000a	576.1		913.44
SC_008	0.63 m²	00000a	576.1		346.19
SC_009	0.58 m²	00000a	576.1		299.47
SC_010	0.97 m²	00000a	576.1		515.52
SC_011	1.53 m²	00000a	576.1		864.04
SC_012	2.95 m²	00000a	576.1		1336.96
SC_013	3.71 m²	00000a	576.1		2134.58
SC_014	1.17 m²	00000a	576.1		676.41
SC_015	3.12 m²	00000a	576.1		1231.43
SC_016	2.81 m²	00000a	576.1		1464.06
SC_017	0.21 m²	00000a	576.1		122.39
SC_018	0.37 m²	00000a	576.1		211.01
SC_019	0.54 m²	00000a	576.1		249.17
SC_020	0.84 m²	00000a	576.1		482.15
SC_021	0.46 m²	00000a	576.1		244.91
SC_022	0.47 m²	00000a	576.1		273.51
SC_023	1.29 m²	00000a	576.1		693.76
SC_024	2.95 m²	00000a	576.1		1487.58
SC_025	2.31 m²	00000a	576.1		1229.26
SC_026	0.44 m²	00000a	576.1		251.96
SC_027	1.52 m²	00000a	576.1		864.18
SC_028	0.48 m²	00000a	576.1		273.01
SC_029	1.72 m²	00000a	576.1		746.61
SC_030	0.36 m²	00000a	576.1		184.63
SC_031	0.46 m²	00000a	576.1		243.32
SC_032	1.29 m²	00000a	576.1		746.57
SC_033	1.15 m²	00000a	576.1		642.57
SC_034	0.31 m²	00000a	576.1		158.44
SC_035	0.88 m²	00000a	576.1		439.83
SC_036	0.52 m²	00000a	576.1		296.91
SC_037	0.54 m²	00000a	576.1		276.41
SC_038	1.37 m²	00000a	576.1		644.61
SC_039	46.17 m²	00000a	576.1		2696.93



▲ 7. Quantificazione dissesti ed interventi della Pinacoteca di Cento, Ferrara
 (fonte: BAGNI B., *Progettare HBIM: il caso della Pinacoteca di Cento*, bimportale.com, 14/02/19)

.3

MODELLO 3D SU PIATTAFORMA BIM

Per la realizzazione del modello HBIM il programma che abbiamo utilizzato è stato *Autodesk Revit 2020*, capace di supportare la lettura di nuvole di punti.

Dopo aver ottenuto, grazie alla fase di rilievo, la nuvola fotogrammetrica e la nuvola LiDAR abbiamo sviluppato due modelli 3D separati che miravano ad evidenziare i principali punti di forza e debolezza di tali tipologie di rilievo.

Prima dell'importazione della nuvola di punti in *Revit* ci siamo avvalsi dell'aiuto del software *3DReshaper* per eliminare parti di contesto che non erano utili per la modellazione del castello.

Per un'ulteriore lavoro d'alleggerimento, sempre con l'aiuto di *3DReshaper*, abbiamo traslato la nuvola dalle sue coordinate originarie (x,y,z) a delle coordinate prossime all'origine degli assi (x',y',z') per far sì che una volta introdotta in piattaforma *Revit*, la gestione della nuvola diventi più "fluida" e meno macchinosa. [fig. 8]

Una volta finita la pulizia delle nuvole è stato

possibile il loro caricamento in *Revit* tramite il programma *Autodesk Recap* che trasforma i formati *.e57* o *las* in formati *.rcp*.

Per facilitare la modellazione in ambiente *Revit*, la nuvola di punti è stata ruotata così d'avere un sistema di riferimento locale che non segua più la georeferenziazione originale difficile da gestire.

.1 MURI PERIMETRALI

Una volta definiti i settaggi preliminari elencati nel paragrafo precedente la fase di modellazione può finalmente iniziare.

Per la creazione dei muri perimetrali abbiamo utilizzato delle *masse concettuali* che permettono, grazie all'aiuto di un determinato numero di piani di sezione, di ricreare fedelmente l'andamento verticale di ciascun prospetto. La distanza tra i piani di sezione va da un metro a un metro e mezzo, fino ad arrivare a cinquanta centimetri per la creazione di piani di raffittimento. I piani di sezione, perciò permettono di attuare una vera e propria azione di "ricalcatura" della nuvola di punti.

Per ciascuna elevazione abbiamo creato una massa indipendente che può essere editabile senza andare a toccare ed influenzare gli oggetti circostanti ad essa.

to muro che seguirà l'andamento delle stesse con la possibilità di assegnarli un determinato spessore (0.30 cm; 0,50 cm; 1 m;).

Una volta finita la creazione delle quattro *masse* perimetrali si può applicare l'elemen-



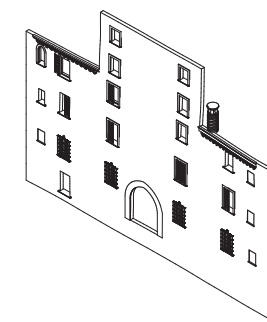
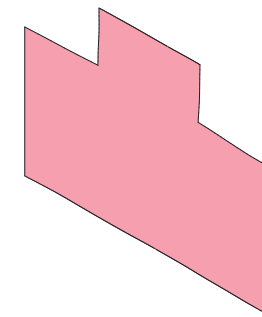
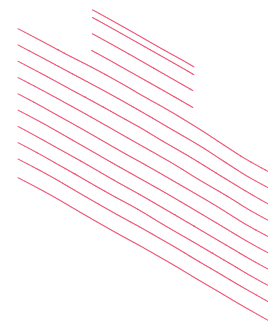
Coordinate globali	
x	390892,935
y	4957940.392
z	260.766
UAV Traslato	
x	15.412
y	6.564
z	6.551
LiDAR Traslato	
x	46.246
y	24.689
z	5.865

^ 8. Punto di traslazione della nuvola e relative coordinate

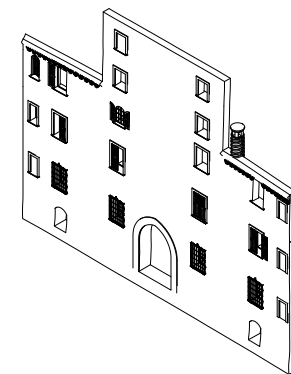
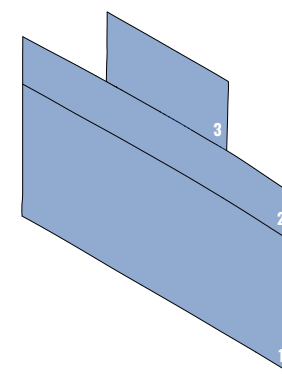
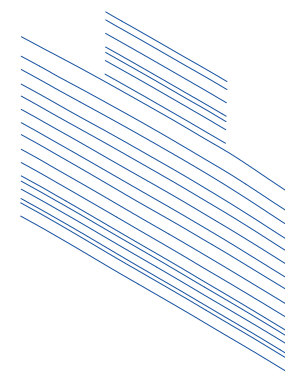
Il punto è il medesimo in entrambe le nuvole, una targa in ottime condizioni sopra il portale d'ingresso a sud. Con le nuove coordinate indicate si può risalire al vettore traslazione e riportare il modello alla posizione originale.



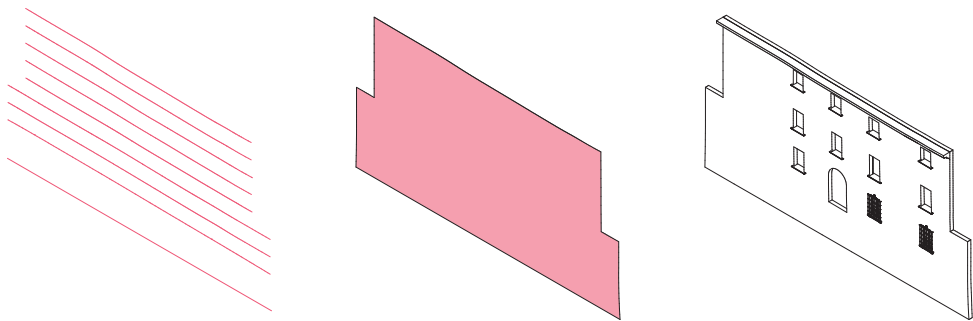
^ 9. Nuvola fotogrammetrica inserita nel modello Revit (fuori scala)
 Le linee in blu sono state generate sezionando la nuvola con vari piani ad altezze diverse e disegnandole seguendo il profilo.



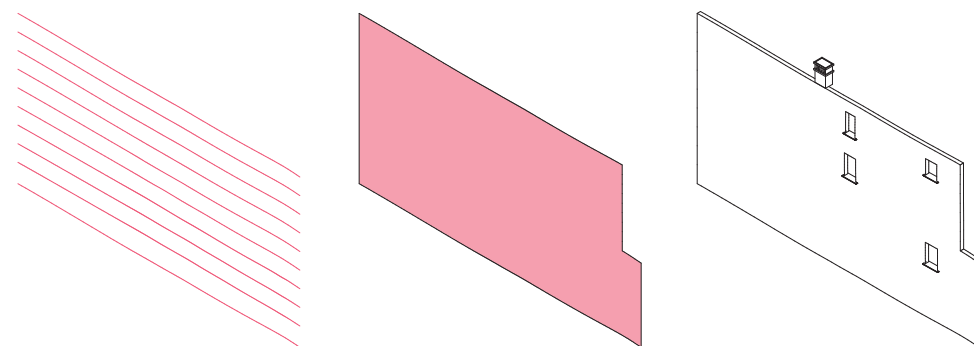
^ 10. Prospetto Sud del modello LiDAR (fuori scala)
 (fonte: elaborazione degli autori con software Autodesk Revit 2020)



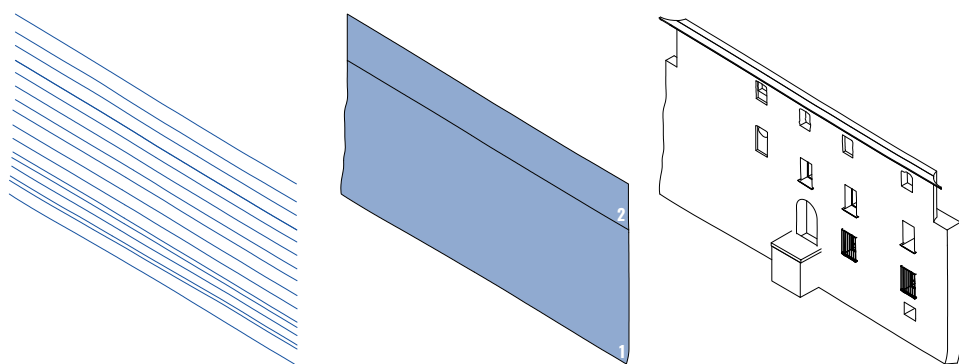
^ 11. Prospetto Sud del modello fotogrammetrico (fuori scala)
 Come si può notare dai numeri, sono state generate tre masse per seguire il profilo del muro di diverso spessore.



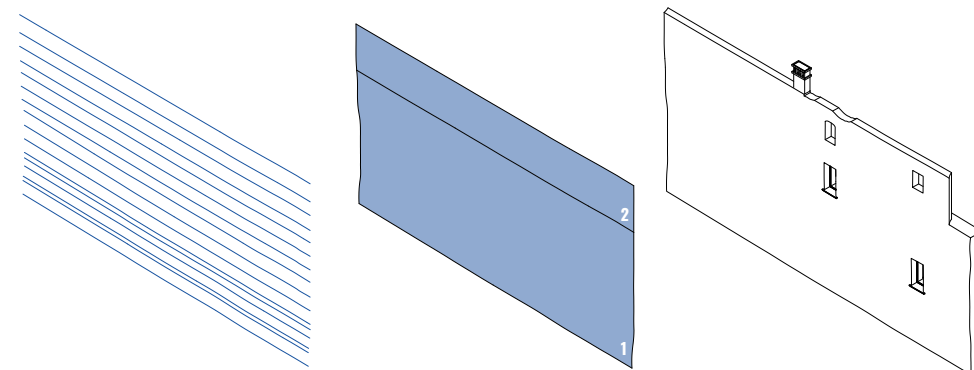
^ 12. Prospetto Nord del modello LiDAR (fuori scala)



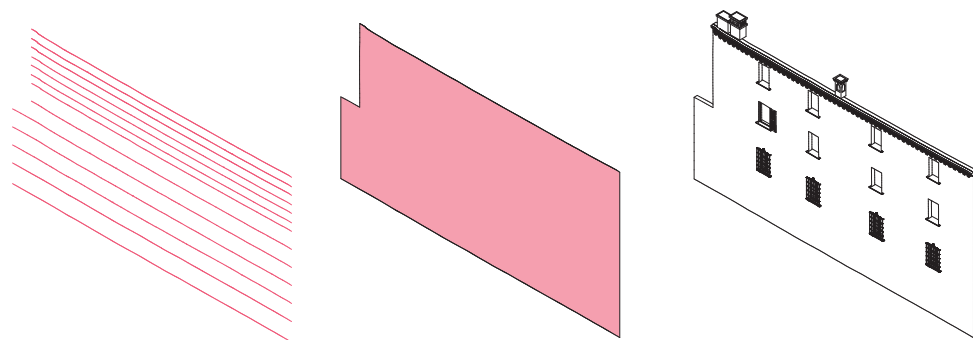
^ 14. Prospetto Est del modello LiDAR (fuori scala)



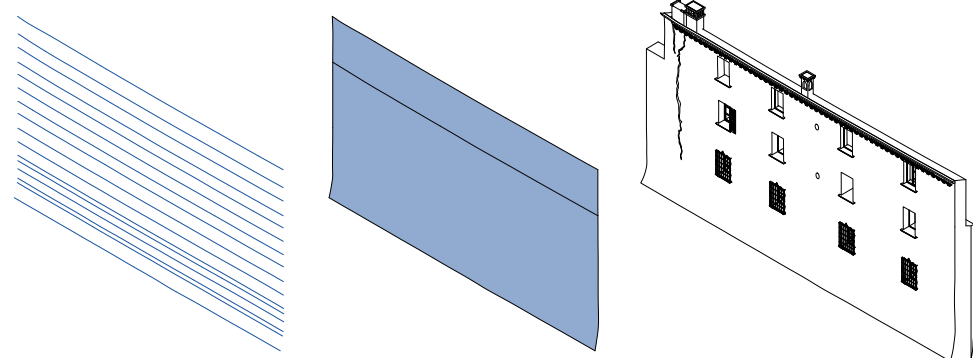
^ 13. Prospetto Nord del modello fotogrammetrico (fuori scala)



^ 15. Prospetto Est del modello fotogrammetrico (fuori scala)



▲ 16. Prospetto Ovest del modello LiDAR (fuori scala)



▲ 17. Prospetto Ovest del modello fotogrammetrico (fuori scala)

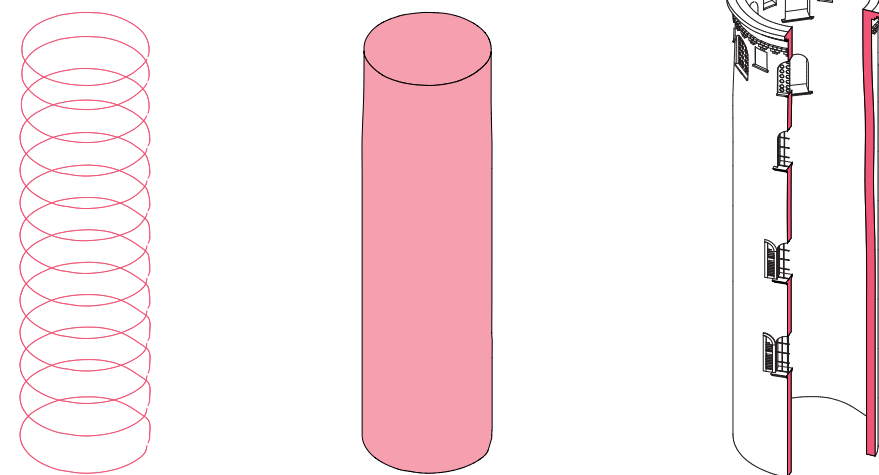
2 TORRI SUD E TORRINI NORD

Anche per la modellazione delle torri presenti nel prospetto Sud e Nord ci siamo rifatti alle *masse concettuali*.

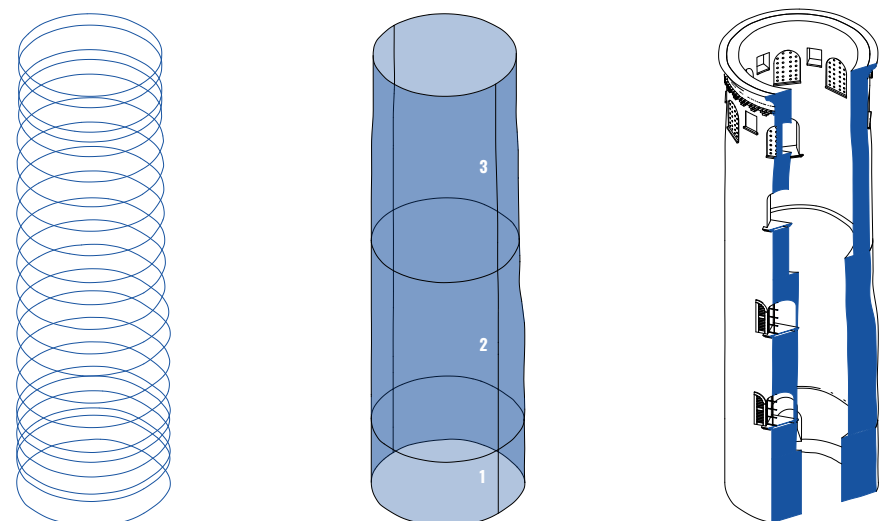
Con l'aiuto di piani di sezione che andavano a ricalcare la nuvola di punti ad una distanza che andava da un metro a un metro e mez-

zo, siamo riusciti ad ottenere il vero sviluppo delle torri, sia longitudinalmente che trasversalmente.

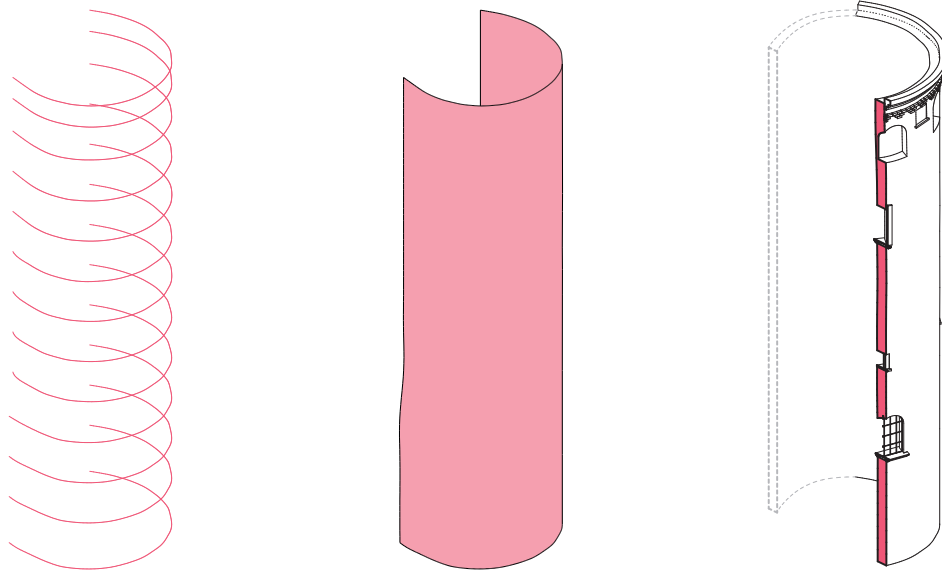
Questa azione di ricalcatura ci ha permesso di andare ad evidenziare le peculiarità di ciascun elemento modellato, facendoci notare che nessun elemento è uguale all'altro.



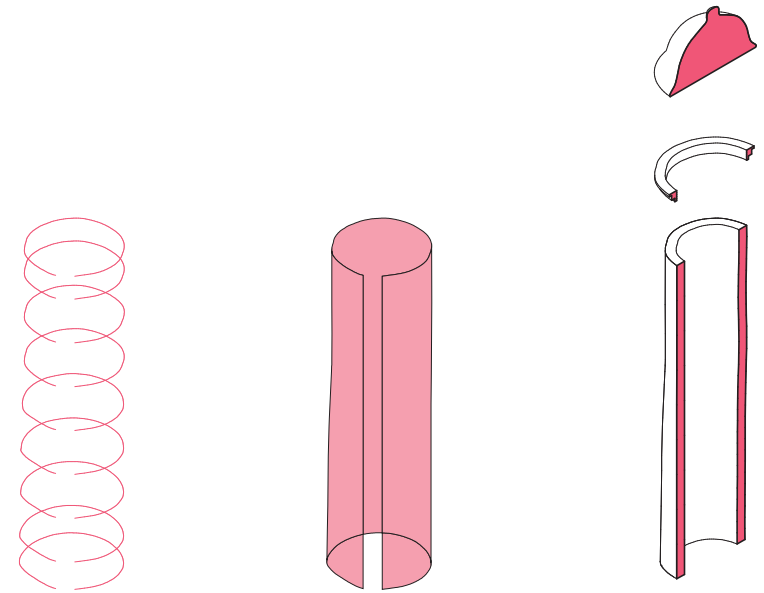
▲ 18. Torre Ovest del modello LiDAR (fuori scala)



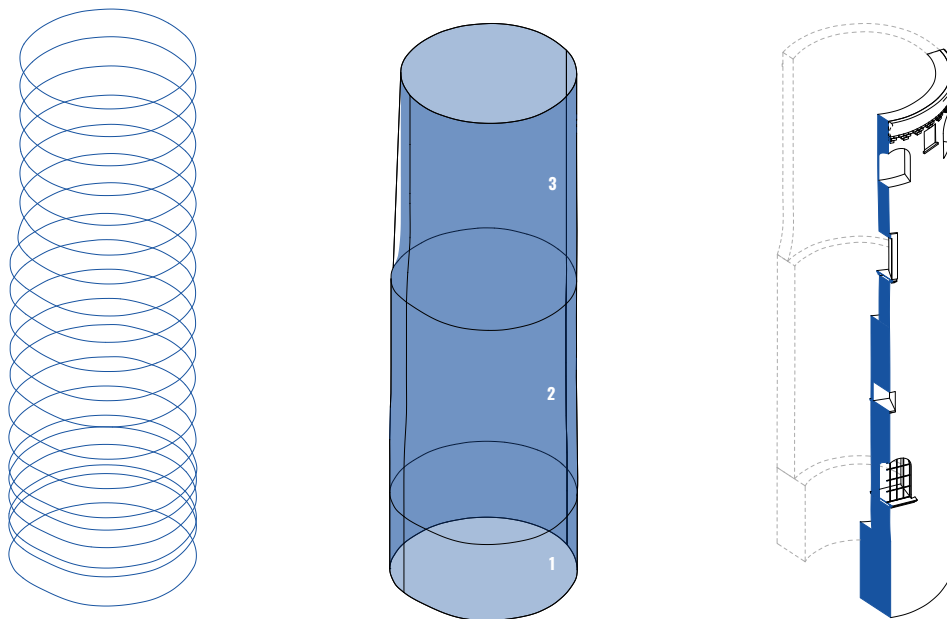
▲ 19. Torre Ovest del modello fotogrammetrico (fuori scala)



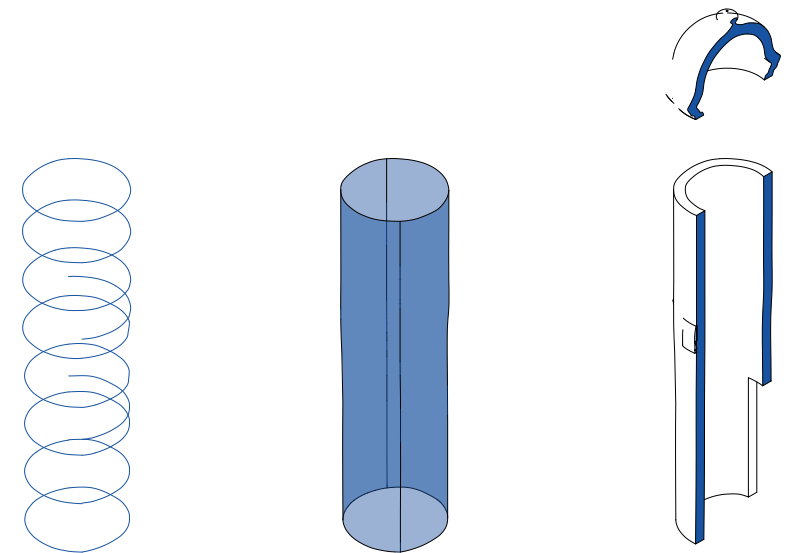
^ 20. Torre Est del modello LiDAR (fuori scala)
La parte tratteggiata è stata ipotizzata, siccome coperta da vegetazione.



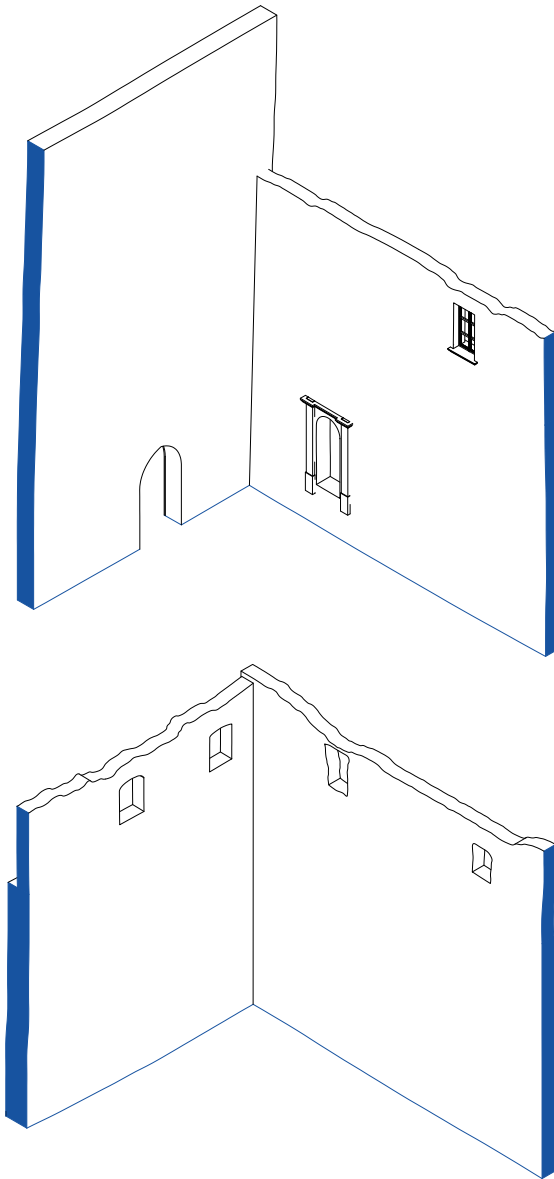
^ 22. Torrino Nord del modello LiDAR (fuori scala)
Essendo molto simili i due torrini, vien qui fatto il paragone di uno solo (più precisamente quello Nord-Ovest)



^ 21. Torre Est del modello fotogrammetrico (fuori scala)



^ 23. Torrino Nord del modello Fotogrammetrico (fuori scala)



^ 24. **Corte interna del modello fotogrammetrico** (fuori scala)
In alto i muri sud ed ovest, in basso quelli nord ed est.

4 COMPLETAMENTO DEI MODELLI

Una volta definito l'involucro esterno, ci siamo dedicati al suo completamento inserendo tutti quegli elementi architettonici, che siano essi funzionali o semplicemente decorativi, per aumentare il grado di precisione dei modelli.

A differenza del resto, qui abbiamo deciso di utilizzare gli stessi elementi per entrambi i modelli, essendo essi stati realizzati prendendo informazioni da ambo i lati, sfruttando i vantaggi dei due metodi di rilievo. Un altro motivo è quello di velocizzare il passaggio successivo (creazione di un modello unico), evitando di doverli ridisegnare.

Tutti gli elementi sono parametrici, quindi permettono modifiche nelle tre dimensioni semplicemente impostando un valore (parametro, appunto).

Più precisamente definiamo parametricismo:

*Un puntuale controllo geometrico-relazionale tra le parti costituenti il modello digitale. [...] Il concetto di parametrico ha forse la sua massima esplicazione nelle diverse interpretazioni delle regole compositive degli ordini classici, cioè nella lettura della dipendenza di ogni parte rispetto all'altra e nella misura dei rapporti dimensionali delle diverse partizioni.*³¹

.1 FAMIGLIE

Gli elementi utilizzati in fase di modellazione, che siano essi architettonici o di semplice annotazione, in Revit sono considerati Famiglie. Esse possono essere definite come:

*un gruppo di elementi con un insieme di proprietà comuni denominate parametri ed una rappresentazione grafica associata.*³²

Per esempio, una sedia avrà delle dimensioni e materiali differenti in base alle preferenze

³¹ LO TURCO M., *Il bim e la rappresentazione infografica nel processo edilizio - dieci anni di ricerche e applicazioni*, ARACNE editrice S.r.l, Roma, 2015, pp. 94-95.

³² POZZOLI S., BONAZZA M., VILLA W. S., *Autodesk Revit 2017 per l'Architettura. Guida completa per la progettazione BIM. Strumenti avanzati, personalizzazione famiglie, modellazione volumetrica e gestione progetto*, Tecniche Nuove, Milano, 2016, p. 65.

progettuali, ma rimarrà sempre una sedia anche alterando quelle caratteristiche.

Le famiglie possono essere:

- di sistema, cioè elementi base usati per la costruzione come muri, scale e pavimenti;
- caricabili, tutti quegli elementi che coprono altre esigenze come serramenti, arredi o oggetti di design;
- locali, elementi unici del progetto che non necessitano di variazioni o produzioni in serie.

Le famiglie di questo capitolo sono tutte realizzate partendo da un file nuovo e caricate successivamente nei modelli.

.2 FINESTRE

Prima di partire con la modellazione, si è innanzitutto fatta un'analisi attenta di tutte le aperture: molte di queste sono simili tra loro, quindi raggruppabili.

Definiti i macrogruppi, si è modellata una famiglia tipo per ognuno, contenente tutte le caratteristiche, occultabili e modificabili successivamente tramite dei parametri.

Un chiaro esempio sono le finestre tradizionali nei prospetti [fig. 23]: il modello include le persiane (apribili), il davanzale, la cornice intonacata, il telaio fisso, controtelaio, telai mobili (apribili) ed uno strato di chiusura (nel caso in cui fosse cementata o chiusa con altri elementi opachi). Tutti questi elementi possono essere impostati visibili o meno e modificati in altezza e larghezza comodamente dalle proprietà (istanza). Questo può generare un gran numero di aperture diverse, senza dover creare altrettante famiglie.

.3 PORTALI

Per i portali il lavoro è stato più semplice, essendo in numero esiguo. È stato realizzato il portale d'ingresso a Sud, quello a Nord e quelli

della corte interna. Vi sono anche aperture minori, definite per il momento tramite un solido di taglio (anch'esso parametrico).

.4 CAMINI

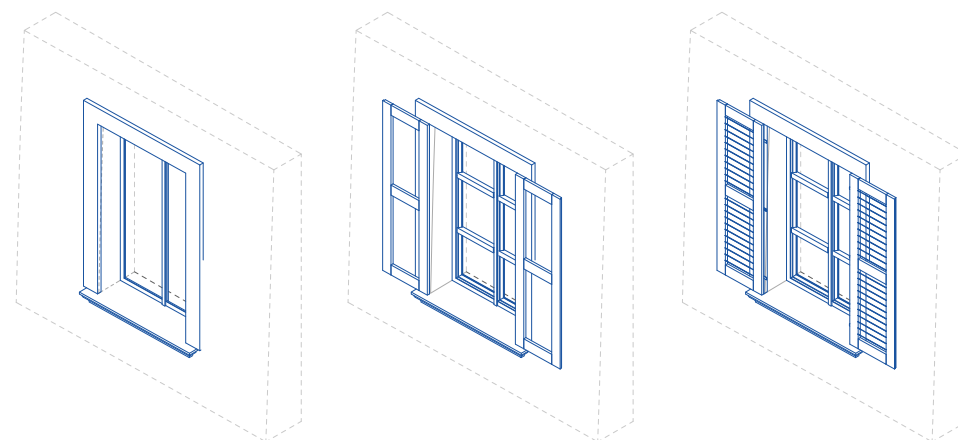
La presenza dei camini nel modello è fondamentale, perché, come già accennato, la maggior parte di questi è stata la causa dei principali dissesti nelle murature. Sfruttando la precisione della nuvola LiDAR e la densità di punti sulla copertura di quella fotogrammetrica, non è stato difficile modellarli.

.5 CORNICIONI

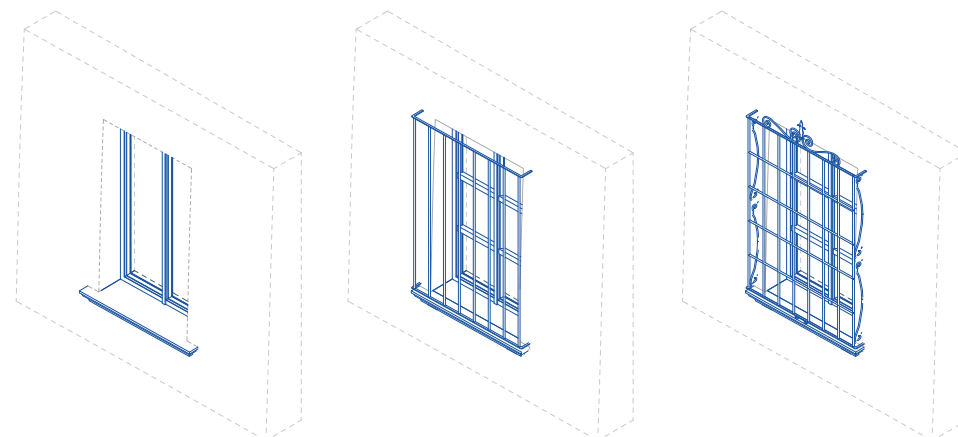
Questi, avendo una funzione principalmente decorativa, son stati realizzati soltanto per aumentare la precisione dei modelli.

Son composti da due parti: tre file di mattoni in rilievo ed il cornicione vero e proprio sovrastante. Quest'ultimo è stato realizzato *in-place* tramite *sweep* su ciascun modello, dovendo seguire il profilo del muro. La differente precisione e densità delle due nuvole ha determinato due modelli di cornicione differenti.

Per quanto riguarda la fila di mattoni sottostante, essa è abbastanza regolare e definita da una matrice di 6 mattoni sovrapposti. Per quest'ultima è stata creata una famiglia sola per entrambi i modelli, con i singoli mattoni parametrici. In questo modo si possono gestire gli spazi vuoti dovuti a mancanze o all'uso di mattoni diversi.



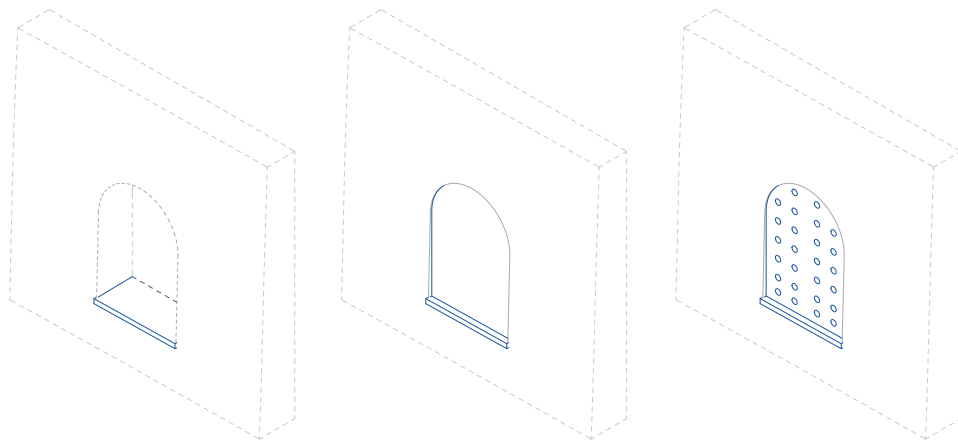
^ 25. Finestra con grate (quantità: 10) (fuori scala)



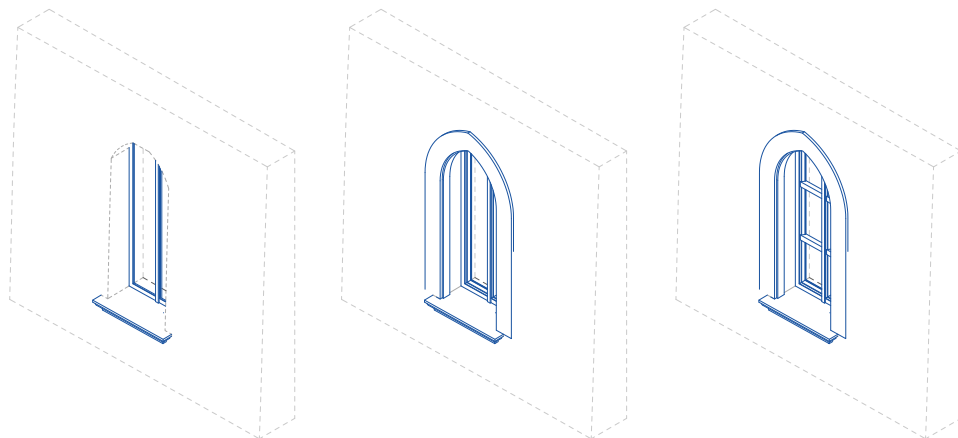
^ 26. Finestra con persiane (quantità: 32) (fuori scala)



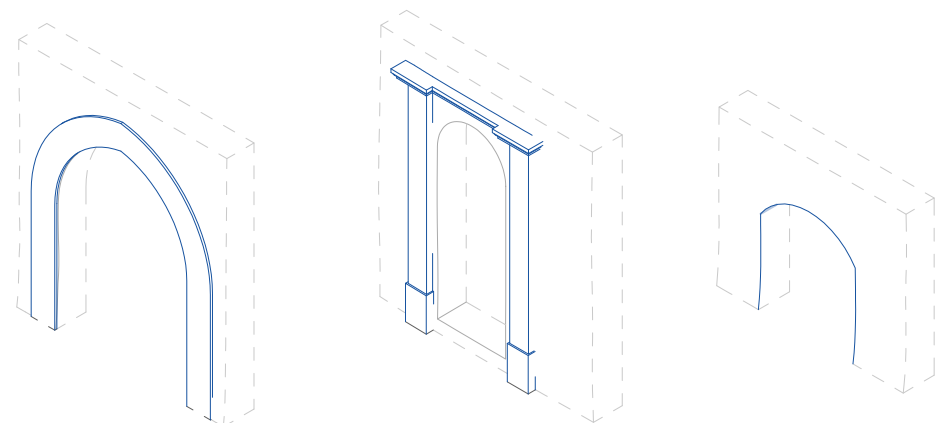
^ 27. Finestra ad arco con persiane (quantità: 5) (fuori scala)



^ 28. Finestra cementata (quantità: 10) (fuori scala)

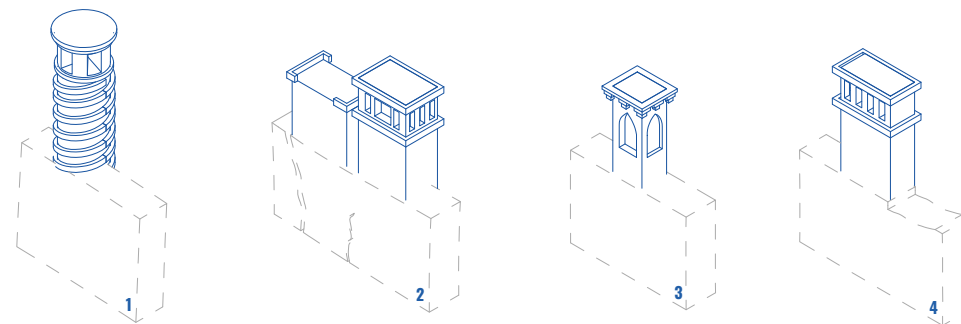


^ 29. Finestra ad ogiva (quantità: 1) (fuori scala)



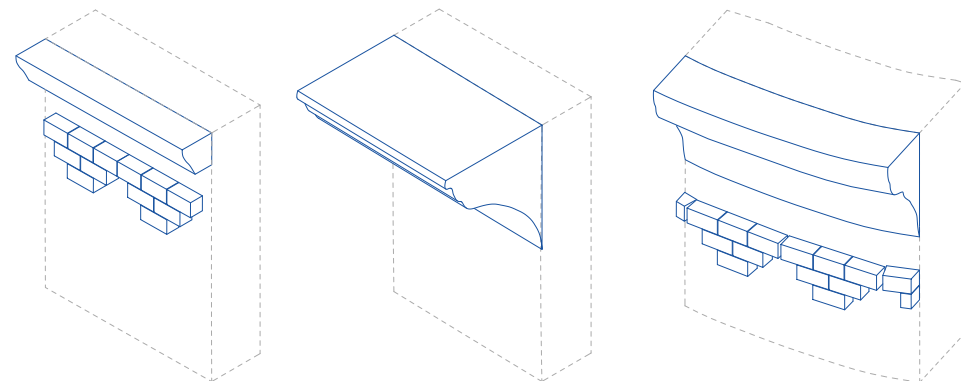
^ 30. Portali (fuori scala)

Da sinistra: ingresso sud, ingresso interno cortile ed un'apertura parametrica utilizzata in varie parti del modello.



^ 31. Camini (fuori scala)

Da sinistra: 1 prospetto sud, 2 e 3 prospetto ovest, 4 prospetto est.



^ 32. Cornicioni (fuori scala)

In ordine: prospetto ovest, nord e torre sud-ovest. La fila di mattoni sottostante è parametrica in tutte le direzioni

VERIFICA ACCURATEZZA MODELLI

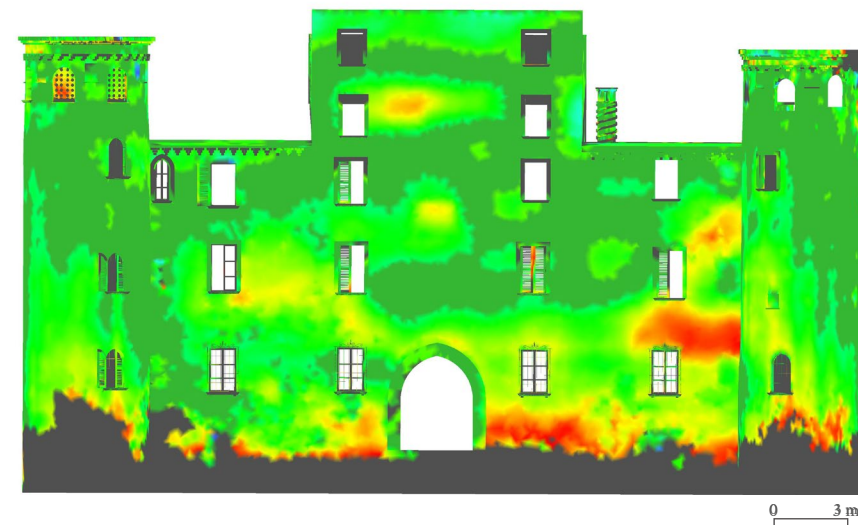
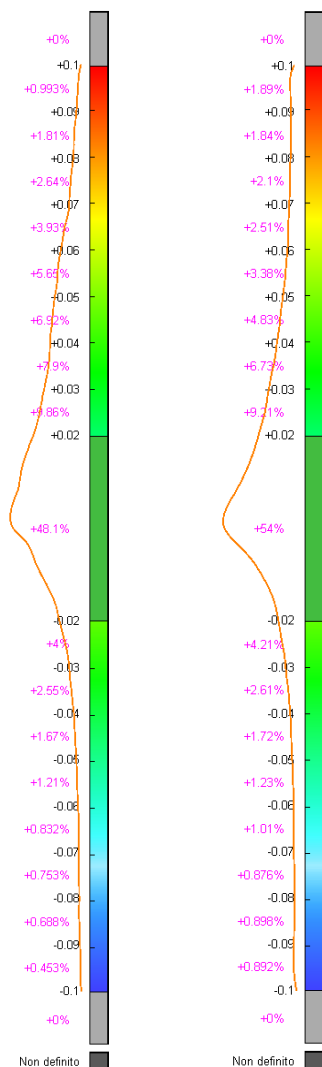
Una volta conclusa la fase di modellazione 3D si è proseguito con la verifica di accuratezza. Utilizzando il software *3D Reshaper*, abbiamo confrontato i modelli creati con le rispettive nuvole di punti. Da ciò si è ottenuto un valore che va ad evidenziare di quanto il modello rispecchi la nuvola di riferimento.

I valori di accuratezza ottenuti dopo una prima fase di verifica per i modelli, ricavati grazie alla ricalcatura della nuvola LiDAR e la nuvola fotogrammetrica, sono rispettivamente del 48.1% e del 54%.

Come si può osservare dai grafici a fianco, le curve arancioni si sviluppano in un determinato range di numeri che va da + 10 cm a - 10 cm. Questo significa che scostamenti superiori ai 10 cm dalla nuvola di riferimento non verranno tenuti in considerazione.

Le varie colorazioni del grafico, accompagnate da valori percentuali corrispondenti a diversi range di numeri, ci permettono di fare alcuni ragionamenti. Per la colorazione verde, compresa in un dominio di numeri che va da +2 cm a -2 cm, corrisponde un valore percentuale: 48.1% nel modello LiDAR e 54% in quello fotogrammetrico. Questo valore ci comprova che rispettivamente per il 48.1% e 54%, i modelli 3D prodotti si rifanno alle nuvole di riferimento.

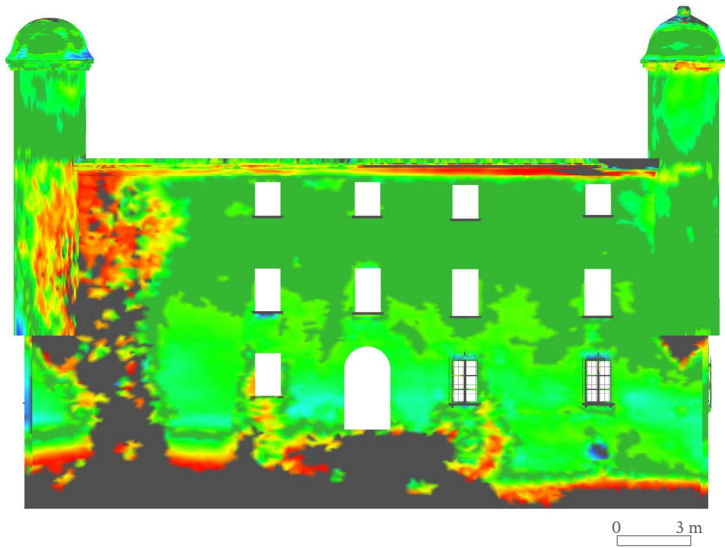
► **33. Grafici e scale colori della prima ispezione**
(fonte: elaborazione degli autori con software *3D Reshaper*) A sinistra il modello LiDAR, a destra quello fotogrammetrico.



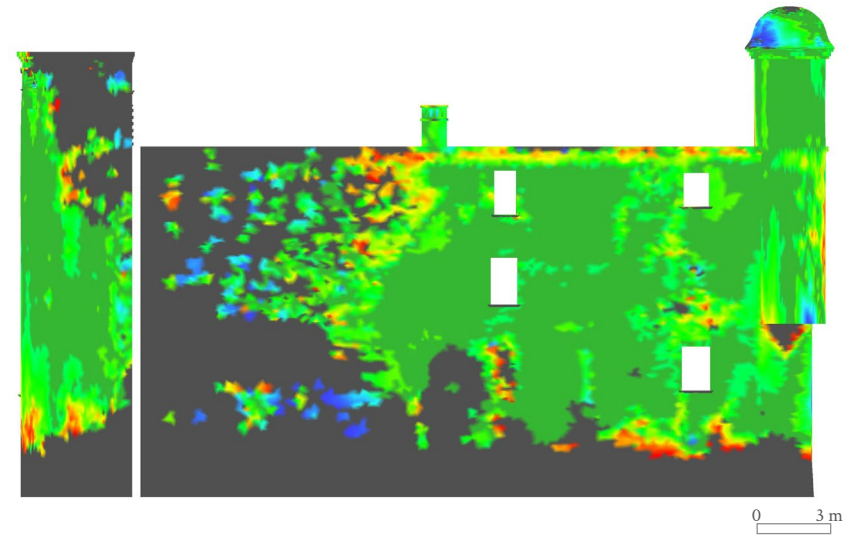
▲ **34. Prospetto Sud del modello LiDAR (prima ispezione)**
(fonte: elaborazione degli autori con software *3D Reshaper*)
Per i colori far riferimento al grafico a sinistra della pagina precedente.



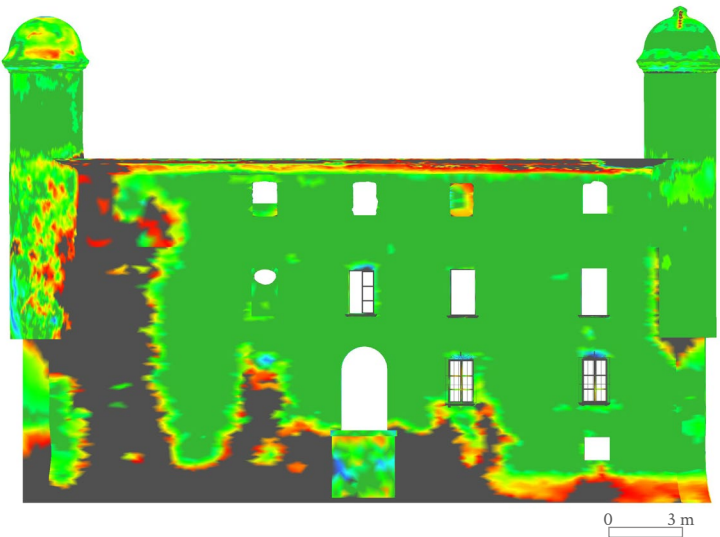
▲ **35. Prospetto Sud del modello fotogrammetrico (prima ispezione)**
Per i colori far riferimento al grafico a destra della pagina precedente.



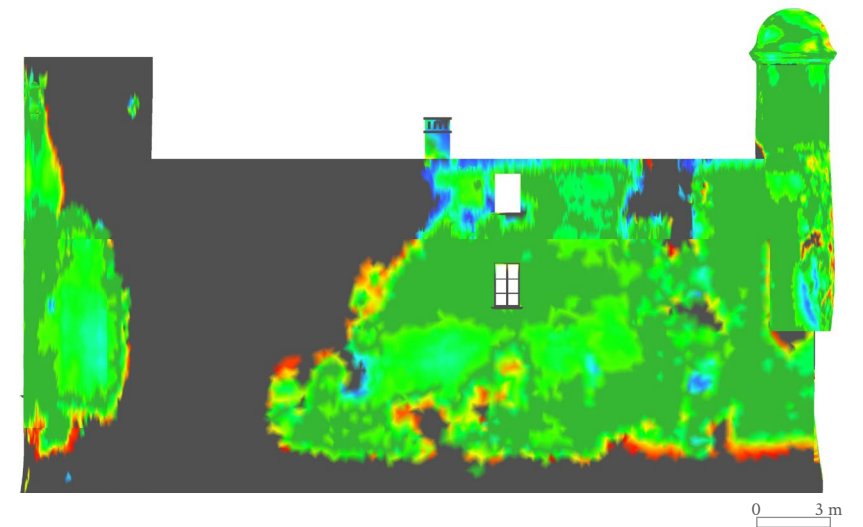
^ 36. Prospetto Nord del modello LiDA (prima ispezione)



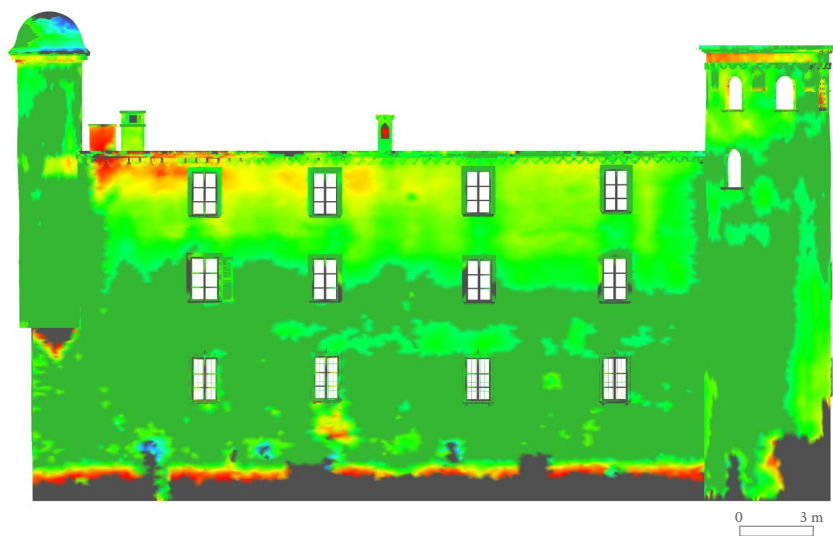
^ 38. Prospetto Est del modello LiDAR (prima ispezione)



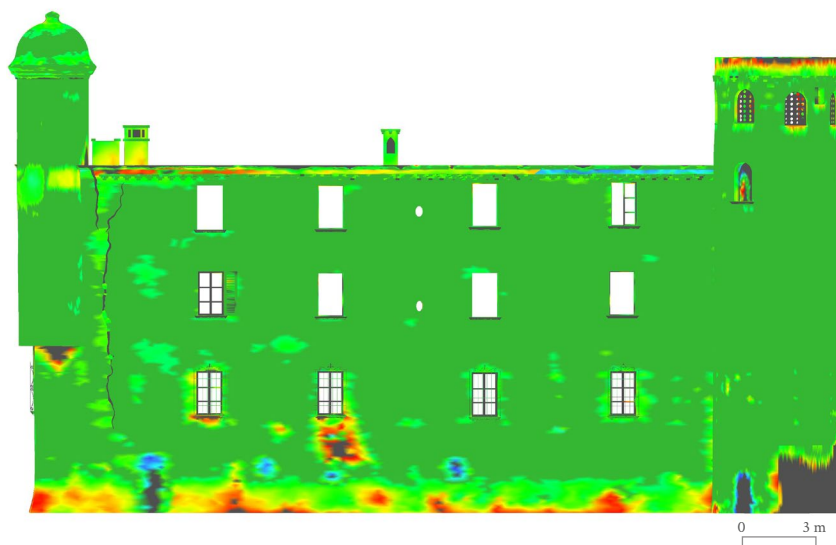
^ 37. Prospetto Nord del modello fotogrammetrico (prima ispezione)



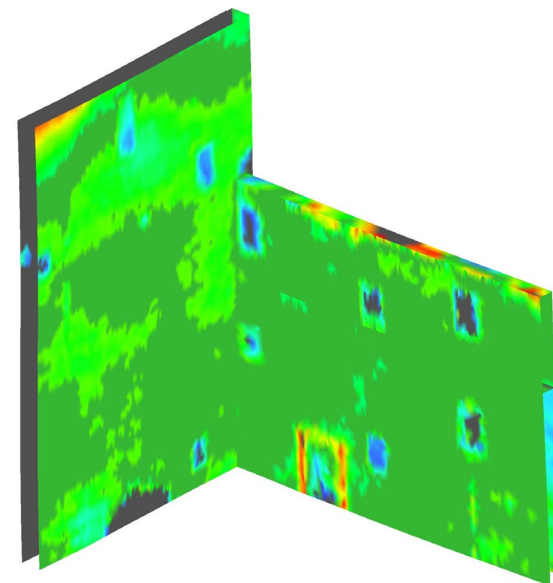
^ 39. Prospetto Est del modello fotogrammetrico (prima ispezione)



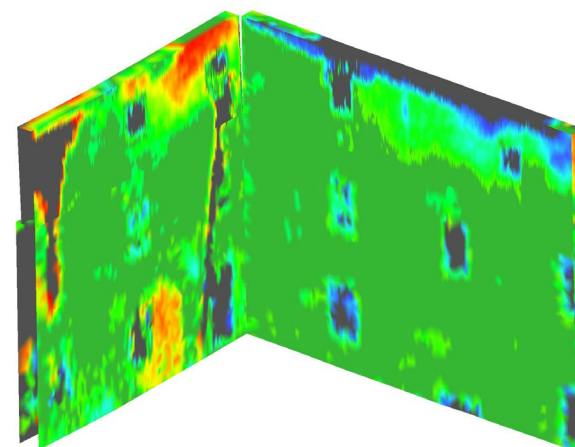
^ 40. Prospetto Ovest del modello LiDAR (prima ispezione)



^ 41. Prospetto Ovest del modello fotogrammetrico (prima ispezione)



^ 42. Prospetto Sud e Ovest interni del modello fotogrammetrico (prima ispezione) (fuori scala)



^ 43. Prospetto Nord ed Est interni del modello fotogrammetrico (prima ispezione) (fuori scala)

.1 SECONDA VERIFICA

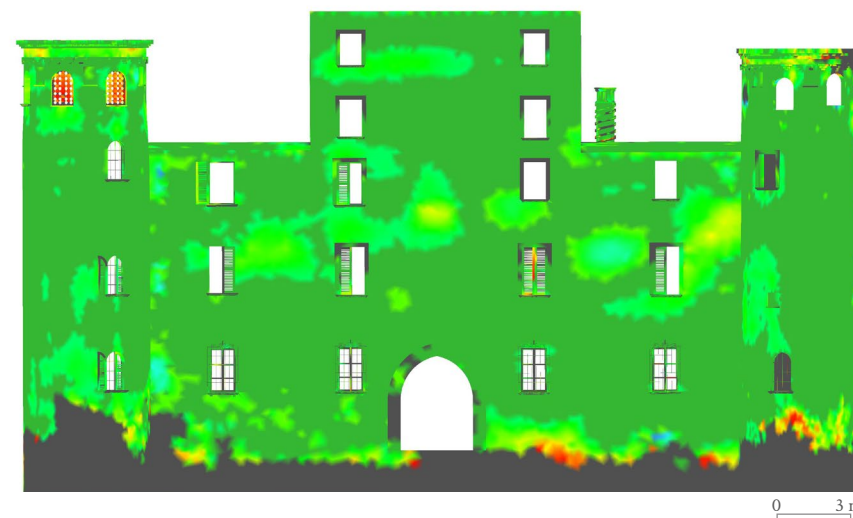
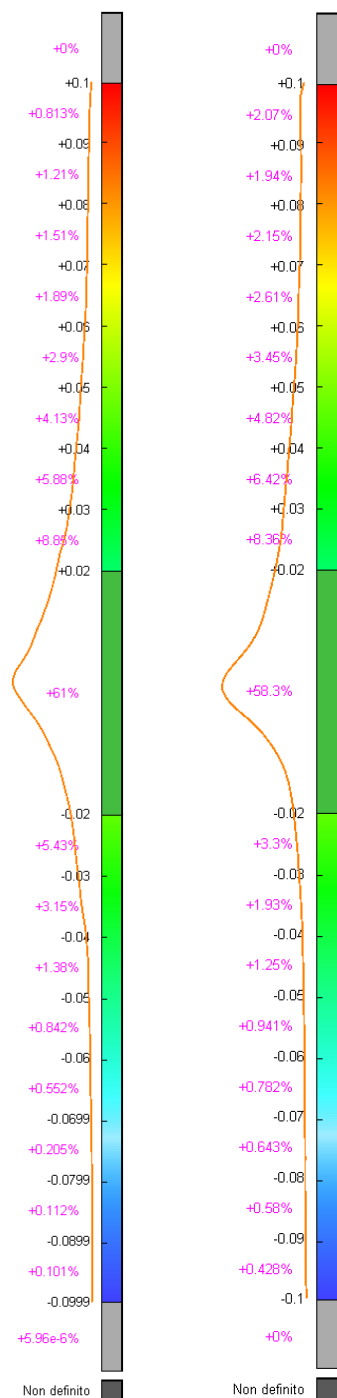
Nonostante i valori della prima verifica di accuratezza fossero di buon livello, ci è sembrato opportuno aumentare il valore percentuale presente nel dominio compreso tra + 2 cm e - 2 cm. Per compiere questa operazione ci siamo concentrati sulle aree in cui era presente un alto valore di scostamento del modello 3D dalla nuvola di riferimento (valori prossimi ai 8-9 cm). Una volta individuate queste aree nei corrispettivi prospetti, siamo andati ad agire sull'oggetto generatore dell'elemento muro: *la massa concettuale*.

La creazione della nuova massa è avvenuta usufruendo dei piani di sezione originari e dalla creazione di nuovi piani di raffittimento nei quale si è andato a ricalcare nuovamente la nuvola. Questa azione ha permesso di raggiungere valori prossimi al 60 % sia per il modello LiDAR che per quello fotogrammetrico.

Bisogna precisare che il basso margine di miglioramento del modello fotogrammetrico è dovuto al fatto che la nuvola presenta numerosi punti negli spazi interni. Questo vuol dire che nel momento in cui si decide di seguire il profilo esterno con le masse, l'estrusione verso l'interno del muro non seguirà mai precisamente il profilo interno; a meno che non si generi il muro in due parti, o per sezioni trasversali, ma questo limiterebbe le funzioni del programma utilizzato.

In sintesi possiamo ritenere che il metodo da noi utilizzato per la creazione del modello 3D (segmentazione nuvola di punti tramite piani di sezione e successiva creazione di una massa concettuale) ci ha conferito un ottimo risultato capace ancora di essere migliorato.

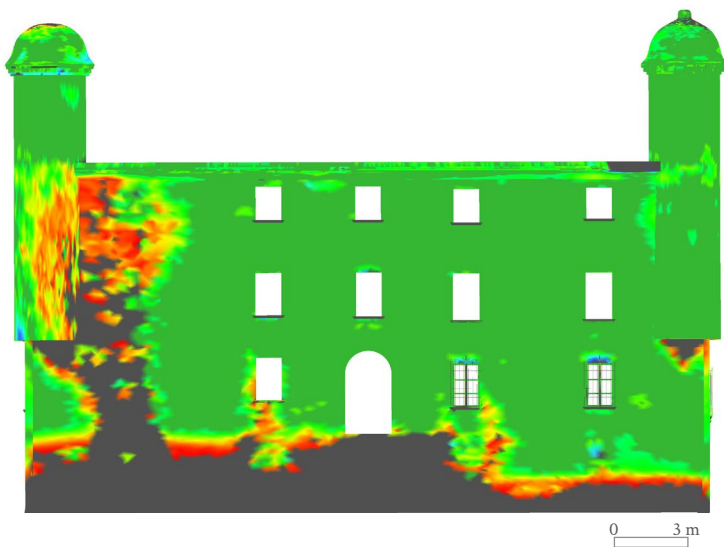
► 44. Grafici e scale colori della seconda ispezione
Il grafico a sinistra è riferito al modello LiDAR, a destra quello fotogrammetrico.



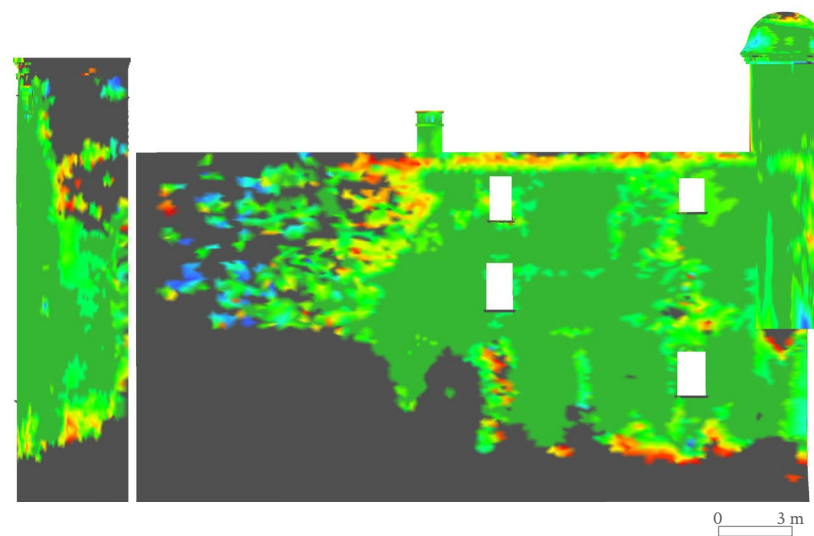
▲ 45. Prospetto Sud del modello LiDAR (seconda ispezione)
Per i colori far riferimento al grafico a sinistra della pagina precedente.



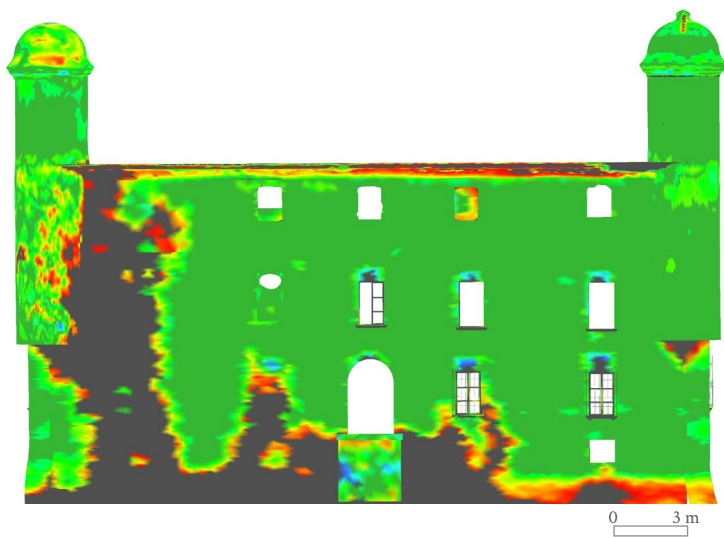
▲ 46. Prospetto Sud del modello fotogrammetrico (seconda ispezione)
Per i colori far riferimento al grafico a destra della pagina precedente.



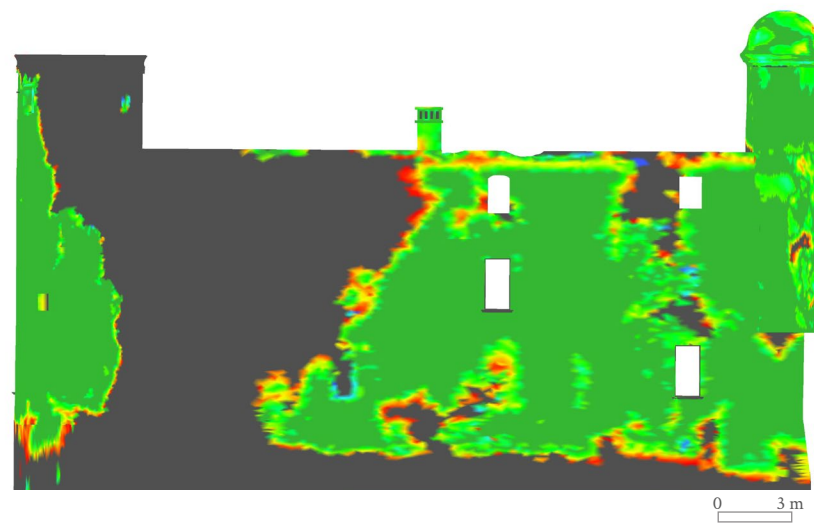
^ 47. Prospetto Nord del modello LiDAR (seconda ispezione)



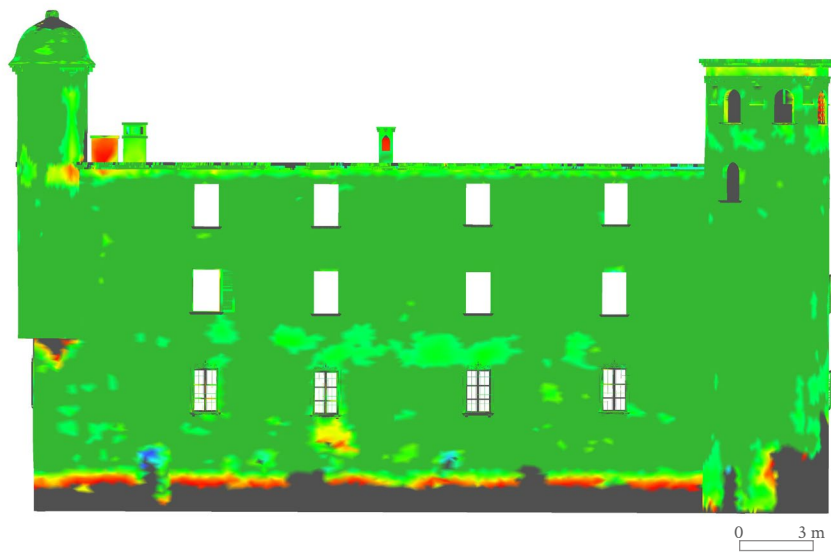
^ 49. Prospetto Est del modello LiDAR (seconda ispezione)



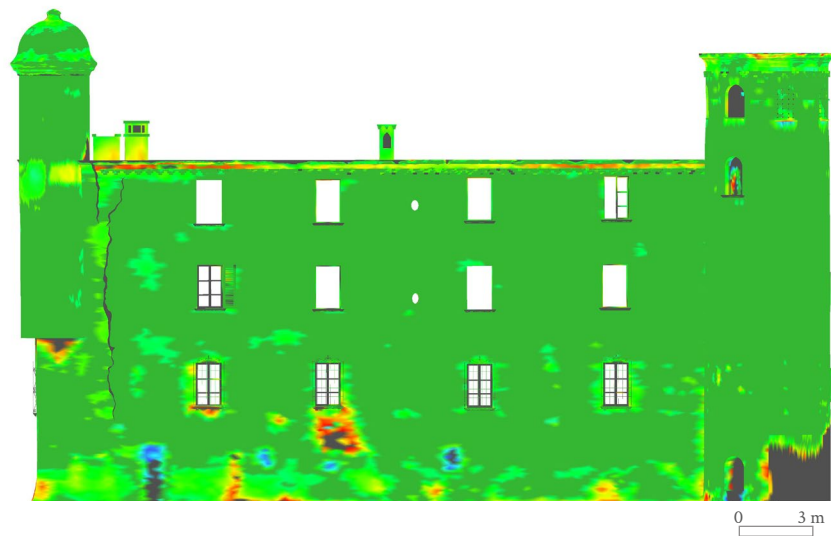
^ 48. Prospetto Nord del modello fotogrammetrico (seconda ispezione)



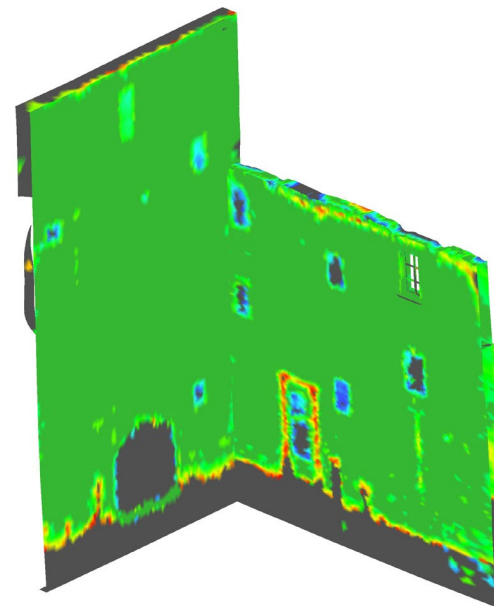
^ 50. Prospetto Est del modello fotogrammetrico (seconda ispezione)



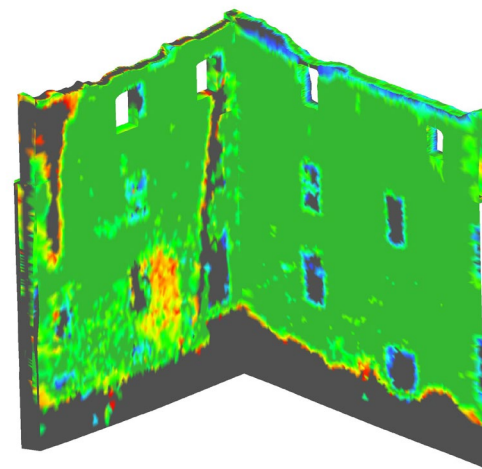
^ 51. Prospetto Ovest del modello LiDAR (seconda ispezione)



^ 52. Prospetto Ovest del modello fotogrammetrico (seconda ispezione)



^ 53. Prospetto Sud e Ovest interni del modello fotogrammetrico (seconda ispezione) (fuori scala)



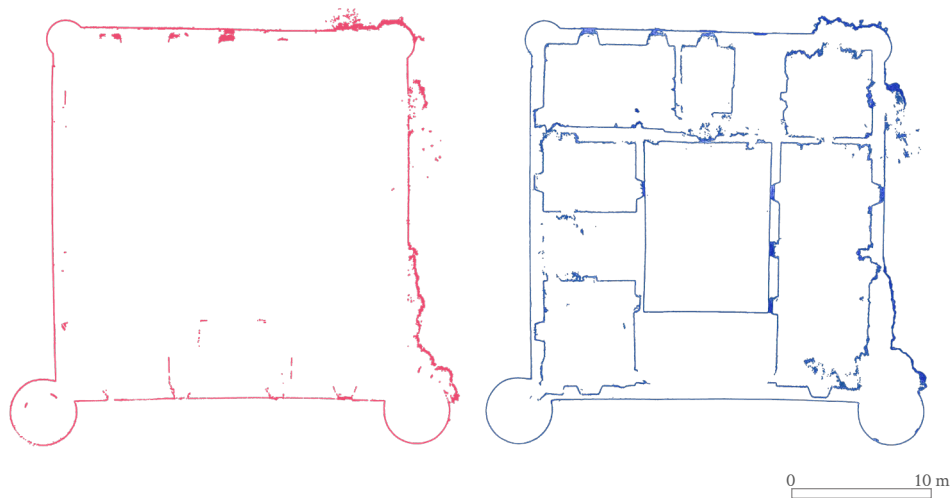
^ 54. Prospetto Nord ed Est interni del modello fotogrammetrico (seconda ispezione) (fuori scala)

AFFINAMENTO MODELLO SCELTO PER ANALISI FINALI

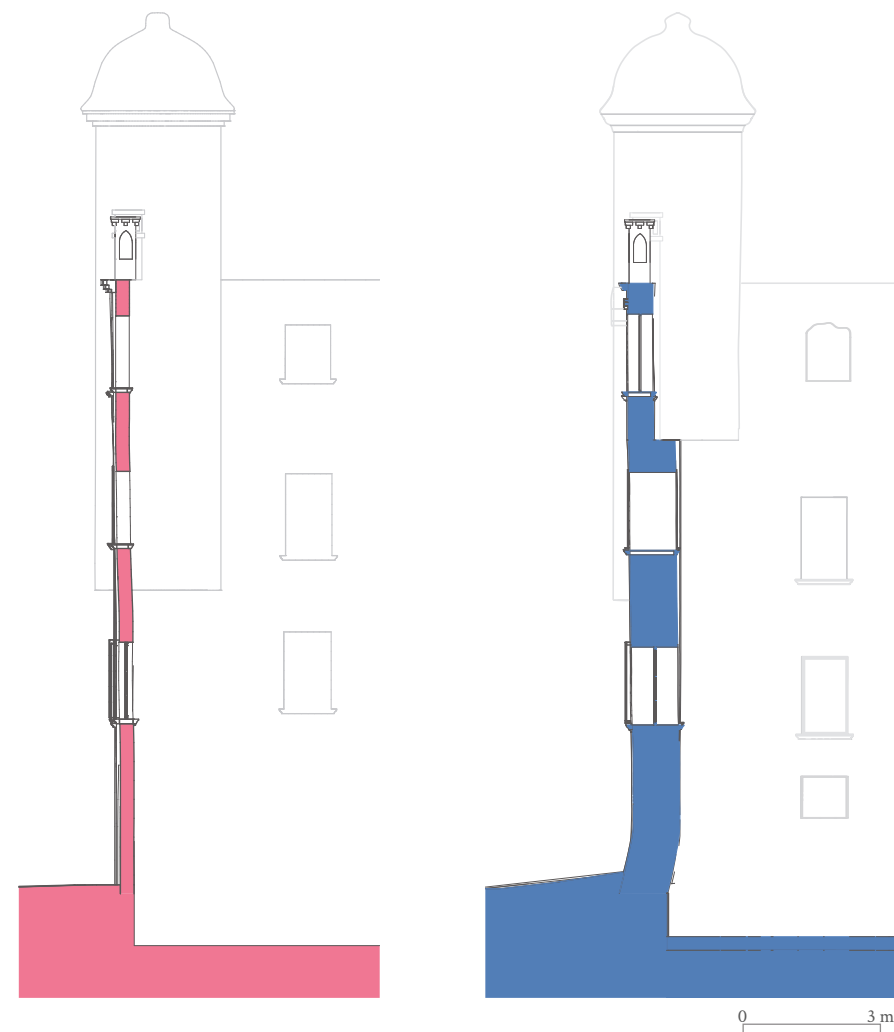
Per la fase finale di analisi abbiamo deciso di procedere con l'affinamento di uno dei due modelli 3D creati.

Il modello da noi scelto è stato quello derivante dalla nuvola fotogrammetrica che presentava una accuratezza finale nuvola-modello del 58.3%.

La ragione principale della scelta è dovuta al fatto che la nuvola fotogrammetrica ci forniva la possibilità di rilevare i muri interni e relativi spessori (a differenza della nuvola LiDAR).



^ 55. Vista in pianta delle due nuvole
A sinistra la nuvola LiDAR, a destra quella fotogrammetrica.



^ 56. Sezioni del prospetto Ovest
A sinistra il modello LiDAR, a destra quello fotogrammetrico.

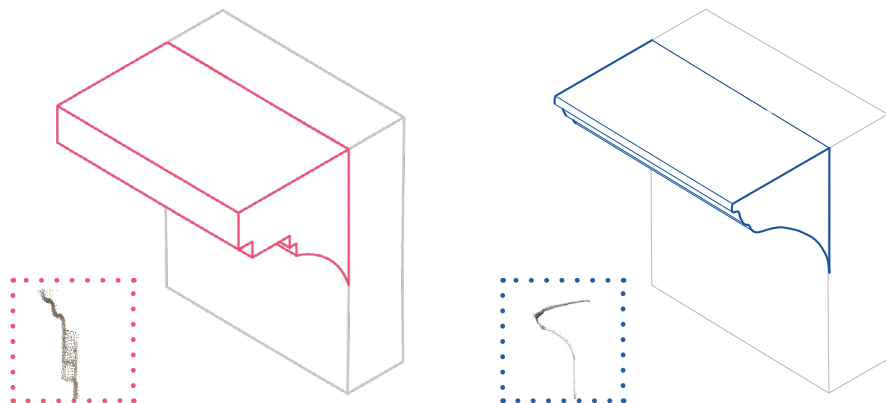
Per la scelta degli elementi decorativi da utilizzare nel modello finale abbiamo optato per quelli prodotti dal modello della nuvola LiDAR.

Come si può osservare dalle immagini, i profili prodotti dalla nuvola fotogrammetrica tendono a essere molto più curvilinei rispetto a quelli prodotti dalla nuvola LiDAR, non

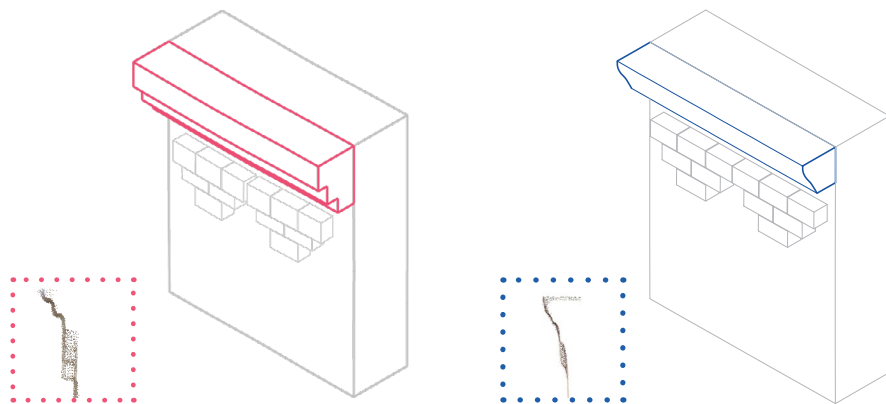
permettendo, di fatto, di ricostruire al meglio i profili delle decorazioni.

2 WORKSET

Una volta terminato l'affinamento del modello 3D si è proseguito con l'elaborazione di un *workset* di lavoro.



^ 57. Cornicione prospetto Nord (fuori scala)
A sinistra il modello LiDAR, a destra quello fotogrammetrico. Nel primo, la nuvola ha rilevato con precisione il profilo del muro, determinando un modello molto simile al reale.



^ 58. Cornicione prospetto Ovest (fuori scala)
A sinistra il modello LiDAR, a destra quello fotogrammetrico.

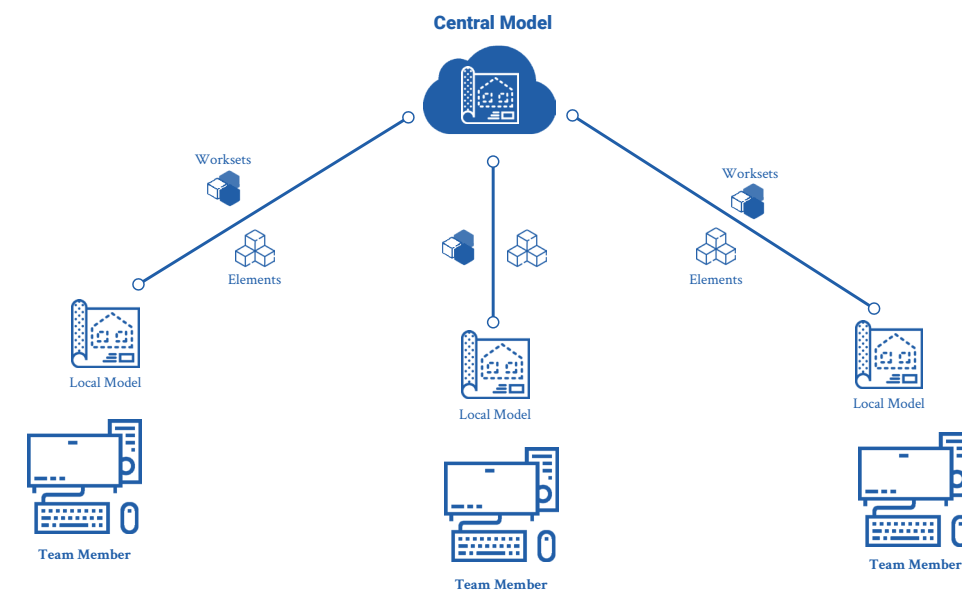
Tali *workset* permettono a più persone di lavorare contemporaneamente su un unico file. Questa condivisione del modello 3D concede di risparmiare tempo e di evitare perdite di informazioni che si potrebbero verificare se si lavorasse su più copie di file.

Per la creazione del *workset* abbiamo utilizzato una cartella di condivisione online di *Google Drive*.

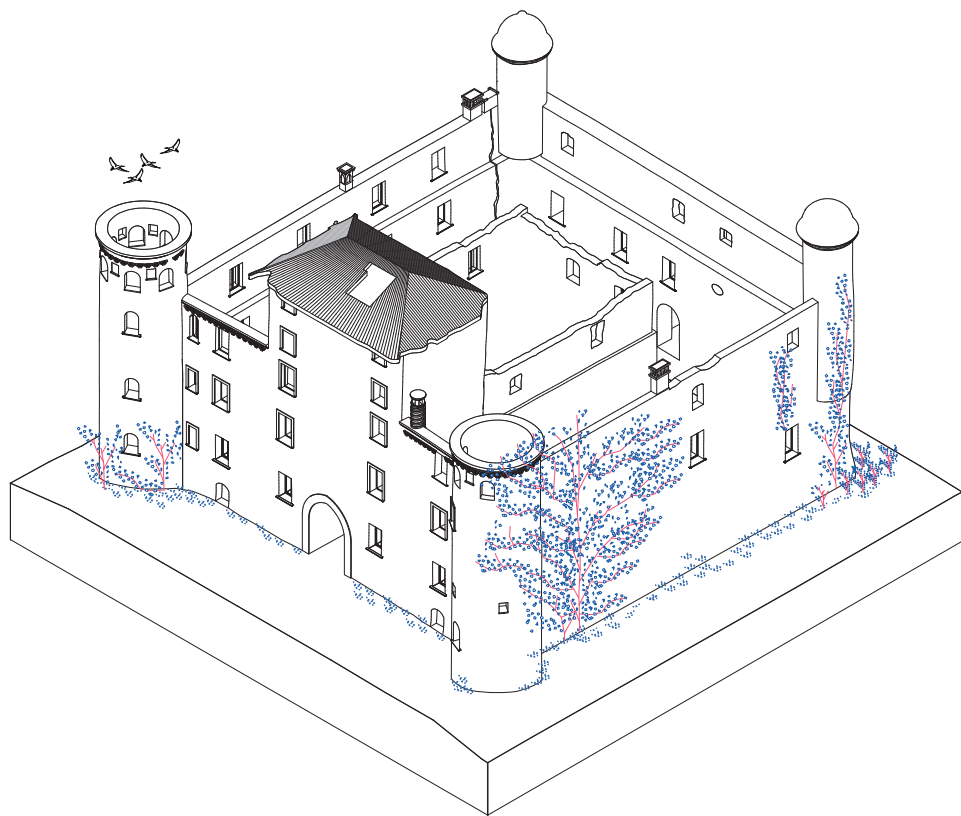
coordinate traslate accennate ad inizio capitolo, ma facendo riferimento alla [fig. 8](#) si può risalire al vettore traslazione del modello UAV (predefinito per la modellazione) e riportare il tutto alle coordinate globali.

3 MODELLO DEFINITIVO

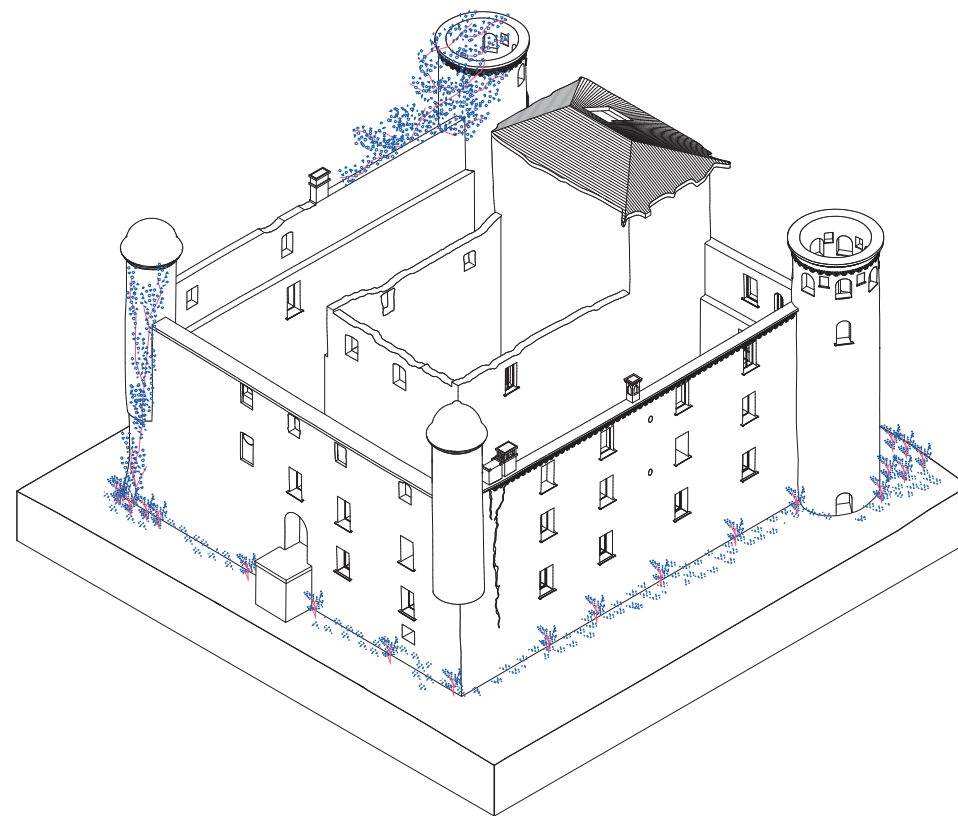
Nelle pagine seguenti sono state riportate due assonometrie che inquadrano il modello finale nella sua interezza. Questo ha ancora le



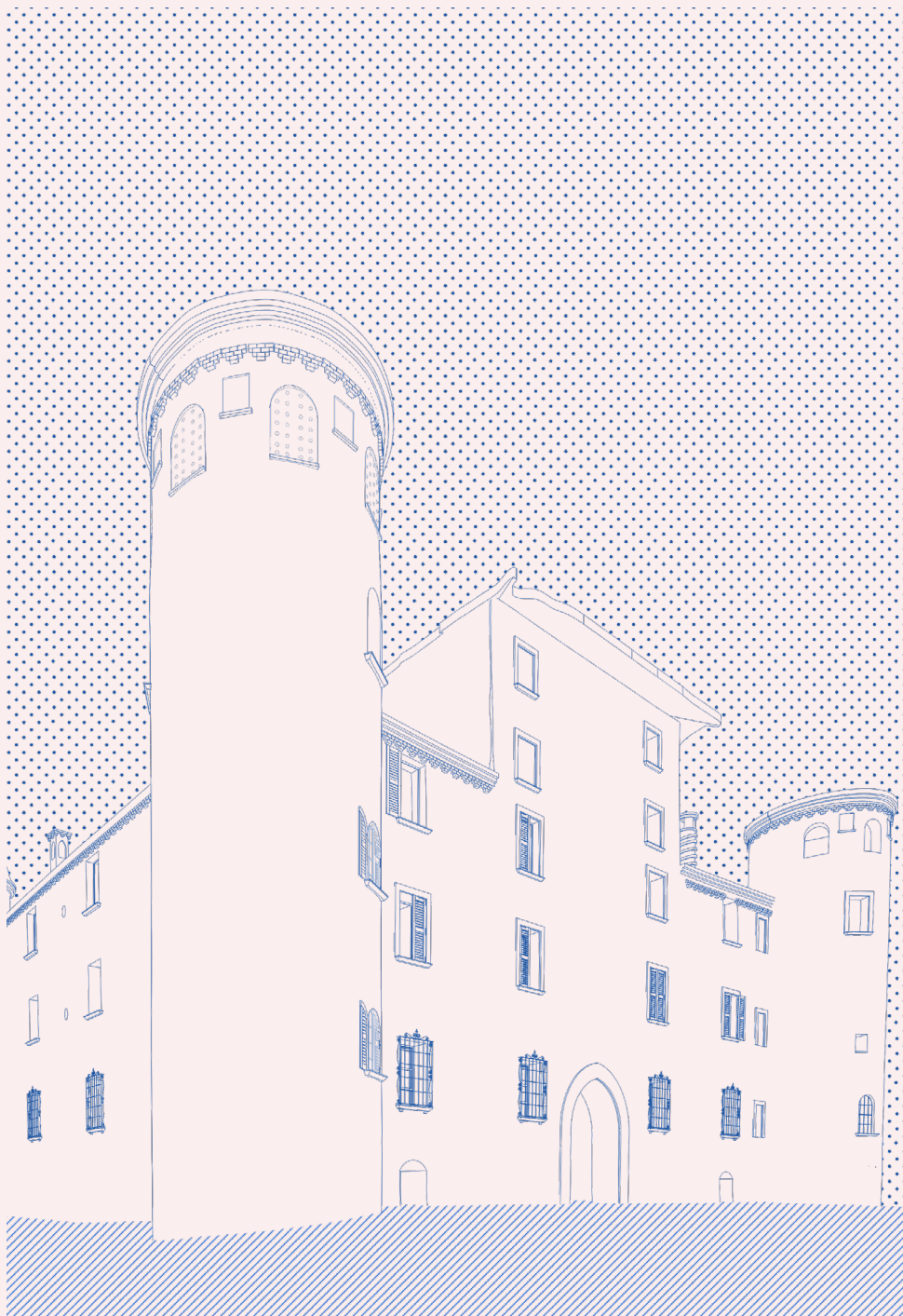
^ 59. Schema di funzionamento del worksharing
(fonte rielaborazione: PALMA R., *Come partire con un team di lavoro di più persone con Revit (WORKSET)*, corsorevit.com, 04/05/15)



▲ 60. Assonometria lato Sud-Est del modello definitivo
 (fonte: elaborazione degli autori con software Autodesk Revit 2020)



▲ 61. Assonometria lato Nord-Ovest del modello definitivo
 (fonte: elaborazione degli autori con software Autodesk Revit 2020)



.7 CONCLUSIONI

In questo capitolo è stata approfondita la fase di modellazione in ambiente BIM con il programma *Autodesk Revit*. L'elaborazione del modello 3D è avvenuta con una azione di ricalcatura della nuvola di punti che, con l'aiuto di un determinato numero di piani di sezione, ci ha a definito il profilo esterno delle murature del Castello. Grazie a questo tipo di modellazione è stato possibile ad ottenere un modello che rispetti fedelmente la nuvola di punti e tale da fornirci, di conseguenza, degli elaborati grafici di alta precisione.

Essendo stati prodotti due modelli 3D, uno equivalente alla nuvola LiDAR e l'altro equivalente alla nuvola fotogrammetrica, si è potuto constatare il grado di precisione di quest'ultimi con le rispettive nuvole di punti. Infine, si è prodotto un unico modello 3D accorpando le informazioni dei due modelli, dai quali sono stati estrapolati elaborati 2D, utili per la restituzione del rilievo.

5.

VPL PER L'ANALISI DEI DEGRADI

5.



.1 VISUAL PROGRAMMING LANGUAGE

Il VPL, in italiano noto come *Linguaggio di Programmazione Visuale*, è un metodo di programmazione che permette all'utente di manipolare il codice per mezzo di elementi grafici e testuali.

Un software VPL tipicamente si basa sulla composizione di *boxes and arrows*, dove i *boxes* sono i blocchi contenitori di codice e gli *arrows* rappresentano il collegamento logico tra essi. Questo permette l'assemblaggio e la creazione di strutture a grafico rappresentanti il codice sorgente; quindi, non sono altro che diagrammi di flusso, che sintetizzano un processo logico.¹

Questo metodo permette quindi di sfruttare la logica di programmazione senza dover per forza ricorrere alla scrittura del codice, favorendo la sua applicazione in vari ambienti di sviluppo..

Uno di questi è appunto l'Architettura-Edilizia-Costruzioni, che da poco tempo si è aperta al mondo parametrico ed algoritmico.

Concepts più intriganti, complessità formale, eleganza, sostenibilità, costituiscono elementi che possono essere controllati con il processo parametrico.

Per sua natura un concept parametrico prescinde dal risultato formale che, allo stadio iniziale, risulta spesso indefinito nella mente del progettista. Sono invece la metafora, l'algoritmo mentale, il processo logico stesso che poniamo alla base dell'intento progettuale che lo reggono, l'unificano e lo rafforzano.²

Il metodo parametrico, permette di mantenere la traccia di ogni stadio del processo, sempre aperto alle modifiche, senza che queste ne stravolgano la logica generale.

L'iter processuale del progetto parametrico segue spesso una struttura logica che va dal particolare al generale (bottom-up) nella quale il progettista si concentra a risolvere una condizione tipica del progetto [...] per poi fare in modo che l'algoritmo

¹ FIORAVANTI S., *Linguaggi di programmazione visuali, cosa sono e perché impararli*, devacademy.net

² WIRZ F., *Prefazione in Architettura parametrica. Introduzione a Grasshopper*, II Edizione, Le Pensur, Potenza, 2010, p. 8

la copi e la diversifichi a seconda delle necessità funzionali e formali, unendo il tutto in un unico gesto coerente.³

in input, attraverso una sequenza logica e finita di istruzioni elementari, impartite dall'uomo ed elaborate dal computer.⁴ [fig. 1]

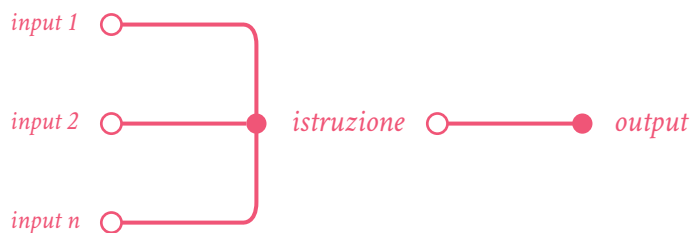
Esistono ormai numerosi software VPL sul mercato, diversificati in base al campo di utilizzo. In questa fase di ricerca andremo a sfruttare le potenzialità di due in particolare: *Grasshopper* e *Dynamo*. Il primo è un *plug-in* del software di modellazione *Rhinoceros*, il secondo integrato in *Revit*.

.1 ALGORITMI

Per risolvere al meglio un problema, conviene sempre prima scomporlo in un numero finito di passaggi più semplici. Questo modo di ragionare trova ampiamente spazio in ambito informatico, attraverso l'uso degli *algoritmi*.

Un algoritmo è un procedimento che consente di calcolare un risultato desiderato a partire dai dati

L'obiettivo dell'algoritmo non è soltanto risolvere un problema di un caso specifico, ma trovare un procedimento che possa essere utilizzato anche per altri casi omologhi.⁵ La sua struttura può rimanere invariata, vengono modificati semplicemente i valori di input. Questo è l'obiettivo che ci siamo posti: definire un procedimento applicabile al caso studio analizzato, ma che possa essere utilizzato per qualsiasi altro progetto.



^ 1. Schema di funzionamento degli algoritmi

.2 STUDIO DI UN SISTEMA DI MAPPATURA DEI DEGRADI

In questo capitolo si cercherà di trovare un modo per rappresentare i degradi direttamente sul modello BIM. Sia chiaro che questo non vuole essere una pretesa per sostituire il metodo tradizionale, ma un augurio che possa affiancarlo per rendere più immediato il processo.

Lo studio si è concentrato sull'utilizzo di due software, presentati precedentemente: *Grasshopper* e *Dynamo*. Il primo perché molto versatile, il secondo perché lavora direttamente in piattaforma *Revit*, dove è stato realizzato il modello.

.1 M1 - TRADIZIONALE

Nel capitolo 2.2 sono stati analizzati a fondo i degradi e disesti. Per fare questo ci siamo avvalsi del metodo tradizionale, in modo tale da avere un base di analisi solida e manuale. Il nostro intento è stato quello di sperimentare diversi metodi così da studiarne le relative

conclusioni finali, senza però avere la presunzione di sostituire completamente il metodo tradizionale, in quanto, anch'esso vantaggioso.

Per l'elaborazione sono state necessarie le ortofoto, che abbiamo estratto dalla nuvola fotogrammetrica dopo aver generato i DEM (*Digital Elevation Models*), modelli di superficie con i valori di altezza⁶, per ciascun prospetto. Tali valori sono stati orientati per tre punti, uno sull'asse orizzontale scelto, uno su quello verticale ed il terzo nell'origine, cercando, quando possibile, di utilizzare i target esistenti. [fig. 2]

Le ortofoto sono delle immagini che hanno subito un processo di correzione geometrica e di georeferenziazione. Da quest'ultime riusciamo a misurare le distanze reali della porzione di oggetto scelta per la creazione delle ortofoto dato che si viene a creare una vera e propria proiezione ortogonale di tale por-

³ WIRZ F., *Prefazione in Architettura parametrica. Introduzione a Grasshopper*, II Edizione, Le Penseur, Potenza, 2010, p. 8

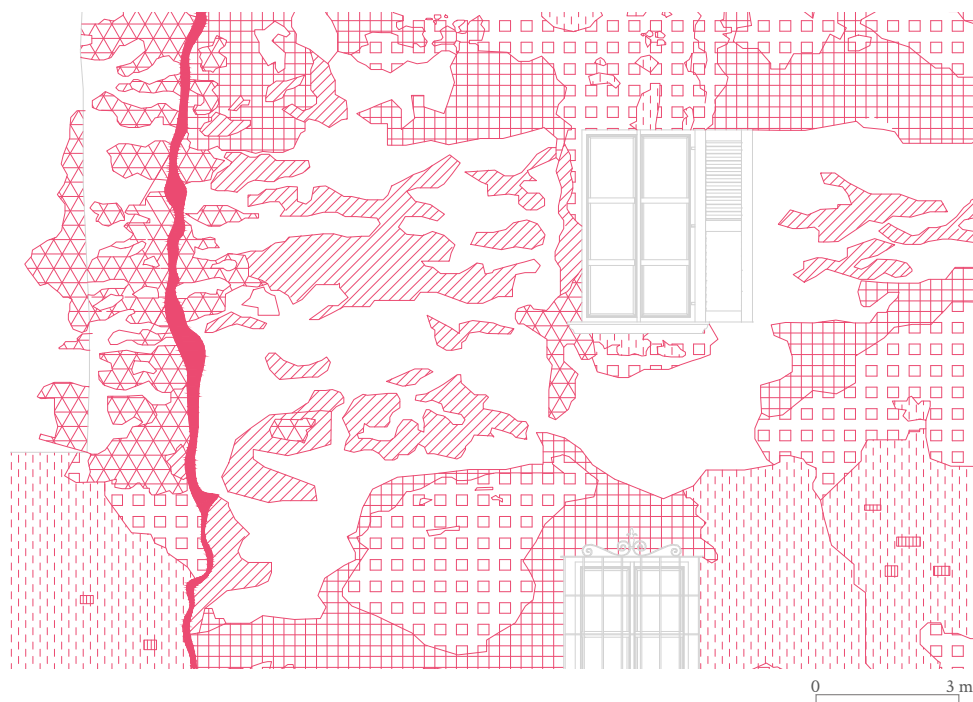
⁵ TEDESCHI A., *Architettura parametrica. Introduzione a Grasshopper*, II Edizione, Le Penseur, Potenza, 2010, pp. 15-16

⁶ *Agisoft Metashape User Manual. Professional Edition, Version 1.5*, Agisoft LLC, 2019, p. 33



^ 2. DEM e ortofoto del prospetto sud

A sinistra il DEM con la scala cromatica che rappresenta le distanze dei punti dal piano stabilito in fase di esportazione. A destra il risultato dell'elaborazione degli ortofoto.



^ 3. Analisi dei degradi con metodo tradizionale

Stralcio del prospetto sud. Per la legenda ed una visione completa, vi rimandiamo al capitolo 2.2

zione. Di fondamentale importanza è il parametro *Pixel Size* il quale, moltiplicato per la larghezza dell'immagine, permette di ottenere il fattore di scala per avere l'ortofoto correttamente scalata. A questa verrà sovrapposto i file *dwg* di ciascun prospetto estratti direttamente dalla piattaforma BIM. Con l'unione di questi due file il processo di ricalcatura dell'ortofoto può iniziare.

Il processo è semplice, ma lungo e manuale: consiste nel ricalcare tramite *polyline* o *spline* i contorni dei degradi ed applicare all'interno di essi un retino, rappresentante il tipo di degrado o dissesto.

Questo ha i suoi vantaggi. Il risultato finale sarà molto preciso ed affidabile e, dalle polilinee generate, si possono estrarre i valori del perimetro del degrado e l'area all'interno [fig.

3].

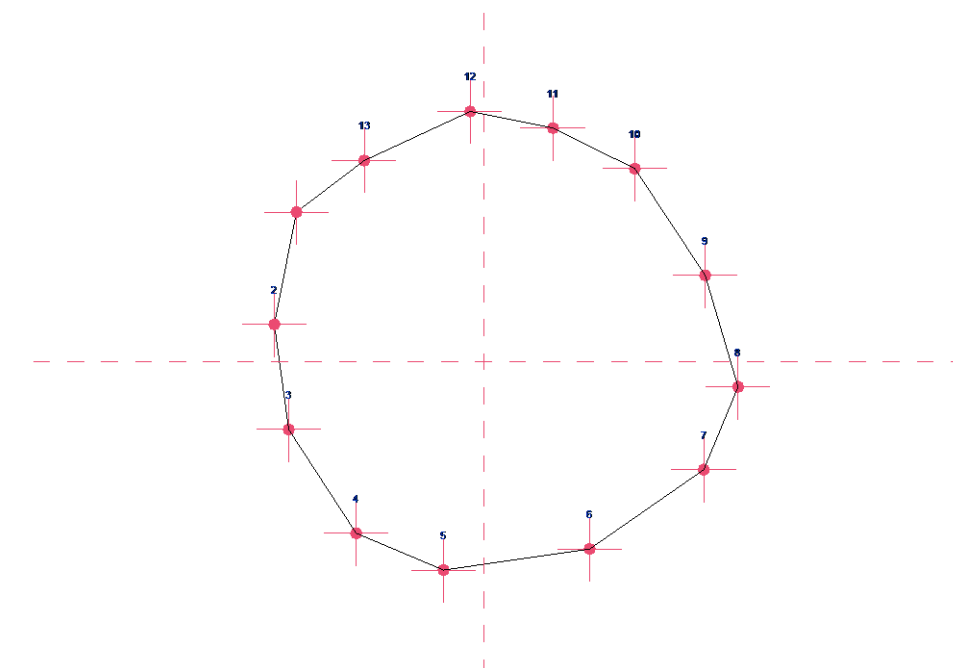
Gli svantaggi, d'altro canto, sono molteplici:

- è un processo lungo, specialmente se ci si trova davanti ad un oggetto con molti degradi;
- genera semplicemente delle polilinee 2D, che quindi non tengono conto della terza dimensione;
- l'applicazione dei retini non è sempre istantanea, spesso il software si trova ad analizzare tanti punti prima di generarli.

.2 M2 - COMPONENTI ADATTIVI

Proviamo quindi a lavorare direttamente in piattaforma BIM.

I muri del castello sono praticamente tutti fuori piombo, quindi il semplice utilizzo di masse non basta, serve qualcosa che possa se-



^ 4. Componente adattivo

Vista del piano di riferimento della famiglia di componente adattivo. La disposizione dei punti è casuale

guire il profilo irregolare del muro. Un metodo potrebbe essere quello dei componenti adattivi: questi, come lo si può intuire dal nome, si adattano alla superficie su cui vengono applicati.

Per fare ciò si crea una nuova famiglia e si disegna una forma irregolare di tot punti [fig. 4]. Da questa si crea una superficie e s'impostano i punti in modo che siano adattivi.

Fatto questo basterà caricare la famiglia nel modello ed applicarla ai muri, disponendo i punti lungo il perimetro del degrado. Sono indispensabili, anche qui, gli ortofoto, oppure la nuvola di punti usata in fase di modellazione. Il risultato è un componente quantificabile nel software BIM, ma presenta dei limiti.

L'area interna non segue perfettamente il profilo del muro [fig. 5]: i punti sono effettivamente a contatto con la superficie, come lo è anche il perimetro, ma l'area dipende solo da questi ultimi. Vengono quindi generati dei triangoli, ciascuno su un piano definito, che spesso taglia la superficie del muro.

Altro limite è il numero di punti, che deve essere impostato in partenza. Questo può essere risolto in vari modi: prendendo come riferimento il degrado che presenta più punti, generando più componenti adattivi, oppure unendo più componenti uguali. Ma questo non semplifica di certo il processo.



▲ 5. Applicazione dei componenti sul prospetto sud (fuori scala)
I vertici ed il perimetro esterno seguono la superficie, ma l'area interna è molto imprecisa

3 M3 - GRASSHOPPER: GENERAZIONE DI SUPERFICI

Individuati i limiti del metodo tradizionale (CAD) e dei componenti adattivi, che non ci hanno ancora fornito il grado di automazione voluta, siamo passati all'utilizzo di *Grasshopper*.

Questa plug-in, con l'utilizzo di algoritmi base, ci permette di gestire forme complesse nella loro interezza. Inoltre, per la sua elevata versatilità, negli ultimi anni è stato utilizzato anche per compiere simulazioni fisiche, acu-

stiche e strutturali.

Noto l'obiettivo da perseguire e la logica del programma che andavamo ad utilizzare, la domanda principale che ci siamo posti fu: come raggiungiamo questa possibile automazione?

Per rispondere a questa domanda ci siamo soffermati sullo scomporre il nostro obiettivo in passaggi logici base, chiedendoci quali fossero gli elementi che potevamo utilizzare e quali quelli da escludere dal nostro processo logico. [fig. 6]

Elementi possibili da utilizzare		
DWG	NO	ELEMENTO GIA' RIDISEGNATO
PDF	NO	ELEMENTO GIA' RIDISEGNATO
JPEG	SI	ELEMENTO NON RIDISEGNATO
MESH	SI	ELEMENTO NON RIDISEGNATO

▲ 6. Possibili elementi che si potrebbero utilizzare per compiere la sperimentazione
Gli elementi già ridisegnati non ci sono utili e per tanto vengono da subito esclusi

Gli elementi su cui abbiamo puntato per la nostra serie di analisi, sono i file *.jpeg* di ogni prospetto del Castello, ottenuti dalla elaborazione previa della nuvola di punti. Essi, oltre a descrivere in ogni suo particolare l'oggetto di studio, possono essere utilizzati come input per l'elaborazione del nostro algoritmo, grazie al fatto che *Grasshopper* riconosce il formato ed è in grado di leggere le informazioni radiometriche di tale elemento (RGB). [fig. 7]

Dato che l'obiettivo della nostra sperimentazione è di ricreare delle superfici che racchiudano i differenti tipi di degrado senza dover eseguire il processo di ricalcatura degli stessi, abbiamo utilizzato una plug-in di *Grasshopper* chiamata *Rooster*, capace di prendere come in-

put un'immagine *raster* e ricavare come output delle *Polyline* racchiudenti aree che presentano stesse informazioni radiometriche. [fig. 8]

Tali *Polyline*, successivamente trattate, ci permetteranno di creare delle superfici che potranno essere portate in ambiente BIM e avranno la capacità di essere riconosciute come oggetto architettonico quantificabile.

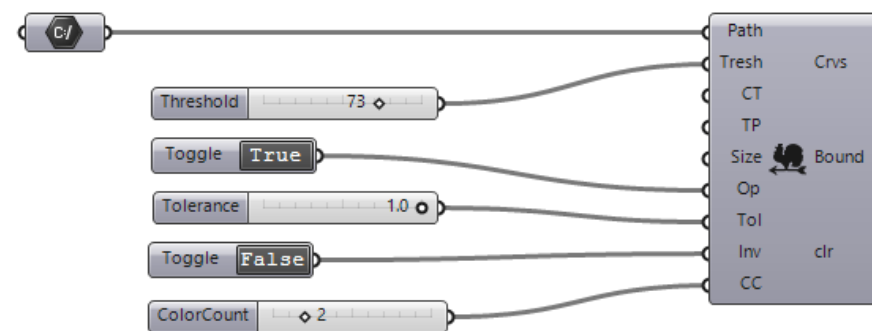
Per questa prima fase di sperimentazione abbiamo deciso di analizzare e utilizzare l'ortofoto del prospetto Ovest nella sua interezza, essendo ricco di informazioni, nonché utile per testare i limiti della plug-in utilizzata.

Essendo il *.jpeg* di prospetto pieno di informazioni, l'algoritmo crea numerose *Polyline* in base ad ogni variazione di colore.



^ 7. Ortofoto del prospetto Ovest

Parte del prospetto Ovest dalla quale si può notare i vari degradi presenti in facciata



Input: Immagine Raster

Output: Polyline

^ 8. Algoritmo base 1

Algoritmo che ci viene dato dalla plug-in Rooster

Per un riconoscimento dei degradi c'è bisogno di un processo di rielaborazione delle *polyline* create dall'algoritmo stesso. Non si può parlare di un'automatizzazione totale, tuttavia è sufficiente per fornirci un buon risultato su cui fare delle valutazioni utili per raggiungere i nostri obiettivi di sperimentazione. [fig. 9-10]

Appurato che un'immagine con un alto grado di variazione cromatica ci fornisce un elevato numero di informazioni che diventano ingestibili e non ci permettono un riconoscimento automatico del degrado, ci siamo soffermati sull'attuare delle modifiche sul *jpeg* di elevazione. Ci siamo chiesti: cosa cambierebbe se modificassimo il contrasto, la luminosità e la saturazione dell'immagine?

Come risposta alle nostre domande abbiamo ottenuto diversi risultati. Quello più interessante riguarda la modifica che prevedeva di trasformare l'immagine in bianco e nero garantendo una delimitazione più marcata fra le aree presenti nel *jpeg*. [fig. 11]

Tale modifica è stata eseguita con lo strumento Adobe Photoshop che ci permette di andare ad editare a piacimento il *jpeg* d'analisi.

Una volta che l'immagine corretta viene set-

tata dall'algoritmo, il numero di *Polyline* generate diminuisce. Il problema che si riscontra con questo metodo è che alcuni degradi non vengono letti e c'è bisogno, come nel caso precedente, di apportare delle rielaborazioni delle aree soggette dal degrado. [fig. 12]

Avendo appurato i risultati che si possono ottenere dalla plug-in senza apportare modifiche consistenti all'immagine di base, l'ultimo step della nostra sperimentazione si concentra su come far sì che la plug-in ci fornisca risultati immediati e senza aver bisogno di una rielaborazione finale per riconoscere la superficie deteriorata.

Essendo una plug-in che funziona bene su aree di colorazione ben definite, abbiamo deciso di analizzare i degradi presenti in una parte di prospetto Ovest e di assegnare a ciascun degrado un colore differente. [fig. 13]

Questo passaggio, che prevede una fase di ridisegno iniziale o che può essere ottenuto dalla modifica di alcuni parametri del *jpeg*, fa sì che il tool riesca a riconoscere perfettamente le aree di interesse. Un aumento o una dimi-



0 2 m

^ 9. Parte del prospetto Ovest originale utilizzato per testare plug-in Rooster



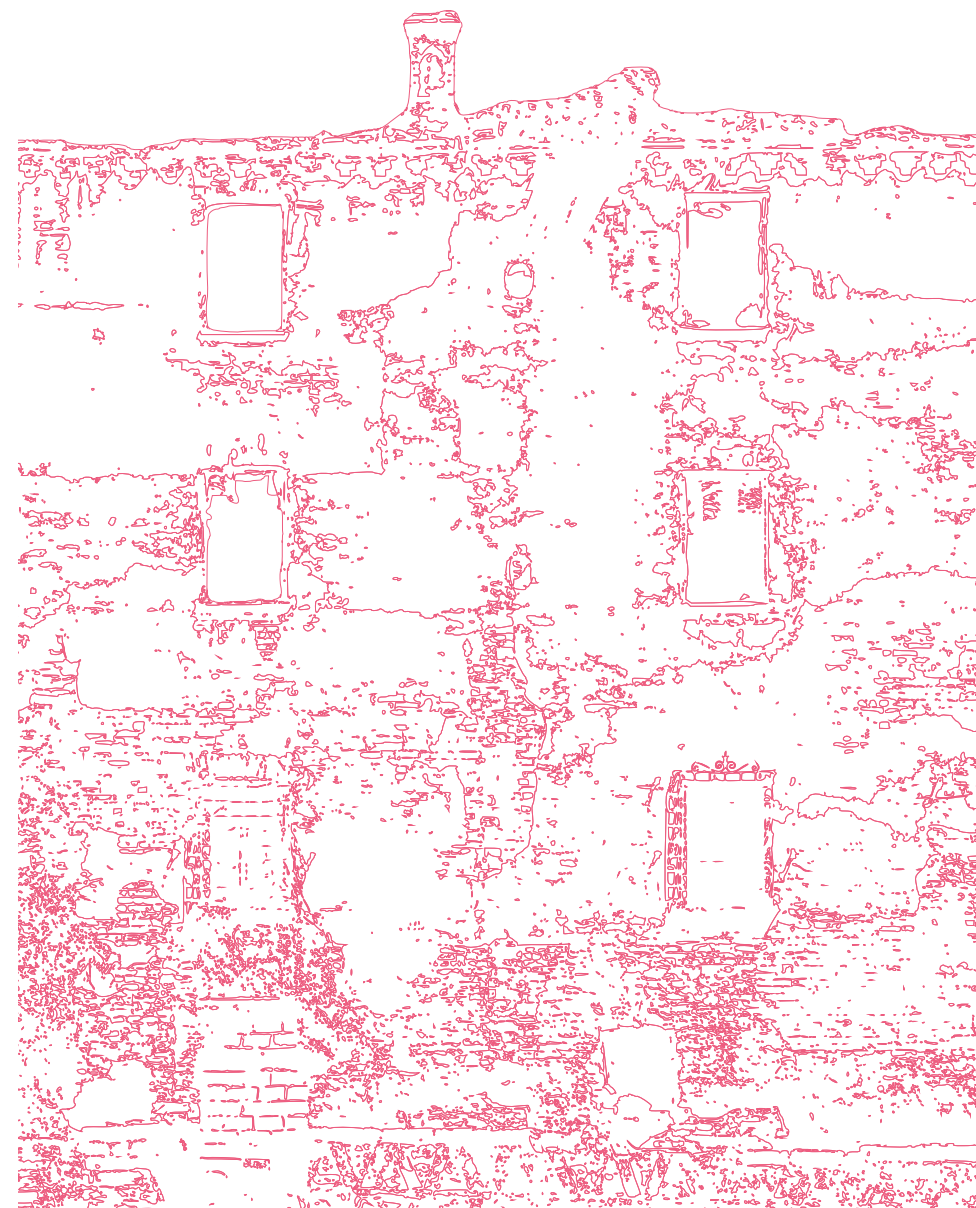
0 2 m

^ 10. Polyline ottenute da Rooster
Per ogni variazione di colore si viene a creare una Polyline ad essa corrispondente



0 2 m

▲ 11. Parte del prospetto Ovest modificato utilizzato per testare plug-in Rooster



0 2 m

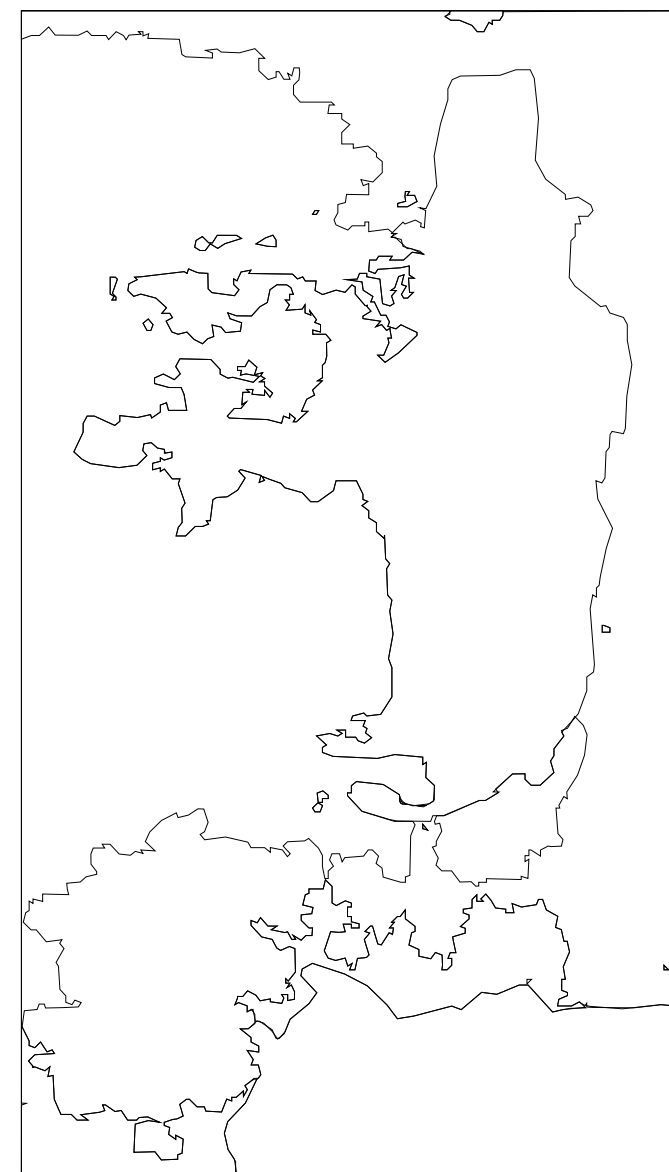
▲ 12. Polyline ottenute da Rooster

Si può notare come il numero di polyline diminuisce rispetto all'immagine numero 10



0 0.5 m

^ 13. Stralcio del prospetto Ovest con tre tipologie di degrado differenti
Verde: Alterazione Cromatica; Blu: Disgregazione; Rosso:Distacco.



0 0.5 m

^ 14. Polyline ottenute da Rooster
Per ogni area colorata si viene a creare una Polyline ad essa corrispondente



^ 15. Stralcio del prospetto Ovest con tre tipologie di degrado differenti
Verde: Alterazione Cromatica; Blu: Disgregazione; Rosso:Distacco.



^ 16. Polyline ottenute da Rooster
Polyline corrispondente all'area di colore blu



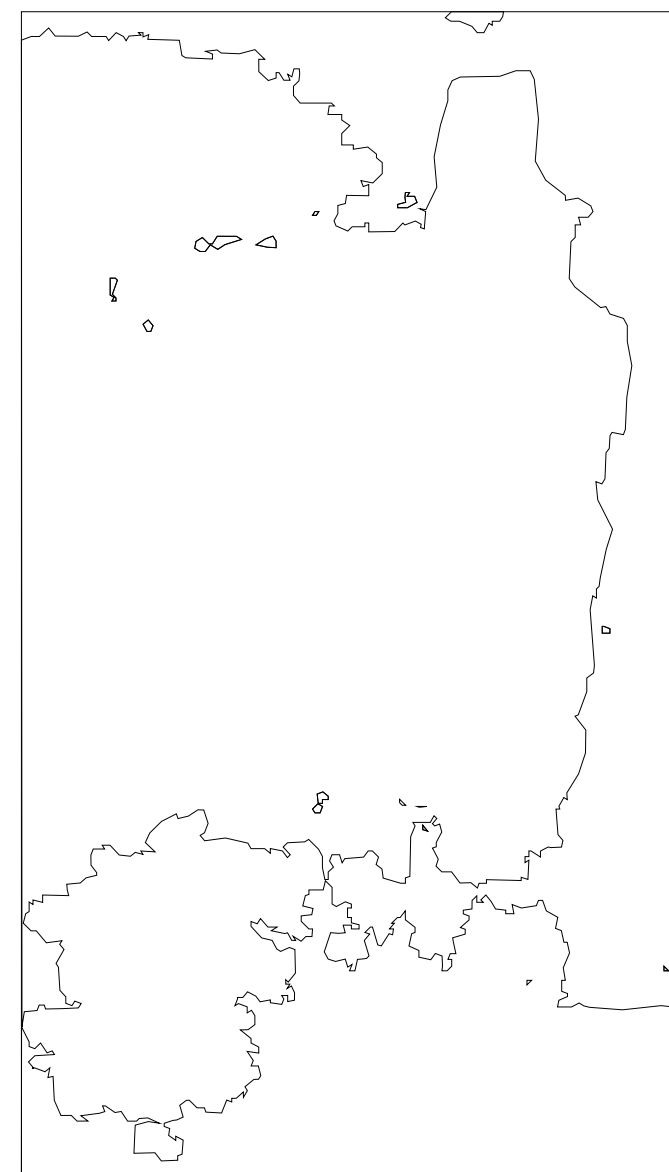
^ 17. Stralcio del prospetto Ovest con tre tipologie di degrado differenti
Verde: Alterazione Cromatica; Blu: Disgregazione; Rosso:Distacco.



^ 18. Polyline ottenute da Rooster
Polyline corrispondente all'area di colore rosso



^ 19. Stralcio del prospetto Ovest con tre tipologie di degrado differenti
Verde: Alterazione Cromatica; Blu: Disgregazione; Rosso:Distacco.



^ 20. Polyline ottenute da Rooster
Polyline corrispondente all'area di colore verde

nuzione dello *Slider* collegato al *Color Count*, che riconosce e assegna un numero ai colori presenti nell'input di base, permette l'evidenziazione di differenti curve in base al colore di loro appartenenza. Si può dire che per ciascuna area colorata si viene a creare una curva chiusa ad essa corrispondente. [fig. 14-20]

Questo elemento curva, che otteniamo come output del nostro algoritmo base 1 e che può essere editabile in ambiente *Rhino*, adesso può essere settato come input di un altro piccolo algoritmo base 2 [fig. 21] che ci permetterà di creare una superficie quantificabile ben definita. L'output dell'algoritmo base 2 verrà collegato a un'altra parte di algoritmo creata dall'aiuto di un'altra plug-in di *Rhino* chiamata

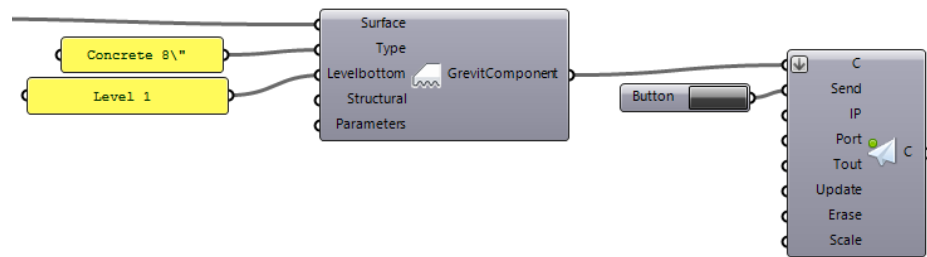
Grevit. Come suggerisce il nome, questa plug-in permette d'importare forme create con l'aiuto di *Grasshopper* in *Revit* ed assegnare all'elemento creato informazioni e dati che sono tipiche dell'ambiente BIM.

Tra i vari *component* che questa plug-in ci fornisce, quello che ha funzionato meglio e che ci ha permesso di utilizzare le *Polyline* create dall'algoritmo base 1, è stato quello che permetteva il riconoscimento di *Floor* in ambiente *Revit*. [fig. 22]

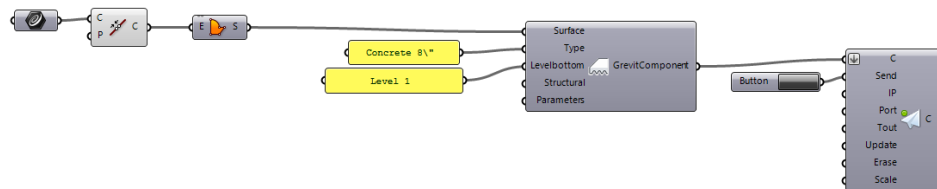
Questo oggetto *Floor* [fig. 24] viene poi referenziato all'interno del modello usando l'ortofoto opportunamente scalata e posizionata alla base del prospetto su cui si andrà a proiettare la forma. [fig. 25]



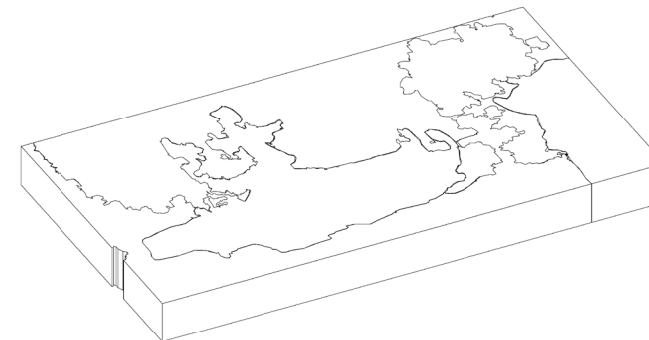
^ 21. Algoritmo base 2
Input: Curva Chiusa ; Output: Superficie ad essa corrispondente



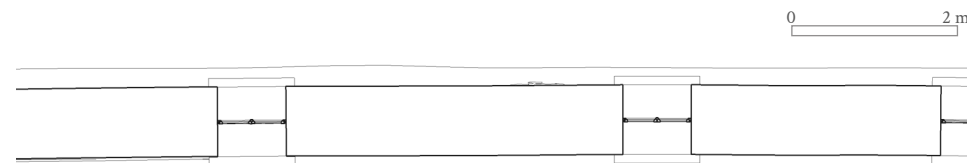
^ 22. Algoritmo Grevit
Input: Superficie; Output: Elemento Architettonico in ambiente BIM - Revit



^ 23. Algoritmo base 2 + Algoritmo Grevit



^ 24. Component generato da Grevit (fuori scala)



^ 25. Posizionamento dell'oggetto all'interno del modello
Importando l'ortofoto in pianta è possibile collocare nel piano l'oggetto generato

.4 M4 - DYNAMO: PROIEZIONE DI SUPERFICI

Per completare l'algoritmo di *Grasshopper* non bisogna far altro che trovare un modo per posizionare l'oggetto, da una posizione XYZ nello spazio, sulla superficie desiderata del modello. Per fare ciò passiamo a *Dynamo*, essendo più integrato nel software *Revit*.

Un primo metodo che abbiamo testato è la proiezione di curve su superfici. Attraverso il nodo *ProjectInputOnto* [fig. 26-27] riusciamo a proiettare una curva su una superficie, lungo una direzione definita da un vettore di coordinate XYZ, oppure, più semplicemente, nella direzione normale attraverso il nodo *PullOntoSurface*. Per evitare di dover selezionare ogni singola linea dell'oggetto, abbiamo scelto di selezionare facce da cui possono essere estratte le curve perimetrali con il nodo *PerimeterCurves*.

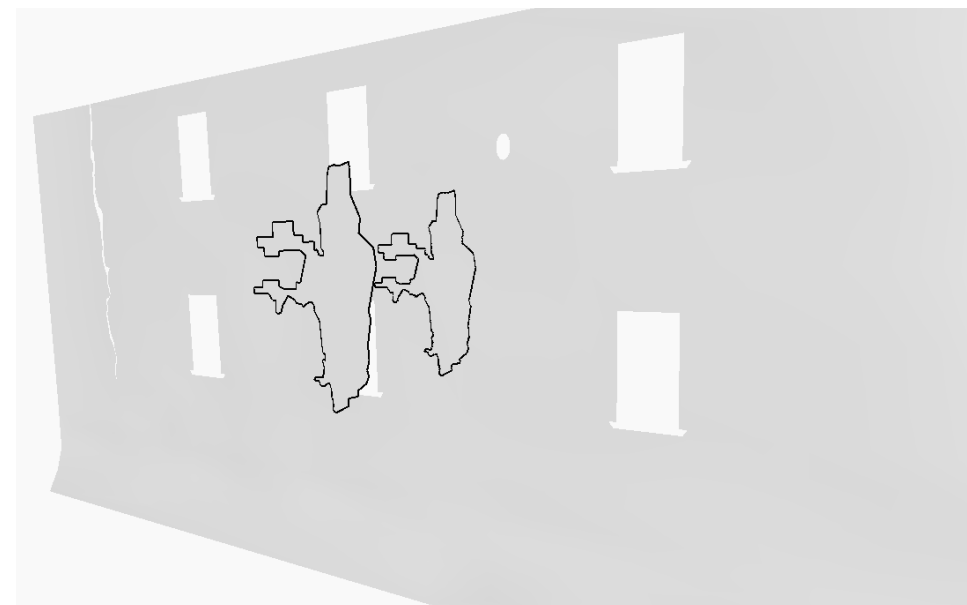
Ottenuta la curva proiettata, bisogna quindi

trasformarla in superficie e darle, se necessario, uno spessore. Per fare ciò l'algoritmo si può arricchire di ulteriori nodi, quali: *ByPatch* (genera una superficie da una curva chiusa) e *Thicken* (trasforma questa superficie in un solido di un determinato spessore).

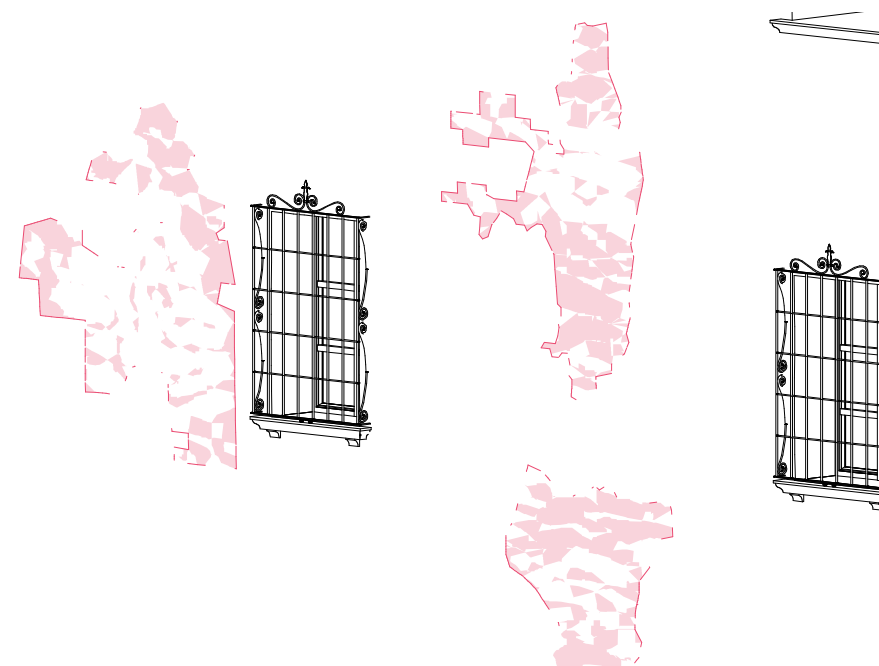
Tuttavia, il risultato non è esattamente dei migliori, ci accorgiamo infatti che, sul modello, la superficie delle curve proiettate non segue esattamente il profilo del muro, bensì lo taglia, così come accadeva per i componenti adattivi [fig. 28]. La superficie viene quindi sì proiettata ma mantenendo la propria perpendicolarità.

Questo metodo risulta di fatto molto utile quando si ha a che fare con muri perfettamente perpendicolari.

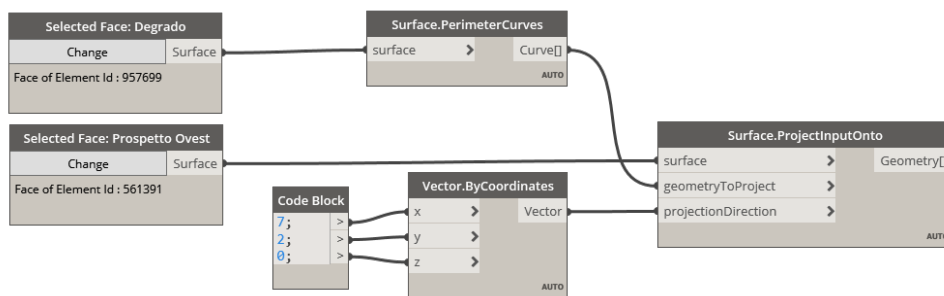
Ciò, di conseguenza, non soddisfa le nostre esigenze. Passiamo ora ad un altro approccio magari meno sofisticato ma più efficace.



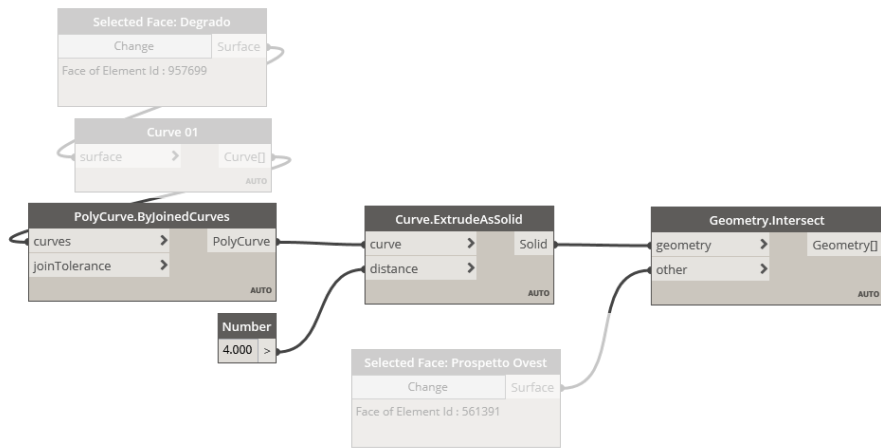
^ 27. Risultato dell'algoritmo
La superficie esterna è il nostro oggetto, quella sul prospetto è la sua proiezione



^ 28. Applicazione sul modello
Le macchie bianche indicano che parti della superficie si trovano all'interno del muro

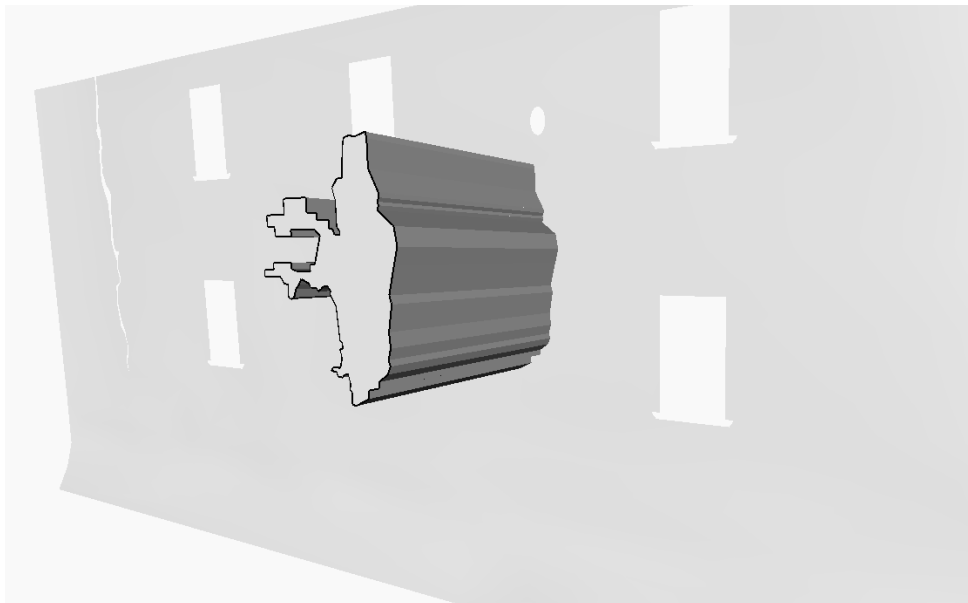


^ 26. Algoritmo *ProjectInputOnto*
Esso necessita della superficie ospitante (prospetto), l'oggetto da proiettare (curva generata del degrado) ed una direzione.



^ 29. Algoritmo Extrude-Intersect

Il nodo *Extrude* funziona solo con curve singole e chiuse, per facilitare la cosa è stato aggiunto il nodo *ByJoinedCurves*



^ 30. Risultato dell'algoritmo

La superficie viene estrusa fino ad incontrare il prospetto. Questo solido di riferimento non verrà visualizzato nel modello

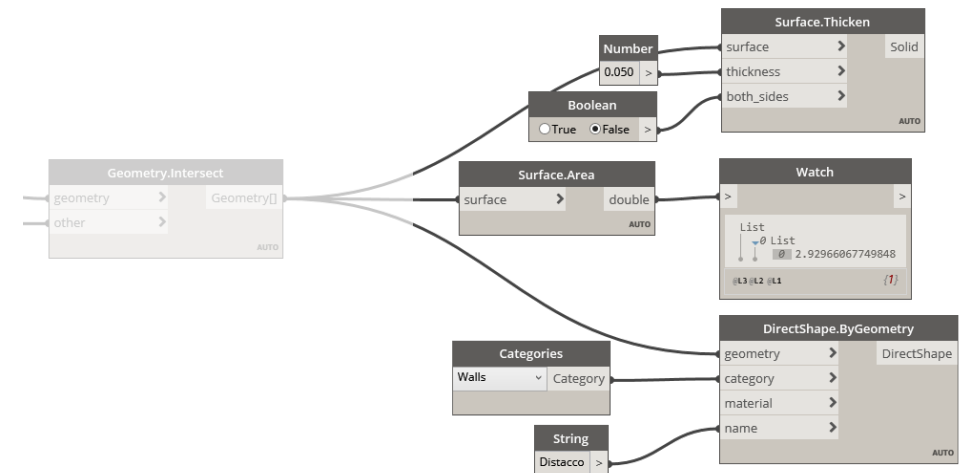
La nostra idea è quella di estrarre l'oggetto in modo tale che possa incontrare la superficie del prospetto. L'intersezione di questi due oggetti darà vita ad una superficie perfettamente in linea con le varie curvature del muro. Per fare ciò ci siamo avvalsi del nodo *Extrude-AsSolid* per estrarre il perimetro del degrado ed abbiamo utilizzato *Intersect* per generare la nuova curva data dall'intersezione con il prospetto. [fig. 29-30]

Il risultato è quindi una superficie non rettilinea che segue il profilo del muro. A questa si possono aggiungere altre informazioni, quali: lo spessore prima citato (attraverso il nodo *Thicken*), il calcolo dell'area ed il posizionamento in una determinata categoria. Nel no-

stro caso abbiamo optato per i *Walls* essendo degni relativi ai muri. [fig. 31]

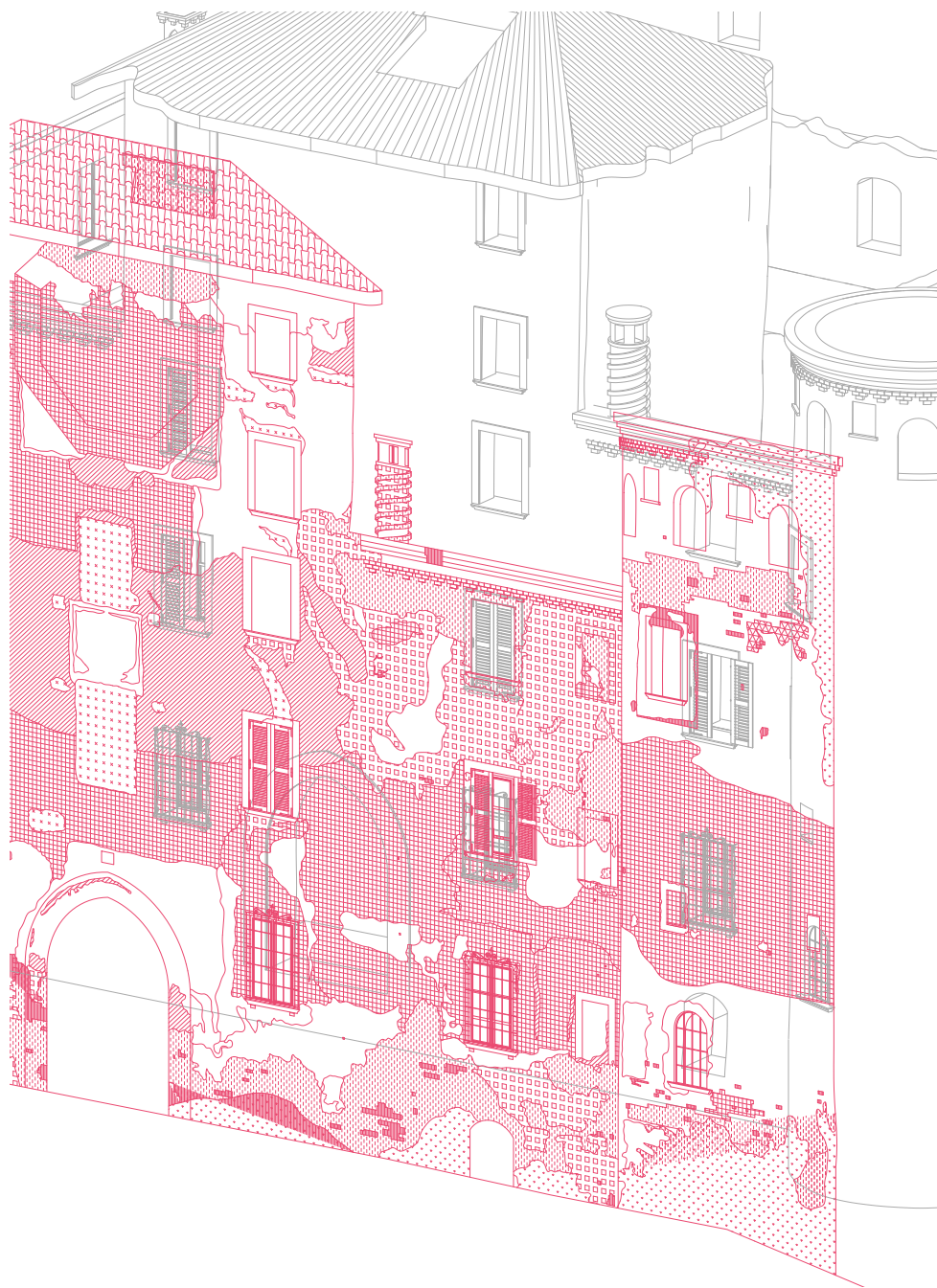
E' importante sottolineare che la forza di questo algoritmo sta nella sua varietà di applicazione. Esso infatti lo si può impiegare con qualsiasi oggetto importato, utilizzabile in Revit.

Come, per esempio, selezionare linee e superfici di un *.dwg*, frutto magari di un'analisi approfondita dei degradi. Questo fa sì che, nel caso in cui si stia lavorando con un modello che ha già ricevuto un'attenta analisi dei degradi sul CAD, si possano trasporre le sue informazioni del metodo tradizionale sul un modello BIM in modo semplice e rapido. [fig. 32-33-34-35]

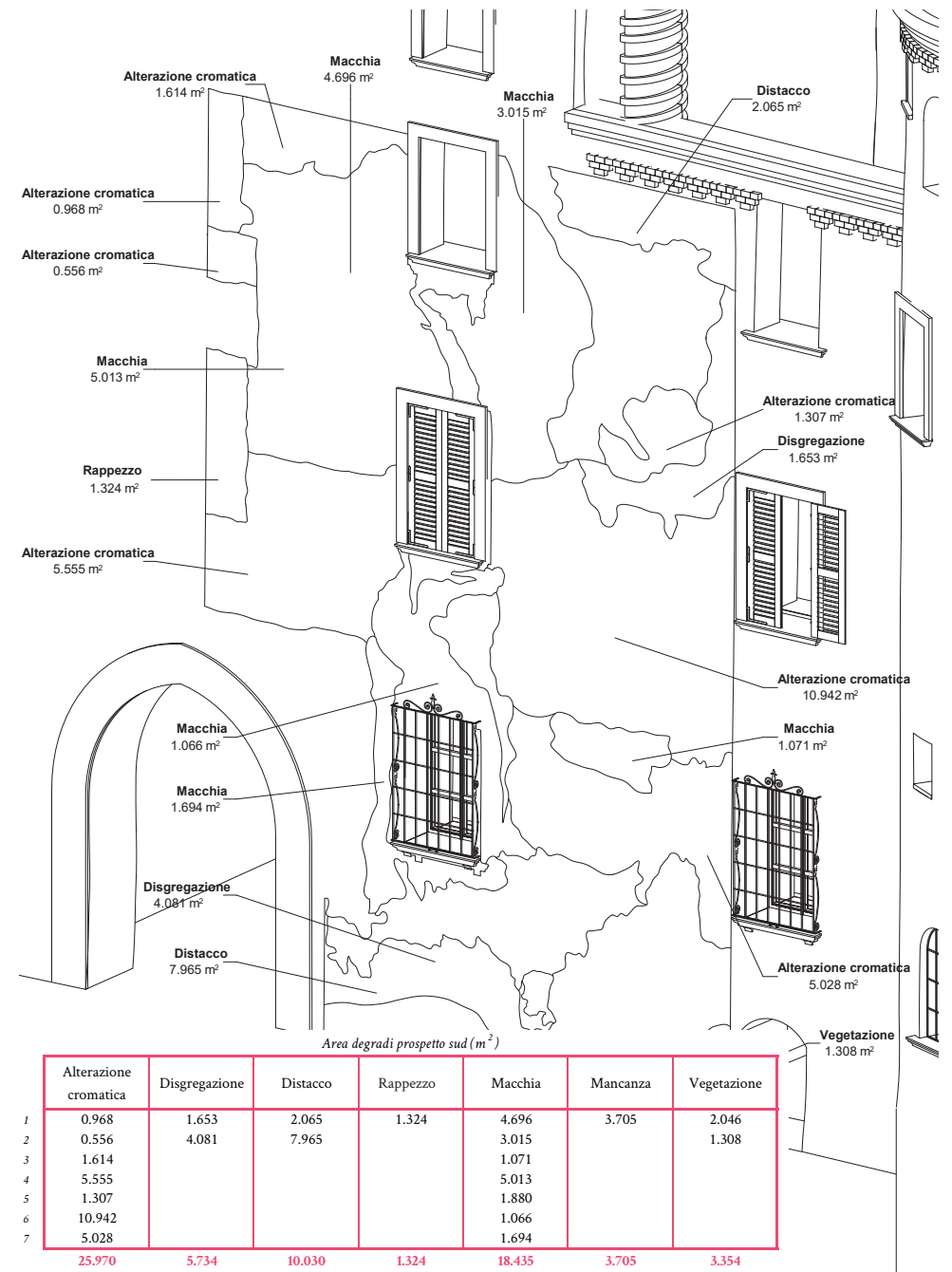


^ 31. Estensioni dell'algoritmo

Thicken per ispessire l'oggetto, Area per calcolare quest'ultima e DirectShape per posizionarlo in una categoria



▲ 32. Importazione del dwg all'interno del modello
In fucsia il dwg del prospetto Sud realizzato nella prima fase di analisi

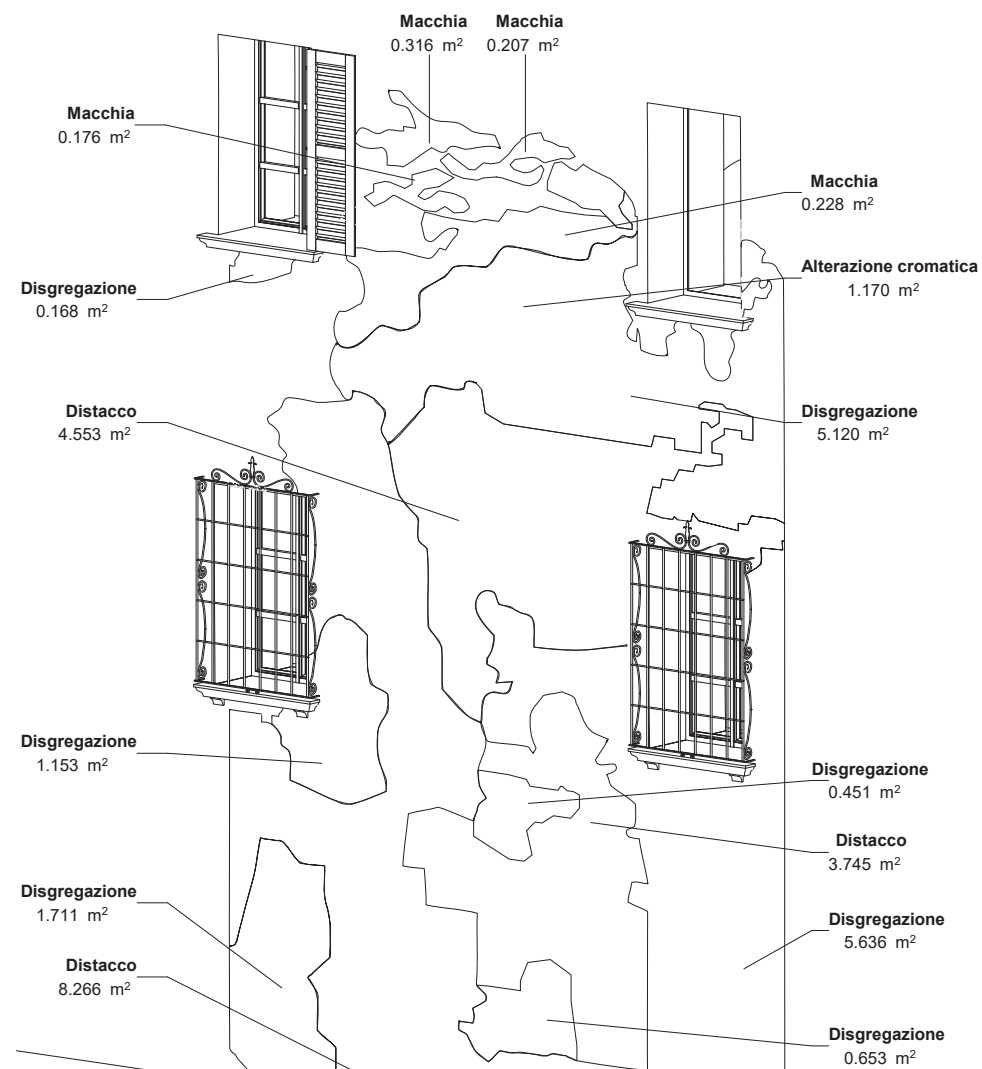


▲ 33. Proiezione sul modello e relativa schedule

Con dei semplici Wall Tag si può ottenere la tipologia del degrado (indicata con un commento su ogni forma) e l'area. In basso l'abaco di tutte le aree raggruppate per tipologia.



▲ 34. Importazione del dwg all'interno del modello
In fucsia il dwg del prospetto Ovest realizzato nella prima fase di analisi



Area degradi prospetto ovest (m²)

	Alterazione cromatica	Disgregazione	Distacco	Intonaco	Macchia
1	1.170	0.168	3.745	4.252	0.316
2		5.120	4.553		0.176
3		1.153	8.266		0.228
4		0.451			0.207
5		5.636			
6		0.653			
7		1.711			
	1.170	14.892	16.564	4.252	0.927

▲ 35. Proiezione sul modello e relativa schedule

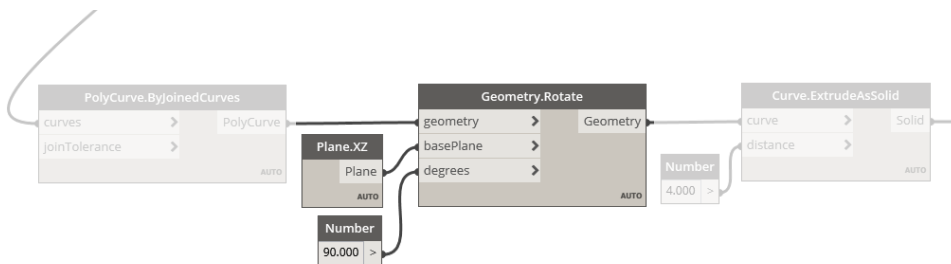
Tornando alle forme generate con l'algoritmo di *Grasshopper*, esse necessitano di essere ruotate prima di venir proiettate, poiché vengono importate con *Grevit* come solai, quindi disposte sul piano XY.

Per fare ciò basterà introdurre il nodo *Geometry.Rotate* all'interno del nostro algoritmo, che ruoterà le curve lungo il piano XZ. [fig. 36]

L'algoritmo viene quindi completato aggiungendo la categoria (*Walls*) ed un settaggio dei

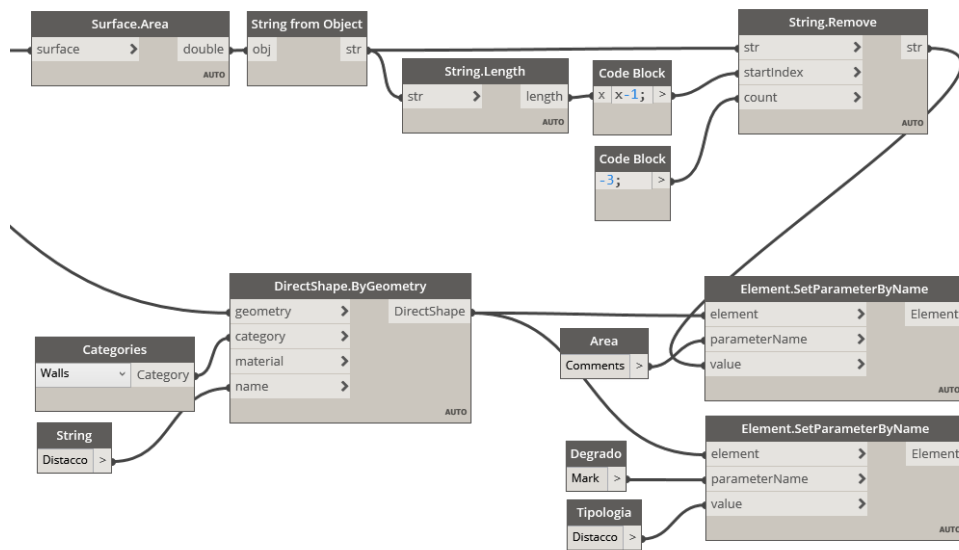
parametri utilizzati dai tag: la tipologia di degrado come parametro *Mark* e l'area, opportunamente approssimata, come *Comment*. In questo caso la scelta del tipo di parametro non è rilevante. [fig. 37]

Nel modello, tutto ciò si traduce con una serie di *Walls* perfettamente applicati sulla superficie e taggati. Si possono quindi generare abachi per avere un'idea sintetizzata di tutti gli elementi. [fig. 38]



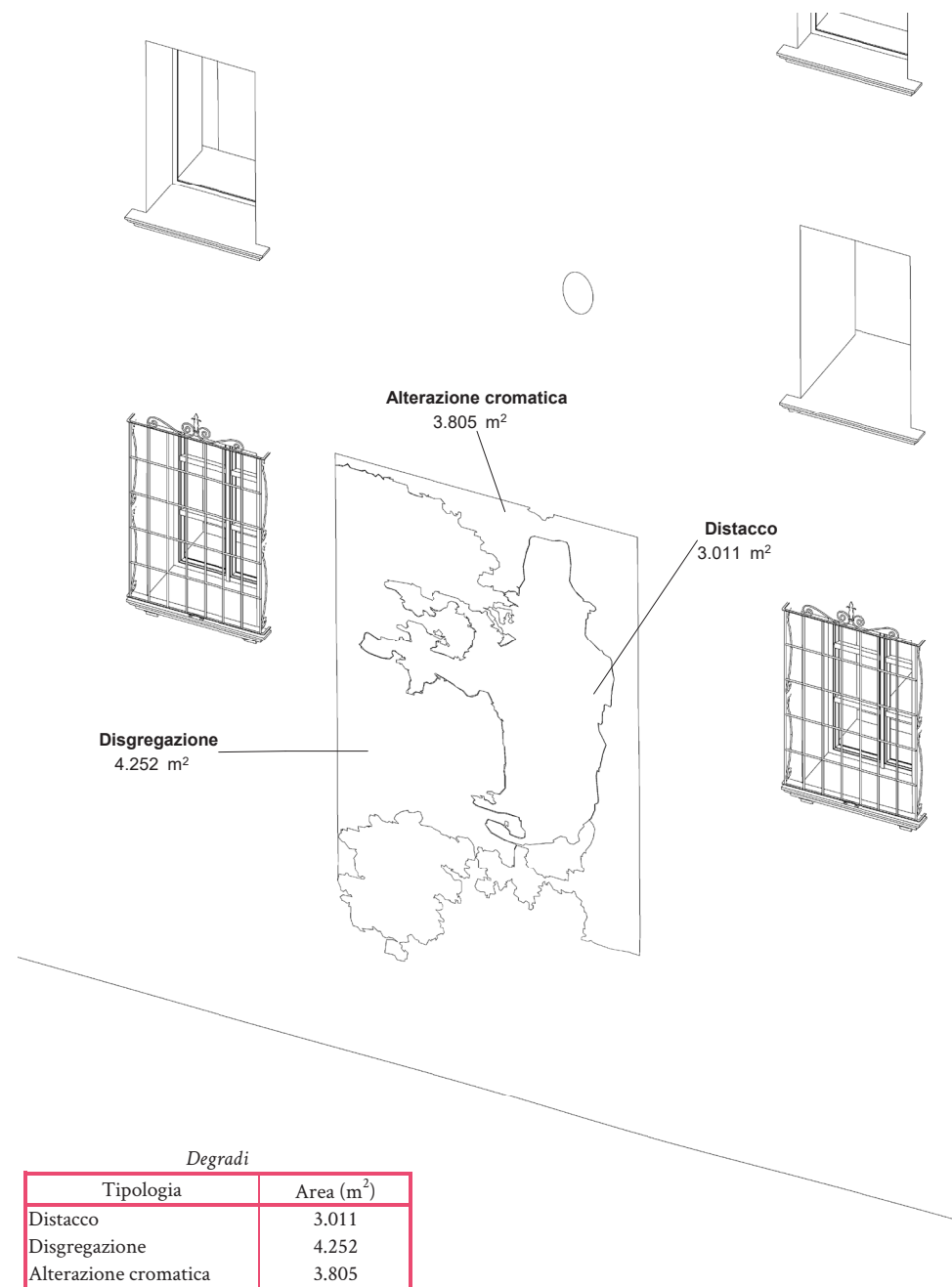
^ 36. Nodo Geometry.Rotate

Le curve, chiuse opportunamente con *ByJoinedCurves*, vengono ruotate di 90° lungo il piano XZ



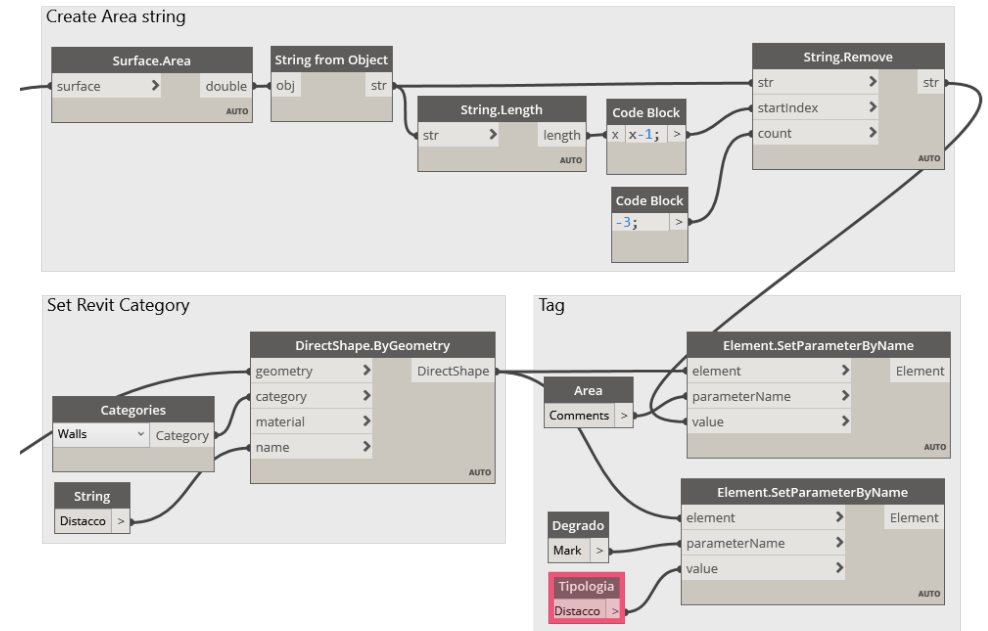
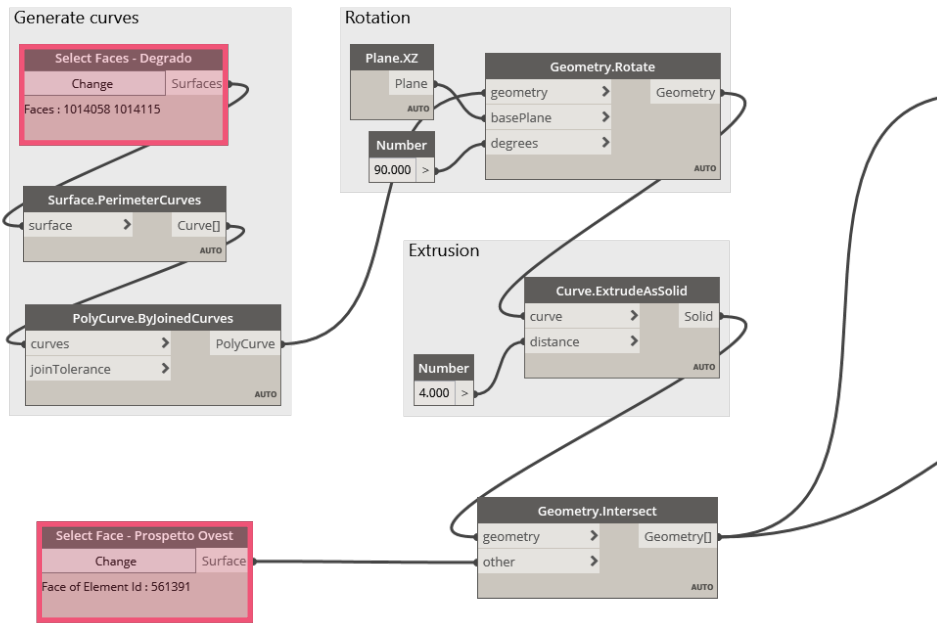
^ 37. Scelta della categoria e settaggio dei parametri

Il primo viene fatto con il nodo *DirectShape.ByGeometry*, il secondo tramite *SetParameterByName*. Uno dei parametri è l'area, che viene calcolata con *Surface.Area*, trasformata in stringa (*String from Object*) ed approssimata con *String.Remove*.



^ 38. Proiezione sul modello

Le forme generate precedentemente partendo dalle sole immagini, vengono qui proiettate perfettamente sul modello e taggate. In basso a sinistra un abaco generato dal programma



^ 39. Algoritmo di Dynamo completo

In sintesi: viene selezionata la superficie, trasformata in curva chiusa, ruotata lungo l'asse XZ, estrusa ed intersecata con la superficie del prospetto (anch'essa selezionata all'inizio). Nella pagina successiva vengono definiti la categoria dell'elemento ed i parametri utilizzati nel tag; l'area, in particolare, viene calcolata ed approssimata. I nodi in rosso rappresentano variazioni tra i vari tipi di degradi

3 CONCLUSIONI



Dopo aver modellato l'edificio ed analizzato i degradi si è passati alla ricerca di un metodo di rappresentazione di questi ultimi all'interno della piattaforma BIM. Tale proposito non ha come scopo quello di sostituire il metodo tradizionale di ricalco dei degradi, bensì dev'essere inteso come un metodo per affiancarlo e renderlo più immediato. Sono stati sperimentati vari metodi e esaminati i relativi punti di forza e debolezza, rapportati al metodo tradizionale.

Uno dei primi è stato l'utilizzo di Modelli Adattivi, i quali, come dice appunto il nome, si adattano alla superficie su cui vengono applicati. Nel nostro caso sono risultati inadatti: il tempo richiesto per disporre i punti sulla superficie e l'assenza di precisione nel seguire la curvatura del muro, sono risultati fattori molto limitanti e non incentivano ad utilizzare questo metodo.

La ricerca si è spinta sull'utilizzo del *Visual Programming Language* attraverso l'utilizzo dei software *Grasshopper* e *Dynamo*. Il nostro principale obiettivo è raggiungere l'automatizzazione, possibilmente attraverso l'impiego degli elementi a disposizione, quali ortofoto o *dwg*. Con l'algoritmo di *Grasshopper* si è giunti a generare superfici partendo dalle immagini

riquadrandi il degrado. Queste possono essere distinte in base al tipo di degrado, previa una modifica colorimetrica. Vengono, quindi, importate come componenti vere e proprie, leggibili dal software *Revit*, attraverso l'utilizzo del plug-in *Grevit*.

Nel modello, verranno posizionate nello spazio e proiettate direttamente sul prospetto desiderato, attraverso l'utilizzo di un algoritmo di *Dynamo*. A questo punto possono essere taggate e catalogate in abachi per avere un'idea immediata delle varie tipologie ed estensioni in metri quadri.

Questo metodo può essere utilizzato anche quando si possiede un'analisi dei degradi fatta in *.dwg* e che necessita di essere trasposta in BIM.

In conclusione, risulta, quindi, essere un buon modo da affiancare al metodo tradizionale e per cercare di importarlo nell'universo BIM. Bisogna però mettere in chiaro che questo metodo risulta efficace per i degradi superficiali a cui si può risalire da un'alterazione cromatica dell'immagine. I disegni dovranno essere trattati in modo differente andando ad analizzare non solo un prospetto ma l'oggetto in tre dimensioni. Tutto questo ovviamente non sarà mai un processo completamente automatizzato, ma controllato da un utente consapevole dello stato di fatto del manufatto.

RINGRAZIAMENTI

A mamma e papà che mi hanno sempre sostenuto nella mia carriera universitaria e mi hanno permesso di compiere uno degli step più importanti della mia vita.

A mio nonno che ormai non c'è più ma sono sicuro che sarebbe orgoglioso di sapere che cosa sono riuscito a diventare.

Alla mia famiglia in Ecuador e qui in Italia che porto sempre con me.

Alla mia ragazza, Ilaria, che in questo periodo mi ha sempre sostenuto e aiutato.

Ai miei fratelli non di sangue: Gustavo, Maverick y Leinnon.

Al prof. Lo Turco, Chiabrando (e collaboratori) e Naretto per il loro aiuto e disponibilità.

A Paolo, proprietario del Castello.

Al mio collega Victor, con il quale ho trascorso e lavorato per questa tesi.

Ai miei amici di università che mi hanno sempre aiutato: Alberto, Sasa, Sere, Albi Duc, Matteo C., Angelo, Koji, Ling, Alessia C., Vlad, Michele C., Elisa B., Fabrizio A.

A tutte le altre persone che mi conoscono e mi hanno sempre aiutato: Laurita, Ale. Turi, Giada, Fede, Boris, Dema, Ilaria T., ecc.

Jo

Ai miei genitori che mi hanno supportato ed assecondato ogni mia scelta fin dall'inizio.

A Olivia, che con tanta pazienza mi ha sopportato e mi è sempre stata affianco.

Ai famigliari in Italia ed in Romania che, seppur distanti, son sempre stati presenti.

A Vise, Alex, Cire, Zacca, Vivi e Ruffi, gli amici più pazzi e veri che uno possa desiderare. Momenti passati insieme che ricorderò per sempre.

Ad Albi, Sasà, Duc, Sere, Ari, Fra, Crep e Carmine, amici con cui ho condiviso in questi anni le gioie e i dolori da studente di Architettura.

Ai prof. Lo Turco, Chiabrando, Naretto e tutto lo staff del Laboratorio di Geomatica per la loro professionalità e disponibilità.

A Paolo che con la sua esperienza e conoscenza è stato in grado di farci appassionare a questo manufatto. E a Leinnon per il grande aiuto.

A Jo, compagno fondamentale in questo lungo percorso.

A Ilaria per aver fatto da occhio esterno nella realizzazione di questa tesi.

A tutti quelli che ho conosciuto in questi anni universitari e che hanno contribuito a rendere più colorita questa esperienza.

Vic

BIBLIOGRAFIA

LIBRI

BERTOCCI S. , BINI M., *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, CittàStudi Edizioni, Novara, Aprile 2012.

CENTOFANTI M., BRUSAPORCI S, MAIEZZA P., *Tra Historical BIM ed Heritage BIM: Building Information Modeling per la documentazione dei beni architettonici*, ReUso, L'Aquila, 2016.

CIGNI G., *Il consolidamento murario. Tecniche d'intervento*, Edizioni Kappa, Roma, 1978.

COMOLI V. M., *Piemonte*, Laterza, Roma, 1988.

EASTMAN C., TEICHOLZ P., SACKS R., LISTON K., *BIM handbook. A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2008.

GALETTO R., SPALLA A., *Lezioni di topografia*, CUSL, Pavia 1998.

GOMARASCA M. A., *Elementi di geomatica*, Associazione Italiana di Telerilevamento, Milano, 2004.

GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M., *op. cit.*, in: *Archeologia e Calcolatori*, n. 22, 2011.

GUIDI G., RUSSO M., BERARDIN A., *Acquisizione 3D e modellazione poligonale*, McGraw-Hill, Milano, 2010.

KENSEK K. M., NOBLE D. E., *Building Information Modeling*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2014

LO TURCO M., *Il bim e la rappresentazione infografica nel processo edilizio - dieci anni di ricerche e applicazioni*, ARACNE editrice S.r.l, Roma, 2015.

LUSSO E., *Pianura Cuneese*, in AA.VV. (a cura di), *Atlante castellano. Strutture fortificate della provincia di Cuneo*, Celid, Torino, 2010.

NOEMI GABRIELLI, *Racconigi*, Istituto Bancario San Paolo di Torino, Torino, 1972

OSELLO A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012.

SAINT AUBIM JEAN-PAUL, *Il rilievo e la rappresentazione dell'architettura*, Moretti e Vitali Editori, Bergamo, 1999.

MANUALI

Agisoft *Metashape User Manual. Professional Edition, Version 1.5*, Agisoft LLC, 2019.

POZZOLI S., BONAZZA M., VILLA W. S., *Autodesk Revit 2017 per l'Architettura. Guida completa per la progettazione BIM. Strumenti avanzati, personalizzazione famiglie, modellazione volumetrica e gestione progetto*, Tecniche Nuove, Milano, 2016.

TEDESCHI A., *Architettura parametrica. Introduzione a Grasshopper*, II Edizione, Le Penseur, Potenza, 2010.

TESI

BARBERIS E., *Il Building Information Modeling per il cultural heritage: le nuove metodologie di modellazione digitale applicata al caso studio del padiglione V del complesso fieristico di Torino Esposizioni*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. LO TURCO M., BRUNO E., Politecnico di Torino, 2016.

CRAVERO P., *Il castello di Bonavalle: problemi di restauro e conservazione*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. VINARDI M. G., Politecnico di Torino, 2010.

DALPIAZ L. M., *HBIM e rilevamento metrico 3D per i beni architettonici: il caso studio del Sacro Monte di Ghiffa*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. ZERBINATTI M., A. OSELLO, LINGUA A. M., Politecnico di Torino, 2019.

FARINA S., GALLEANO A., *Fotogrammetria ed HBIM: un percorso per la conoscenza di Villa Sarmatoris a Salmour*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. F. CHIABRANDO, M. LO TURCO, M. NARETTO, Politecnico di Torino, 2016.

GANDIGLIO S., TUNINETTI A., *Analisi del dissesto e ipotesi di consolidamento del castello di Bonavalle in Murello*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. IENTILE R., DONATO G., Politecnico di Torino, 1999.

LEONI D., *Tecnologie LiDAR e HBIM: una proposta applicata al Castello del Valentino*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. SPANÒ A. T., CHIABRANDO F., Politecnico di Torino, 2016.

MONOPOLI M. B., PELLICO M., *Il sistema delle torri costiere sulla costa ionica del Salento: la torre di Uluzzo a Nardò. Conservazione e messa in valore, dalla conoscenza ai processi HBIM*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. NARETTO M., OSELLO A., DEL GIUDICE M., Politecnico di Torino, 2019.

RAINERI P., *L'approccio BIM (Building Information Modeling) per la documentazione dell'architettura storica. Una proposta applicativa al Castello del Valentino*, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura, rel. A. T. SPANÒ, F. CHIABRANDO, Politecnico di Torino, 2015.

ALTRO

BIM Report 2019, ASSOBIM, Torino, 2019.

SPANÒ A. T., dispense Workshop "Metodi 3D

Imaging and ranging per la documentazione del patrimonio", Politecnico di Torino, 2019.

D.Lgs. 18 aprile 2016, n. 50, in materia di "Contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture".

SITOGRAFIA (ultima consultazione)

archiviocasalis.it (04/2019)

assobim.it (07/2019)

biblus.acca.it (07/2019)

bimportale.com (07/2019)

castellodibonavalle.com (03/2019)

castlesintheworld.wordpress.com (03/2019)

comune.murello.cn.it (03/2019)

corsorevit.com (07/2019)

devacademy.net (10/2019)

edilportale.com (07/2019)

infobuild.it (07/2019)

mit.gov.it (07/2019)

nationalbimstandard.org (07/2019)

piemontefantasma.wordpress.com (03/2019)

promozioneacciaio.it (07/2019)

romanoimpero.com (05/2019)

visitterredeisavoia.it (04/2019)