

POLITECNICO DI TORINO
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Tesi di Laurea Magistrale

**Indagini sul campo finalizzate alla manutenzione
programmata in contesti culturali di pregio:
il caso del Sacro Monte di Crea presso Serralunga di Crea**

Relatore:

Prof. Marco Zerbinatti

Correlatori:

Prof.ssa Sara Fasana

Prof.ssa Francesca Matrone

Candidato:

Christian D'Addetta

Anno Accademico 2023/2024

Sommario

| | |
|---|-----|
| ABSTRACT | III |
| 1. INTRODUZIONE | 1 |
| 2. IL PATRIMONIO CULTURALE..... | 2 |
| 2.1 GLI INTERVENTI SUL PATRIMONIO CULTURALE | 4 |
| 2.2 IL PROGETTO <i>MAIN10ANCE</i> | 11 |
| 2.2.1 METODOLOGIA DI RICERCA..... | 12 |
| 3. I SACRI MONTI | 14 |
| 3.1 ARCHITETTURA DEI SACRI MONTI | 17 |
| 3.2 SACRO MONTE DI CREA..... | 19 |
| 3.2.1 STORIA | 20 |
| 3.2.2 IL SANTUARIO | 26 |
| 3.2.3 LE CAPPELLE | 31 |
| 3.2.4 I ROMITORI | 58 |
| 3.2.5 LA GESTIONE DELL' AREA NATURALE PROTETTA..... | 59 |
| 4. CASO STUDIO: LE CAPPELLE 10 E 16..... | 63 |
| 4.1 CAPPELLA 10..... | 63 |
| 4.1.1 Gli interventi svolti..... | 63 |
| 4.1.2 Stato di fatto | 64 |
| 4.2 CAPPELLA 16..... | 70 |
| 4.2.1 Interventi svolti | 70 |
| 4.2.2 Stato di fatto | 70 |
| 4.3 IPOTESI INTERVENTO | 74 |
| 4.4 PROBLEMI RICORRENTI NEL SACRO MONTE | 75 |
| 4.5 ANALISI CRITICA E CONSIDERAZIONI..... | 77 |
| 5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE | 82 |
| 5.1 TECNICHE DI RILEVAMENTO..... | 83 |
| 5.2 ANALISI DEL CONTESTO DI INTERVENTO..... | 83 |
| 5.3 RILIEVO TOPOGRAFICO..... | 84 |
| 5.4 IL RILIEVO TRAMITE TECNICA <i>LIDAR</i> | 91 |
| 5.4.1 Leica RTC 360 | 93 |
| 5.4.2 Stonex X70GO..... | 94 |
| 5.4.3 ViDoc | 95 |
| 5.5 IL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO | 96 |
| 5.5.1 Rilevamento tramite droni..... | 98 |
| 5.5.2 Rilevamento tramite Stonex XVS..... | 104 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.5.3 | Rilevamento tramite fotocamera 360° | 105 |
| 5.6 | IL RILIEVO FOTOGRAFICO..... | 106 |
| 5.7 | ELABORAZIONE DATI | 107 |
| 5.7.1 | ELABORAZIONE DEL RILIEVO TOPOGRAFICO | 107 |
| 5.7.2 | ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI DAL LASER SCANNER LEICA RTC 360 | 110 |
| 5.7.3 | ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI DAL LASER SCANNER STONEX X70GO..... | 114 |
| 5.7.4 | ELABORAZIONE DEI DATI FOTOGRAMMETRICI | 118 |
| 5.8 | PULIZIA E SEGMENTAZIONE NUVOLE | 122 |
| 5.8.1 | Software CloudCompare | 123 |
| 5.9 | CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI ATTRAVERSO LE DIFFERENTI TECNICHE DI RILIEVO 124 | |
| 5.9.1 | CLOUD TO CLOUD DISTANCE | 125 |
| 5.9.2 | VALUTAZIONE DENSITÀ | 131 |
| 5.10 | ANALISI CRITICA..... | 139 |
| 5.11 | APPLICAZIONI ALLA MANUTENZIONE PROGRAMMATA..... | 140 |
| 6. | LA MODELLAZIONE DELL'ESISTENTE..... | 147 |
| 6.1 | BIM: SIGNIFICATO E CAMPO DI APPLICAZIONE..... | 147 |
| 6.2 | METODOLOGIA HBIM | 149 |
| 6.3 | MODELLAZIONE CAPPELLA 10 | 150 |
| 6.3.1 | Importazione nuvola di punti e definizione del punto base di progetto | 150 |
| 6.3.2 | Modellazione con famiglie di sistema..... | 152 |
| 6.3.3 | Modellazione della Famiglie locali | 154 |
| 6.3.4 | Modellazione delle finestre e delle grate di protezione | 156 |
| 6.3.5 | Modellazione della Famiglia caricabile Porta | 157 |
| 6.3.6 | Modellazione della topografia | 158 |
| 6.3.7 | Modellazione della volta interna | 160 |
| 6.3.8 | Catalogazione tabellare degli elementi ed esportazione degli Abachi | 162 |
| 7. | CONCLUSIONI..... | 166 |
| | BIBLIOGRAFIA | 168 |
| | SITOGRAFIA..... | 175 |
| | ALLEGATI..... | 176 |
| | INDICE TABELLE | 177 |
| | INDICE FIGURE..... | 178 |

ABSTRACT

La presenza sul territorio nazionale di numerosi siti culturali di pregio rende necessaria una presa di posizione in merito alla gestione e la valorizzazione di questi beni, supportando le attività di manutenzione attraverso strumenti che ne garantiscano la conservazione nel tempo.

Attraverso l'applicazione di tecnologie di rilievo e rappresentazione digitale innovative è possibile potenziare le risorse a vantaggio del mantenimento della memoria storica e generare una catalogazione delle informazioni possedute finalizzata alla definizione degli interventi di conservazione programmata e di manutenzione da eseguire.

L'approccio adottato nella Tesi di Laurea Magistrale prevede l'analisi delle tecniche di rilievo al fine di valutarne l'efficacia per generare nuvole di punti a elevata precisione, oltre che per ottenere informazioni necessarie alla catalogazione tramite *database* degli elementi componenti alcune Cappelle del Sacro Monte di Crea, evidenziando possibili sviluppi e applicazioni alternative degli elementi ottenuti applicabili in futuro all'interno delle piattaforme preposte alla raccolta di dati.

The presence of numerous valuable cultural sites on the national territory brings attention to the necessity to take a stand regarding the management and enhancement of these assets, supporting maintenance activities through tools that ensure their preservation over time.

Through the application of innovative technologies of surveying and digital representation, it is possible to improve the resources for the benefit of the preservation of the historical memory and to create a catalogue of the existing information to define the planned conservation and maintenance works to be carried out.

The approach adopted in the Master's thesis involves the analysis of surveying techniques in order to assess their effectiveness in generating high-precision point clouds and to obtain the information necessary for cataloguing the elements that make up some of the chapels of the Sacred Mount of Crea through a database, highlighting possible developments and alternative applications of the elements obtained that can be applied in the future within the data collection platforms.

1. INTRODUZIONE

Il patrimonio architettonico italiano è internazionalmente riconosciuto per la sua valenza ed è fonte di prestigio, rimandando all'eredità storica dei popoli e degli Stati insediatisi nella nostra penisola nel corso di migliaia di anni. Questo ha fatto valere il riconoscimento di un numeroso quantitativo di siti inseriti all'interno della lista dell'UNESCO, in particolare divenuti 60 nel corso dell'anno corrente, 2024, con l'introduzione della Via Appia, aspetto che ha portato il nostro Paese al primo posto per numero di siti, seguito dalla Cina con 59 siti e dalla Germania con 54.

Questo considerevole numero di beni culturali e ambientali, che si somma con tutti gli ulteriori siti di rilevante valenza storica, deve essere correttamente gestito e mantenuto, per trasmettere alle generazioni future elementi essenziali della storia del Paese. Parte della risposta al problema proviene dalla ricerca, che consente di individuare soluzioni valide e/o innovative per la gestione del patrimonio storico in nostro possesso, finanziabile tramite fondi nazionali o anche attraverso finanziamenti europei per la valorizzazione e la conservazione.

Il progetto *MAIN10ANCE* nasce proprio in questo contesto, attraverso il Programma di cooperazione transfrontaliera *Interreg V-A Italia-Svizzera 2014-2020*, finanziato dall'Unione Europea a fine di valorizzare le aree di frontiera, fra cui si inseriscono i Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia.

Il risultato ottenuto dagli studi realizzati in merito alla gestione e alla manutenzione programmata dei Sacri Monti ha portato alla generazione di una piattaforma multi-scalare per la gestione delle informazioni: *4MAIN10ANCE*.

Il progetto di Tesi si colloca all'interno di questa ricerca, realizzata con il contributo dei dipartimenti DISEG e DIATI del Politecnico di Torino, oltre che l'Università del Piemonte Orientale, la Scuola Universitaria della Svizzera Italiana, l'Ente di Gestione dei Sacri Monti, il Centro per la Conservazione e il Restauro della Venaria Reale, la Regione Piemonte, e altri, è finalizzata alla gestione della manutenzione programmata per i manufatti storici di pregio; gli strumenti messi a punto nel programma di ricerca hanno poi trovato applicazione anche al Sacro Monte di Crea.

La Tesi si pone come obiettivo la descrizione della metodologia di ricerca e rilievo, eseguita fedelmente per garantirne riproducibilità, oltre all'elaborazione dei dati ricavati per individuarne gli usi possibili al fine di sviluppare adeguati piani di manutenzione programmata per i manufatti analizzati.

È stata sviluppata in primo luogo una ricerca storica sull'evoluzione delle Cappelle facenti parte del complesso del Sacro Monte di Crea, analizzandone la fondazione e gli interventi svolti su di esse, aspetto essenziale per individuare la configurazione e la matericità dei manufatti.

In seguito è stata realizzata la campagna di rilievo, che verrà descritta nel dettaglio, specificando le tecniche utilizzate e i possibili utilizzi futuri anche in altri contesti, contemplando sia tecniche basate su *laser scanner*, sia tecniche fotogrammetriche, oltre che rilievi fotografici di dettaglio, opportunamente catalogati.

I risultati delle acquisizioni sono stati elaborati al fine di ricavarne una nuvola di punti a elevata precisione, essenziale alla successiva modellazione dei manufatti, per garantirne la fruibilità; questi sono stati integrati all'interno del *database 4MAIN10ANCE* per la gestione del patrimonio storico diffuso e sono stati individuati dei potenziali nuovi utilizzi dei risultati nel campo della conservazione.

Il progetto di Tesi è stato focalizzato sulla descrizione del procedimento delle Cappelle 10 e 16, garantendone un'affidabilità sovrapponibile, garantendo una base futura per la realizzazione del rilievo e dell'analisi anche per le Cappelle 11, 13 e 15, di interesse per l'Ente di Gestione dei Sacri Monti.

2. IL PATRIMONIO CULTURALE

Il concetto di patrimonio culturale è complesso e comprende numerosi aspetti al suo interno. Facente riferimento all'espressione della creatività umana, può comprendere monumenti, tradizioni, reperti archeologici sottomarini e non, musei, opere d'arte, oltre a molto altro ancora.

Col tempo è stato esteso anche a forme non tradizionali, come patrimonio culturale mobile, immobile, immateriale, contemplando sia l'importanza locale o regionale che la sua rilevanza a fini turistici.

Nella Convenzione dell'Aia del 1954 si definisce all'articolo 1 la *cultural property*, ma solo nell'articolo 1 della Convenzione sul Patrimonio dell'Umanità del 1972 si fornisce la definizione di *cultural heritage*.

Il cambio di definizione è certamente più inclusivo e permette di introdurre concetti come lo sviluppo sostenibile, il patrimonio culturale immateriale, non inteso come proprietà, ma come insieme di elementi materiali e immateriali che devono essere garantiti e tutelati come lascito alle generazioni future.

In particolare, l'articolo 1 definisce patrimonio culturale quanto segue:

- *“monumenti: opere architettoniche, sculture e dipinti monumentali, elementi o strutture di natura archeologica, iscrizioni, abitazioni rupestri, di eccezionale valore universale sul piano storico e scientifico;*
- *i complessi che, per la loro architettura, omogeneità o posizione nel paesaggio, sono di eccezionale valore universale sul piano storico e scientifico;*
- *siti: opere umane, aree che includono siti archeologici di eccezionale valore universale sul piano estetico, storico, etnografico o antropologico.”*

Introducendo nell'articolo 2 anche il concetto di patrimonio naturale:

- *“elementi naturali consistenti in formazioni fisiche e biologiche, o gruppi di esse, di eccezionale valore universale sul piano estetico o scientifico;*
- *formazioni geologiche e fisiografiche ed aree ben delineate che costituiscono habitat di specie minacciate di animali e piante, di eccezionale valore universale sul piano scientifico o conservazioni stico;*
- *siti naturali o aree perfettamente delineate di eccezionale valore universale sul piano scientifico, della conservazione e della bellezza naturale.”*

Uno degli elementi essenziali al riconoscimento di un *World Heritage site* è il cosiddetto *“outstanding universal value”* definito nell'articolo 49 delle *Operational Guidelines* della stessa Convenzione, riconoscendo un contributo culturale, storico o scientifico al sito e garantendone l'autenticità e l'integrità.

I criteri che sono stati elaborati dal *World Heritage Committee* affinché un sito candidato sia considerato di eccezionale valore universale sono:

- Criteri culturali:
 1. *“rappresentare un capolavoro del genio creativo umano;*
 2. *rappresentare un simbolo significativo dell'interazione umana che abbia influenzato lo sviluppo dell'architettura o della tecnologia delle arti monumentali, dello sviluppo urbano o della creazione dei paesaggi, in un dato periodo o in una determinata area culturale;*

3. *representare una testimonianza unica o almeno eccezionale di una tradizione culturale o di una civiltà vivente o scomparsa;*
 4. *representare un esempio eminente di un tipo di costruzione o di un insieme architettonico o tecnologico o paesaggistico che illustri un periodo o dei periodi significativi della storia umana;*
 5. *representare un esempio eminente di insediamento umano tradizionale, di sfruttamento tradizionale del territorio o del mare, che sia rappresentativo di una cultura (o di culture) o dell'interazione umana con l'ambiente, specialmente quando questo è stato reso vulnerabile da un cambiamento irreversibile;*
 6. *essere direttamente o materialmente associato a degli eventi o tradizioni viventi, a delle idee, a delle credenze, o a delle opere artistiche e letterarie che abbiano un significato universale eccezionale.”*
- Criteri naturali:
 7. *“rappresentare dei fenomeni naturali di rilievo o delle aree di una bellezza naturale e di un'importanza estetica eccezionale;*
 8. *costituire degli esempi particolarmente significativi delle grandi ere della storia della terra, inclusa la testimonianza della vita, dei processi geologici in corso nello sviluppo delle forme terrestri o degli elementi geomorfologici o fisiografici di particolare rilievo;*
 9. *costituire degli esempi particolarmente significativi dei processi ecologici e biologici in corso nell'evoluzione e nello sviluppo degli ecosistemi e delle comunità di piante e di animali terrestri, acquatici, costieri e marini;*
 10. *contenere gli habitat naturali più significativi per la conservazione in situ della diversità biologica, incluso quelli in cui sopravvivono specie minacciate che abbiano un valore universale eccezionale dal punto di vista della scienza o della conservazione.”*



Figura 1: Emblema del Patrimonio Mondiale UNESCO adottato dal 1978 (fonte: UNESCO, <https://whc.unesco.org/en/emblem/>).

Nella Convenzione UNESCO del 2003 si ufficializzano gli elementi immateriali del patrimonio culturale, permettendone un riconoscimento a livello internazionale.

A livello normativo in Italia con l'approvazione del D. Lgs. N.42/2004, aggiornato a oggi dalla L. 29/04/2024 n. 56, è stato definito il *Codice dei Beni Culturali*. Vengono qui elencati i manufatti inclusi nei beni culturali:

1. *“Sono beni culturali le cose immobili e mobili appartenenti allo Stato, alle regioni, agli altri enti pubblici territoriali, nonché ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro, ivi compresi gli enti ecclesiastici civilmente riconosciuti, che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico.*

2. IL PATRIMONIO CULTURALE

2. Sono inoltre beni culturali:
 - a. le raccolte di musei, pinacoteche, gallerie e altri luoghi espositivi dello Stato, delle regioni, degli altri enti pubblici territoriali, nonché di ogni altro ente ed istituto pubblico;
 - b. gli archivi e i singoli documenti dello Stato, delle regioni, degli altri enti pubblici territoriali, nonché di ogni altro ente ed istituto pubblico;
 - c. le raccolte librerie delle biblioteche dello Stato, delle regioni, degli altri enti pubblici territoriali, nonché di ogni altro ente e istituto pubblico, ad eccezione delle raccolte che assolvono alle funzioni delle biblioteche indicate all'articolo 47, comma 2, del decreto del Presidente della Repubblica 24 luglio 1977, n. 616. (2)
3. Sono altresì beni culturali, quando sia intervenuta la dichiarazione prevista dall'articolo 13:
 - a. le cose immobili e mobili che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico particolarmente importante, appartenenti a soggetti diversi da quelli indicati al comma 1;
 - b. gli archivi e i singoli documenti, appartenenti a privati, che rivestono interesse storico particolarmente importante;
 - c. le raccolte librerie, appartenenti a privati, di eccezionale interesse culturale;
 - d. le cose immobili e mobili, a chiunque appartenenti, che rivestono un interesse, particolarmente importante a causa del loro riferimento con la storia politica, militare, della letteratura, dell'arte, della scienza, della tecnica, dell'industria e della cultura in genere, ovvero quali testimonianze dell'identità e della storia delle istituzioni pubbliche, collettive o religiose. Se le cose rivestono altresì un valore testimoniale o esprimono un collegamento identitario o civico di significato distintivo eccezionale, il provvedimento di cui all'articolo 13 può comprendere, anche su istanza di uno o più comuni o della regione, la dichiarazione di monumento nazionale.” Sono inoltre incluse “le cose, a chiunque appartenenti, che presentano un interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico eccezionale per l'integrità e la completezza del patrimonio culturale della Nazione;
 - e. le collezioni o serie di oggetti, a chiunque appartenenti, che non siano ricomprese fra quelle indicate al comma 2 e che, per tradizione, fama e particolari caratteristiche ambientali, ovvero per rilevanza artistica, storica, archeologica, numismatica o etnoantropologica, rivestano come complesso un eccezionale interesse.”

Oltre a fornire definizioni in merito a cosa rappresenti un bene culturale sono date ampie informazioni relative anche agli interventi da attuare e alla fase diagnostica dell'intervento.

2.1 GLI INTERVENTI SUL PATRIMONIO CULTURALE

Il *Codice dei Beni Culturali* racchiude al suo interno un'elevata quantità di indicazioni, sia di natura didascalica che in merito alle procedure da adottare in caso di intervento, evidenziando l'essenzialità di una fase diagnostica e conoscitiva del manufatto.

Solo la sintesi del lavoro di specialisti in differenti discipline scientifiche può garantire un processo accurato e coerente, sviluppando una stretta collaborazione tra le figure professionali coinvolte nell'intervento conservativo, fra cui il restauratore, il conservatore, lo storico dell'arte, l'architetto, l'archeologo oltre che l'ingegnere.

La realizzazione dell'intervento deve quindi sottostare a un *modus operandi* complesso, che preveda l'individuazione di obiettivi comuni e risultati certi pur comprendendo figure professionali anche molto diverse.

Nel corso degli anni la filosofia stessa degli interventi è cambiata considerevolmente, integrandosi con le indicazioni precedenti o, a volte, agendo come rottura.

2.1. GLI INTERVENTI SUL PATRIMONIO CULTURALE

La prima Carta del restauro del 1883, ottenuta come voto conclusivo del terzo Congresso degli Ingegneri e Architetti Italiani tenutosi a Roma e anche noto come “Carta del Boito”, rappresenta il primo esempio di impegno a livello nazionale per il tema del restauro. Sono stati introdotti temi come la riconoscibilità delle parti antiche da quelle contemporanee, aggiunte, oltre che la documentazione delle opere effettuate sui manufatti. Prima di allora infatti non era difficile riscontrare interventi architettonici sui manufatti interessati senza una corrispondenza documentale accertabile.

Durante la Conferenza Internazionale degli Architetti riunita ad Atene nel 1931 fu redatta la Carta del Restauro di Atene, introducendo maggior distinzione tra l'elemento originale e l'intervento, oltre a definire le «malattie delle opere». I punti su cui viene fatta maggiormente leva sono:

- curare il proprio patrimonio architettonico;
- uniformare le legislazioni per non far prevalere l'interesse privato su quello pubblico;
- ampliare lo studio dell'arte così da insegnare nelle popolazioni l'amore e il rispetto per il proprio patrimonio architettonico;
- preferire sempre un restauro filologico rifiutando quello stilistico, pur ammettendo l'uso di materiali moderni per il consolidamento, come il cemento armato, mentre nei restauri archeologici è ammessa esclusivamente anastilosi.

Nel 1932 il Consiglio Superiore per le Antichità e le Belle Arti presso il Ministero della Pubblica Istruzione emanò la prima vera e propria Carta Italiana del restauro, ammettendo oltre alle direttive della Carta di Atene anche il “restauro scientifico”, promosso da Gustavo Giovannotti (1873-1947) e prevedendo l'utilizzo delle più moderne tecnologie per ottenere interventi scientifici di restauro.

Con la Seconda Guerra Mondiale si verificò una considerevole distruzione del patrimonio architettonico europeo, riportando all'attualità il problema del restauro. Molto spesso si adottavano tecniche di ripristino per ricostruire l'esistente “ricucendo i vuoti”, anche con il rischio di commettere falsi storici.

Durante il Secondo Congresso Internazionale degli Architetti e Tecnici dei Monumenti riunitosi a Venezia tra il 25 e il 31 maggio del 1964 si definì la Carta di Venezia, evidenziando l'importanza dell'aspetto storico di un edificio, comprendendo anche la conservazione dell'ambiente urbano che circonda questi edifici monumentali.

Nel 1972 fu redatta la Carta Italiana del restauro come naturale evoluzione della precedente, prevedendo l'introduzione delle azioni di salvaguardia, intese come l'insieme di interventi conservativi attuabili non direttamente sull'opera, a differenza degli interventi di restauro, volto a *“mantenere in efficienza, a facilitare la lettura e a trasmettere al futuro le opere oggetto di tutela”*. Vennero inoltre esplicitati gli interventi ammessi e proibiti, ammettendo l'uso di nuove tecniche e materiali dietro l'autorizzazione del Ministero della pubblica istruzione oltre che dell'Istituto Centrale di restauro. Si introducono inoltre anche i danni arrecati dall'inquinamento atmosferico e dalle condizioni igrometriche.

Il Congresso di Amsterdam svoltosi in conclusione dell'Anno Europeo del patrimonio architettonico, il 1975, ha portato all'emanazione di una Carta europea, conosciuta con il nome di Carta di Amsterdam, che introdusse i seguenti punti essenziali:

- a. “Oltre ad avere un inestimabile valore culturale, il patrimonio architettonico europeo conduce tutti gli europei a prendere coscienza di una comunione di stoma e di destini. La sua conservazione è perciò di un'importanza vitale.*
- b. Il patrimonio comprende non solo edifici isolati di eccezionale valore ed il loro ambiente, ma pure gli insiemi, quartieri di città e villaggi, che offrano un interesse storico o culturale.*

2. IL PATRIMONIO CULTURALE

- c. *Queste ricchezze costituiscono un bene comune per tutti i popoli d'Europa: questi hanno il comune dovere di proteggerle dai pericoli che le minacciano sempre più: negligenza e degradazione, demolizione deliberata, nuove costruzioni non armoniose e circolazione eccessiva.*
- d. *La conservazione del patrimonio architettonico deve essere considerata non come un problema marginale, ma come un obiettivo essenziale della pianificazione urbana e dell'assetto territoriale.*
- e. *I poteri locali, cui spetta la maggior parte delle decisioni importanti in materia di assetto, sono particolarmente responsabili della protezione del patrimonio architettonico e devono aiutarsi a vicenda scambiandosi idee e informazioni.*
- f. *La riabilitazione dei vecchi quartieri deve essere definita e realizzata, per quanto possibile, senza importanti modifiche della composizione sociale dei residenti, ed in maniera tale che tutti gli strati della società beneficino di un'operazione finanziata con fondi pubblici.*
- g. *Le misure legislative ed amministrative necessarie devono essere rafforzate e rese più efficaci in tutti i Paesi.*
- h. *Per fronteggiare i costi del restauro, dell'assetto e della manutenzione degli edifici e dei siti di valore architettonico o storico, un adeguato aiuto finanziario deve essere messo a disposizione degli enti locali e dei proprietari privati; inoltre, si dovrebbero prevedere esenzioni fiscali per questi ultimi.*
- i. *Il patrimonio architettonico sopravviverà solo se sarà apprezzato dal pubblico e soprattutto dalle nuove generazioni. Perciò i programmi educativi devono preoccuparsi di più, ad ogni livello, di questo settore.*
- j. *Bisogna incoraggiare le organizzazioni private: internazionali, nazionali e locali, in maniera che contribuiscano a suscitare l'interesse del pubblico.*
- k. *L'architettura contemporanea è il patrimonio di domani; bisogna fare tutto il possibile per assicurare un'architettura contemporanea di alta qualità.”*

Nel 1987 il Consiglio Internazionale dei Monumenti e dei Siti (ICOMOS) ha redatto una Carta Internazionale per la salvaguardia delle Città Storiche, conosciuta anche come Carta di Washington. L'obiettivo è salvaguardare le città storiche minacciate dal degrado, dalla destrutturazione oltre che distruzione per effetto dell'urbanizzazione.



Figura 2: Emblema ICOMOS (fonte: ICOMOS, <https://www.icomositalia.com/>).

In concomitanza dell'Anno Internazionale dell'architettura, il 2000, la Comunità Europea ha promulgato una nuova carta del restauro, comprendente i *“Principi per la conservazione ed il restauro del patrimonio costruito”*. Questa carta ha preso il nome di Carta di Cracovia dal nome della città polacca dove è avvenuta la conferenza finale. Rifacendosi alla Carta di Venezia, definisce il concetto di “patrimonio” e non più di “monumento”, sensibilizzando sull'estensione agli interi centri storici coinvolti ad esempio e comprendente anche le aree paesaggistiche non costruite.

A partire dal 2002 è stato riunito il Comitato Europeo Normativo CEN/TC 346 *“Conservation of Cultural Heritage”*, presieduto in prima linea dall'Italia attraverso anche l'attività di Vasco Fassina, l'attuale presidente della sottocommissione UNI sui beni culturali, in carica fino al 2020, poi succeduto da

Antonio Sansonetti, membro del Consiglio Nazionale delle Ricerche, all'interno dell'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale.

L'obiettivo del comitato già a partire dal 2004 fu di armonizzare le differenti metodologie di studio, conservazione e restauro adottate dai singoli paesi membri a fine di ottenere una normativa universalmente valida sul suolo europeo.

In Italia la principale Norma in merito alla tutela e la conservazione del patrimonio è la UNI EN 15898, originariamente rilasciata nel 2012, faceva però riferimento alla definizione di Bene Culturale, solo con la riedizione del 2019 è stato esplicitato il termine Patrimonio Culturale. Un aspetto su cui si pone l'attenzione quando si parla di Beni è anche la differenziazione tra Beni mobili, decorazioni, opere d'arte e immobili, come edifici, siti e strutture.

Si possono individuare sei categorie di termini relativi alla conservazione all'interno della Norma appena citata:

1. Termini generali che definiscono il patrimonio culturale, in cui il termine oggetto è rappresentato da una singola manifestazione del patrimonio culturale, con uno specifico valore e rappresentato dalle sue caratteristiche e rilevanza culturale;
2. Lo stato di conservazione rappresenta lo stato fisico dell'oggetto ed è caratterizzato da termini descrittivi come alterazione, deterioramento, invecchiamento, danno, integrità, difetto e stabilità;
3. Termini generali relativi alla conservazione-restauro, includenti termini come processo di conservazione, intervento, reversibilità, compatibilità, durabilità, conservazione preventiva, conservazione curativa e restauro;
4. Termini relativi alla conservazione preventiva, includenti termini come manutenzione, cura delle collezioni, controllo ambientale, monitoraggio;
5. Termini relativi alla conservazione curativa o restauro, includenti termini come trattamento, pulitura, consolidamento, riassettraggio, ricostruzione, reintegrazione, riabilitazione;
6. Termini relativi alla pianificazione e la documentazione oltre alla definizione delle operazioni preliminari in accordanza con la UNI EN 16095 e UNI EN 16096, con riferimento a termini come indagini scientifiche, diagnosi e proposte conservative basate sulla diagnosi.



Figura 3: UNI – Ente Italiano di Normazione (fonte: UNI, <https://www.uni.com/>).

Nelle Norme UNI EN 16095 e UNI EN 16096, entrambe del 2012, si esplicita come si classifichi lo stato di conservazione di un patrimonio e quale sia la differenza tra le azioni preventive e gli interventi di restauro che si possono applicare su di esso.

Le definizioni illustrate all'interno della UNI EN 15898 si differenziano da quelle individuate da ICOM-CC durante la conferenza triennale di New Delhi del 2008^[03]:

- *“Conservazione: è l'insieme delle misure e delle azioni finalizzate alla salvaguardia del patrimonio culturale materiale, in grado di assicurare al tempo stesso la sua accessibilità alle*

[03] Assemblea ICOM-CC, New Delhi, 2008.

2. IL PATRIMONIO CULTURALE

generazioni presenti e future. La conservazione comprende la conservazione preventiva, la conservazione curativa e il restauro. Tutte queste misure e azioni devono rispettare il valore e le proprietà fisiche degli oggetti.

- *Conservazione preventiva: l'insieme delle misure e delle azioni tese ad evitare o ridurre al minimo futuri deterioramenti o perdite. Queste misure e azioni interessano il contesto o l'ambiente dell'oggetto – più di frequente un insieme di oggetti – quali che siano la loro età e il loro stato. Trattandosi di misure e azioni indirette, non interferiscono con i materiali e la struttura degli oggetti e non ne modificano l'aspetto.*
- *Conservazione curativa: l'insieme delle azioni realizzate direttamente su un oggetto o su un insieme di oggetti dirette ad arrestare un processo di degrado o a rafforzarli strutturalmente. Queste azioni sono attuate solo quando gli oggetti si trovino in una condizione di tale fragilità o di deterioramento da correre il rischio di una loro perdita a breve termine. Queste azioni modificano a volte l'aspetto degli oggetti.*
- *Restauro: l'insieme delle azioni eseguite direttamente su un oggetto singolo e in uno stato di conservazione stabile, volte a migliorarne la lettura, la comprensione e l'uso. Queste azioni sono attuate solo quando l'oggetto ha perso parte del proprio valore o funzione a causa di precedenti, alterazioni o deterioramenti. Esse si fondano sul rispetto dei materiali originali. Molto spesso, modificano l'aspetto dell'oggetto.”*

La Norma UNI EN 16853:2017 invece identifica ed esplicita l'intero processo degli interventi conservativi, dal processo decisionale, alla pianificazione e fino all'attuazione.

Le fasi che lo caratterizzano si possono così schematizzare:

1. Definizione del progetto di conservazione: identificazione obiettivi e anamnesi
2. Diagnosi mediante osservazione visuale e successivo approfondimento con indagini scientifiche
3. Identificazione, valutazione e selezione delle opzioni conservative
4. Sviluppo del progetto di conservazione
5. Realizzazione del progetto di conservazione

Per tale ragione il primo obiettivo di un processo di conservazione e restauro risulta la realizzazione dell'anamnesi, che corrisponde all'acquisizione e valutazione di tutte le informazioni, dati e documenti disponibili per la descrizione dell'oggetto e la rappresentazione della sua storia

Solo a seguito di un'attenta ricerca delle informazioni in merito al manufatto di interesse si può procedere con la diagnosi del deterioramento del manufatto al fine di valutare le opzioni concretamente attuabili per la conservazione.

Le fasi che caratterizzano la terapia sono:

1. Ideazione e realizzazione di prove campione applicando diverse misure di conservazione;
2. Implementazione delle misure di conservazione;
3. Controllo di qualità delle misure di conservazione;
4. Monitoraggio e manutenzione.

Quando si opera con edifici muniti di pitture murali, ad esempio, è importante osservare come non tutte le misure applicate nel corso del tempo sono efficaci nel lungo termine, ma anzi contribuiscono in alcuni casi proprio all'incremento del degrado.

In particolare, è stato osservato come l'uso di fissativi a base di colle o consolidanti abbia portato alla perdita di molte caratteristiche originali, mentre i ritocchi sono metodologicamente superati, non permettendo il riconoscimento immediato dell'aggiunta.

I sistemi di protezione applicati superficialmente invece in molti casi hanno comportato lo sviluppo di maggiori danni rispetto di benefici, compromettendo ulteriormente le condizioni dell'apparato murario.

Andréas Arnold, durante la settima giornata di studi di SFIIC (*Section Française de l'Institut International de Conservation*) svoltasi nel maggio del 1996 ^[01], evidenzia come i sottili strati di pittura, spessi qualche decimo di micron in molti casi, siano estremamente fragili e intraprendere un qualunque intervento conservativo pone il rischio di perdere materia originale. Per tale ragione è sempre preferibile intervenire prima sulle cause attraverso un approccio preventivo, giudicato infatti come il più efficace e dal minor rischio.

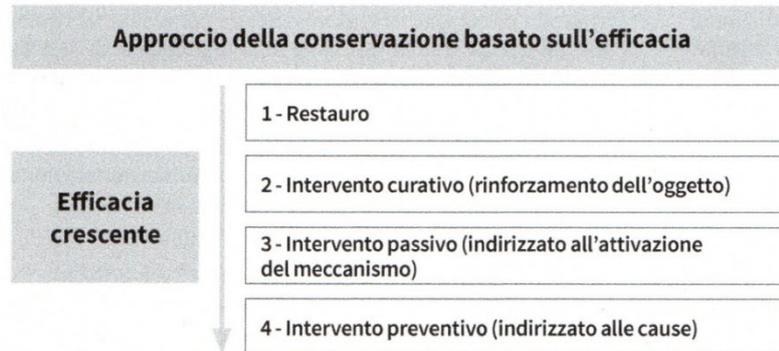


Figura 4: Approccio alla conservazione basato sull'efficacia, proposto da A. Arnold (fonte: FASSINA V. 2022, *Chimica applicata alla conservazione e al restauro del patrimonio culturale*).

Un altro aspetto essenziale della valutazione del degrado e della sua cura è comprendere se il processo di alterazione che lo ha generato sia ancora attivo o no. In tal caso è conveniente attuare un processo iterativo di diagnosi come proposto da Sharon Cather nel 1999 ^[02] che prevede:

1. Raccolta delle informazioni e la loro interpretazione;
2. Formulazione delle ipotesi;
3. Indagini scientifiche;
4. Interpretazione, conclusioni e raccomandazioni.

Processo che può essere ripetuto fino al raggiungimento di una soluzione adeguata alla soppressione delle cause scatenanti il degrado.

Il degrado può essere generato anche da cause molteplici, quindi gli effetti possono a loro volta essere interconnessi. Infatti quando si parla di alterazione ci si riferisce semplicemente a una variazione dell'elemento rispetto alla sua condizione originaria, il deterioramento, il degrado e il danno rappresentano invece uno sviluppo negativo del fenomeno.

Il deterioramento è definito attraverso due definizioni:

- Secondo il glossario ISCS ^[16] è il processo di peggioramento o diminuzione della qualità, valore, carattere o deprezzamento;
- Secondo la Norma UNI EN 15898 è un'alterazione che riduce la rilevanza culturale e/o la stabilità dell'oggetto

[01] ARNOLD A. 1996, *Alteration et conservation d'œuvres culturelles en matériaux poreux affectés par des sels*, in *Le dessalement des matériaux poreux (Poitiers, 9-10 mai 1996)*, Champs-sur-Marne : SFIIC, ISBN : 978-2905430090, pp. 3-20.

[02] CATHER S. 2003, *Assessing causes and mechanisms of detrimental change to wall paintings*.

[16] ICOMOS-ISCS, *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*.

2. IL PATRIMONIO CULTURALE

Si differenzia quindi dal danno per la gradualità del processo che cumula effetti progressivi nel tempo legati alle condizioni ambientali. Un danno può essere inoltre precorritore di futuri ulteriori fenomeni di degrado, legati tipicamente a interventi attivi sulla struttura, come evidenziato da Cather ^[02].

| Il danno (immediato) può essere causato da: | Il deterioramento (graduale) può essere causato da: |
|--|--|
| a) Disastri | a) Tecniche originali |
| b) Vandalismi | b) Interventi conservativi precedenti |
| c) Interventi conservativi precedenti | c) Microclima |
| d) Alterazione architettonica o d'uso dell'edificio o sito | d) Sali |
| | e) Organismi |
| | f) Luce |

Tabella 1: Danno e deterioramento secondo S. Cather (fonte: FASSINA V. 2022, *Chimica applicata alla conservazione e al restauro del patrimonio culturale*).

| Intervento Preventivo | Intervento Passivo |
|---|---------------------------------------|
| a) Vandalismi | a) Tecniche originali |
| b) Interventi conservativi precedenti | b) Interventi conservativi precedenti |
| c) Alterazioni architettoniche su edificio o sito | c) Microclima |
| d) Macro-organismi | d) Sali |
| e) Luce | e) Micro-organismi |

Tabella 2: Interventi Preventivi e Passivi che inducono degrado secondo S. Cather (fonte: FASSINA V. 2022, *Chimica applicata alla conservazione e al restauro del patrimonio culturale*).

Nella tabella [2] è possibile osservare come specifici interventi preventivi o passivi possano avere un effetto sullo sviluppo del meccanismo di degrado o di danno. In particolare, gli interventi preventivi andrebbero evitati attraverso apposite misure di prevenzione che intervengano su queste cause, mentre gli interventi passivi possono essere fautori delle condizioni che attivano meccanismi di degrado e per tale ragione devono essere opportunamente valutati.

Ritornando al tema delle pitture murali è essenziale prestare attenzione a ogni intervento che venga realizzato, non sempre un apparente recupero comporta un effettivo ripristino delle condizioni originarie, un'eccessiva pulitura ad esempio potrebbe generare danni soprattutto se effettuata con tecniche non idonee.

I materiali utilizzati spesso sono di natura organica, fattore che rende necessaria un'approfondita conoscenza del comportamento di questi sottoposti ad agenti esterni oltre che alle tecniche idonee al trattamento

Il deterioramento e l'alterazione possono essere anche indotti da tecniche originali difettose, gli artisti erano spesso più interessati agli effetti ottici piuttosto che alla stabilità del materiale; perciò, sovente si

[02] CATHER S. 2003, *Assessing causes and mechanisms of detrimental change to wall paintings*.

osserva una notevole tendenza all'alterazione, come nei pigmenti di piombo e rame, organici o lacrime di stagno e argento

La protezione stessa dei manufatti inoltre è possibilmente deleteria a causa di basi non studiate o non compatibili, in un sistema aperto vengono indotte alterazioni costantemente, per tale ragione è difficile monitorare lo stato di salute attuale e futuro di un dipinto murario.

Per conoscere e accertarsi dello stato di conservazione di un manufatto è essenziale adottare una metodologia condivisa tra i soggetti preposti alla tutela e alla conservazione del patrimonio culturale, come individuato nella Norma UNI EN 16096:2012. Questa si sviluppa nel seguente modo:

1. Definizione degli obiettivi da perseguire
2. Pianificazione e allocazione delle risorse e della strumentazione disponibile;
3. Ricerca del materiale d'archivio storico, comprendente fotografie, disegni o altra documentazione tecnica relativa al bene;
4. Registrazione dello stato di conservazione del bene tramite osservazione visiva e semplici analisi;
5. Analisi dei rischi e conseguenti raccomandazioni

Considerando inoltre una ulteriore classificazione in funzione dell'urgenza dell'intervento in questione, per cui le misure da adottare valutate in funzione sia dello stato di conservazione che dell'analisi dei rischi porta alla seguente suddivisione delle condizioni:

- Grave con intervento urgente e immediato;
- Intervento a breve;
- Intervento a medio termine;
- Intervento a lungo termine;

In conclusione, quindi è essenziale procedere verso un processo di conoscenza complessiva dei manufatti di interesse per operare nel rispetto della materia originale, fornendo priorità agli interventi più sensibili sugli oggetti anche in funzione delle informazioni ricavate dalla ricerca storica sulle condizioni strutturali ipotizzabili e accertabili dei manufatti.

2.2 IL PROGETTO MAIN10ANCE

Il progetto *MAIN10ANCE* “*I Sacri Monti: patrimonio comune di valori, laboratorio per la conservazione sostenibile ed una migliore fruibilità turistica dei beni culturali*”, è un progetto parte del Programma di cooperazione transfrontaliera *Interreg V-A Italia-Svizzera* finanziato attraverso il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR), Asse 2 – Valorizzazione del patrimonio naturale e culturale, il cui obiettivo è la valorizzazione delle risorse e del patrimonio di cui le aree di frontiera dispongono, individuando soluzioni alle sfide che incontrano per migliorarne la qualità e la gestione.



Figura 5: Progetto MAIN10ANCE (fonte: MAIN10ANCE, <https://main10ance.eu/>).

2. IL PATRIMONIO CULTURALE

L'obiettivo è incrementare l'attrattiva delle aree promuovendo l'uso sostenibile di risorse naturali e culturali. Il progetto è stato incardinato sui Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia al fine di promuovere la ricerca oltre che la formazione e l'informazione su tali complessi monumentali, andando incontro alla multidisciplinarietà che essi comportano tramite modelli ottimali per la conservazione adattabili al patrimonio diffuso sul territorio.

Tra i partner del progetto si annoverano l'Università del Piemonte Orientale, la Scuola Universitaria della Svizzera Italiana, l'Ente di Gestione dei Sacri Monti, il Politecnico di Torino, il Centro per la Conservazione e il Restauro della Venaria Reale, la Regione Piemonte, Confartigianato Imprese Piemonte Orientale, l'Ufficio dei Beni Culturali e il Dipartimento della Logistica del Cantone Ticino.

Ognuno degli Enti coinvolti è responsabile della messa a punto di uno specifico *Work Package* (pacchetto di lavoro) in cui è scomposto il *WBS*, *Work Breakdown Structure*. Il Politecnico di Torino partecipa allo sviluppo del WP 3.3 per la messa a punto di strumenti metodologici e operativi per guidare le committenze, gli enti di gestione e controllo e i professionisti a sviluppare un piano di conservazione programmata del patrimonio culturale improntato su principi di sostenibilità, con una visione a lungo termine degli interventi previsti e ottimizzando le risorse disponibili.

2.2.1 METODOLOGIA DI RICERCA

Il progetto di Tesi si sviluppa a partire da questo contesto di ricerca, che prevede l'intervento dei dipartimenti DISEG e DIATI del Politecnico di Torino per lo sviluppo di strumenti operativi atti a supportare la manutenzione del patrimonio dei Sacri Monti.

Il *workflow* è stato già verificato attraverso l'approfondito studio realizzato sul Sacro Monte di Varallo nel corso dei precedenti anni, e ha portato alla realizzazione di una piattaforma informativa supportata da un *database*, oltre a strumenti integrativi di visualizzazione tridimensionale per l'interrogazione delle informazioni riportate. Tali strumenti sono sistemi basati sulla metodologia BIM per la gestione delle informazioni alla scala edilizia e sui sistemi informativi territoriali GIS.

La gestione della fruibilità dell'informazione è ancora in fase di sviluppo ma grazie all'aumento delle informazioni in possesso, il sistema generato è in progressiva evoluzione e presto potrà essere utilizzato agevolmente anche da semplici cittadini e visitatori, oltre a fornire un valido ausilio all'attività di conservazione e manutenzione valorizzando il patrimonio stesso.

Attualmente è in fase di sviluppo un sistema informativo a più scale per il Sacro Monte di Crea, oggetto del progetto di Tesi, ma è essenziale in una fase preliminare come quella attuale adottare una metodologia di ricerca e rilievo il più completa possibile al fine di catalogare le informazioni disponibili e generare la base per futuri studi e implementazioni all'interno dello stesso progetto.

Verrà a seguire esplicitato il contesto di inserimento del Sacro Monte di Crea in relazione anche agli altri comprensori similari, analizzandone l'evoluzione storica dalla sua fondazione e lo stato attuale di conservazione, e insieme all'esecuzione di rilievi geomatici georeferenziati per l'ottenimento di informazioni di dettaglio sulle geometrie e gli spazi coinvolti, si dimostreranno i risultati ottenuti e il campo di applicazione al fine di ottimizzare la manutenzione programmata del sito.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 2

- [01] ARNOLD A. 1996, *Alteration et conservation d'œuvres culturelles en matériaux poreux affectés par des sels*, in *Le dessalement des matériaux poreux (Poitiers, 9-10 mai 1996)*, Champs-sur-Marne : SFIIC, ISBN : 978-2905430090, pp. 3-20.
- [02] CATHER S. 2003, *Assessing causes and mechanisms of detrimental change to wall paintings*, in R. GOWING, A. HERITAGE, *Conserving the Painted Past: Developing Approaches to Wall Painting Conservation*, London: English Heritage, ISBN: 1902916115, pp. 64-74.
- [03] Assemblea ICOM-CC, New Delhi, 2008.
- [04] VECCO M. 2010, *A Definition of Cultural Heritage: From the Tangible to the Intangible*, in P. TOMASIN (a cura di), *Journal of Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier, vol. 11 (3), DOI: doi.org/10.1016/j.culher.2010.01.006, pp. 321-324.
- [05] BORELLI S., LENZERINI F. 2012, *Cultural Heritage, Cultural Rights, Cultural Diversity: New Developments in International Law*, in S. WIESSNER, R. PATI (a cura di), *Studies in Intercultural Human Rights*, Leiden: Brill, ISSN: 1876-9861.
- [06] UNI EN 16095 :2012
- [07] UNI EN 16096 :2012
- [08] FRANCONI F., GORDLEY J. (a cura di) 2013, *Enforcing international cultural heritage law*, Oxford: Oxford University Press, ISBN: 978-0199680245.
- [09] GFELLER A. E. 2015, *Anthropologizing and Indigenizing Heritage: The Origins of the Unesco Global Strategy for a Representative, Balanced and Credible World Heritage List*, in L. MESKELL, *Journal of Social Archaeology*, Thousand Oaks: Sage, vol. 15 (3), DOI: doi.org/10.1177/146960531555913, pp. 366-386.
- [10] UNI EN 16853:2016 – *Processo di conservazione. Processo decisionale, pianificazione e implementazione.*
- [11] UNI EN 15898:2019 – *Principali termini e definizioni.*
- [12] FERRAZZI S. 2020, *The Notion of “Cultural Heritage” in the International Field: Behind Origin and Evolution of a Concept*, in A. WAGNER (a cura di), *International Journal for the Semiotics of Law - Revue internationale de Sémiotique juridique*, Cham: Springer, vol. 34 (3), pp. 743-768.
- [13] FASSINA V. 2022, *Chimica applicata alla conservazione e al restauro del patrimonio culturale*, Firenze: Nardini Editore, ISBN: 978-8840403380.

SITOGRAFIA CAPITOLO 2

- [14] ALTALEX, *Codice dei beni culturali e del paesaggio - Parte II - Beni culturali*, <<https://www.altalex.com/documents/news/2014/09/15/codice-dei-beni-culturali-e-dell-ambiente-parte-ii-beni-culturali#titolo2>>. (Ultima consultazione 07/10/2024)
- [15] DIRITTO.IT, *Definizione “patrimonio culturale” in diritto internazionale*, <<https://www.diritto.it/definizione-patrimonio-culturale-internazionale/>>. (Ultima consultazione 07/10/2024)
- [16] ICOMOS-ISCS, *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*, <https://www.icomos.org/public/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdf>. (Ultima consultazione 07/10/2024)
- [17] INTERREG EUROPE, *homepage*, <<https://www.interregeurope.eu/>>. (Ultima consultazione 22/10/2024)
- [18] MAIN10ANCE, *Progetto*, <<https://main10ance.eu/progetto/>>. (Ultima consultazione 22/10/2024)
- [19] MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA, *Definizioni e criteri che sovrintendono alla designazione dei siti Patrimonio Mondiale dell'Umanità*, <<https://www.mase.gov.it/pagina/definizioni-e-criteri-che-sovrintendono-alla-designazione-dei-siti-patrimonio-mondiale>>. (Ultima consultazione 07/10/2024)

3. I SACRI MONTI

I Sacri Monti sono complessi devozionali legati al culto dell'altura, vista come luogo sacro di pellegrinaggio. Sono luoghi ricchi di simbolismo e raffigurazioni, ma accessibili a un vasto pubblico, in linea con quanto proposto dalla Controriforma del XVI secolo, in opposizione al protestantesimo.

La maggiore difficoltà a raggiungere la terra santa dopo la caduta di Costantinopoli nel 1453 e l'aumento dell'espansione politica ottomana ebbero un ruolo non secondario nella formazione dei principi basilari dei Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia, proponendosi come un'alternativa al pellegrinaggio verso la Terra Santa, reso molto difficile, attraverso la diretta ricostruzione di scenari che facciano da sfondo agli eventi più importanti delle Sacre Scritture, permettendo l'unione tra il fedele e il contesto sacro.

Lo sviluppo di questi luoghi come già anticipato venne inoltre favorito dall'espansione incombente della Riforma Luterana (1517) che portò a un momento di crisi per il cattolicesimo. I Sacri Monti si proponevano come baluardi della fede cristiana idonei a rappresentare la vera dottrina in opposizione al protestantesimo proveniente dalla Germania.

Questi complessi, infatti, sono stati costruiti prettamente nelle Alpi e Prealpi nord-occidentali, a eccezione di *un unicum* come Crea, che si inserisce in un contesto collinare ben diverso.

Carlo Borromeo, Arcivescovo della Diocesi di Milano fu l'originale promotore del progetto, proposto inizialmente dalla Congregazione dei Frati Minori Osservanti come "*fiaccole della fede accese lungo le Alpi, a difesa contro le minacce del Nord*" come scritto da Rudolf Wittkower nel 1959 ^[11].

Sono complessi religiosi spesso derivati da precedenti luoghi di culto, come antichi Santuari o luoghi di devozione spontanea anche pagana, dedicati ai differenti aspetti delle fede cristiana con finalità didascalica rispetto alle popolazioni locali. Il culto cattolico e la religione popolare sincretistica hanno finito per integrarsi l'uno nell'altra, una commistione in cui sacro e profano convivono saldamente, richiamando antichi culti pagani, ma aggiornandoli in funzione della necessità religiosa della Controriforma, mantenendone la sacralità.

La scelta di luoghi incastonati all'interno di contesti naturali di pregio, ricchi di boschi e natura incontaminata e raggiungibili esclusivamente attraverso scoscesi percorsi a piedi è legata alla volontà di indurre i pellegrini alla meditazione e riflessione spirituale, rendendo l'esperienza stessa un avvicinamento all'unione spirituale con Dio. L'altura su cui si collocano i Sacri Monti infatti è simbolicamente legata all'antica tradizione della posizione privilegiata riservata all'interno del contesto sacro. Ai progettisti incaricati è stato richiesto di individuare un luogo elevato sul quale costruire le cappelle del complesso, tali da simulare attraverso la salita lungo il percorso una "ascesa purificante".

Il punto focale del Sacro Monte è costituito da un Santuario, fondamentale alla devozione locale, sviluppatosi in parallelo al culto creatosi intorno al Sacro Monte. Si crea quindi un rapporto dialettico tra la chiesa principale e la "sfilata" delle cappelle, in taluni casi è vincolante, ma spesso i due percorsi si integrano senza condizionarsi a vicenda.

I Sacri Monti si compongono tipicamente di una serie variabile di Cappelle di diversa struttura, inserite nell'ambiente per produrre un notevole coinvolgimento del fedele. Hanno impostazioni eterogenee che vanno dalla più ricercata soluzione strutturata con colonne e porticati alla più semplice ed essenziale, non lontana dal motivo del cosiddetto "pilone".

[11] ZANZI L., ZANZI P. 2003, *Atlante dei Sacri Monti Prealpini*.

Oltre al simbolismo e al contesto di inserimento, sono apprezzabili le qualità dal punto di vista architettonico dei complessi sotto forma di patrimonio diffuso e contenenti importanti manufatti artistici come affreschi e statue.

La rappresentazione preferenziale all'interno delle Cappelle è composta da scene realizzate sotto forma di fondali dipinti, in cui il paesaggio e il piano intermedio si fondono con i soggetti scultorei tradizionali. ^[08]

I personaggi inclusi all'interno delle rappresentazioni sono l'unione tra soggetti dell'epoca di Cristo e attuali ai fruitori dell'epoca, per rendere il messaggio più chiaro e comprensibile. L'effetto generato è assimilabile allo straniamento, legato alla compresenza di elementi apparentemente contrastanti, succeduto poi da una ricongiunzione alla realtà.

I fondali delle scene rappresentate rimandano al Medio Oriente, basati sui racconti narrati dai viaggiatori e dai pellegrini, collegandosi però come un tutt'uno con i rilievi tipici dell'ambiente alpino e prealpino, modello per gli artisti impegnati nei differenti cantieri.

Il primo Sacro Monte a essere realizzato in Italia fu quello di Varallo a partire dal 1486, con l'intento di ricreare una "Gerusalemme delle Alpi". Dopo il Concilio di Trento del 1535 però divenne un modello per gli altri Sacri Monti, imponendone delle precise limitazioni rispetto all'aspetto tipologico e stilistico delle architetture e degli stili applicabili, rendendone disponibile la salvaguardia fino ai giorni d'oggi.



Figura 6: Sacro Monte di Varallo (fonte: Stefano Ember, TOURING CLUB ITALIA, https://admin-istituzionale.touringclub.it/uploads/Varallo_Sacro-Monte_Shutterstock.jpg).

[08] CENTINI M., MONCASSOLI TIBONE M.L. 1992, *Tra i prodigi dei Sacri Monti: l'arte e la società, lo spettacolo e la devozione*.

3. I SACRI MONTI

Tra i più rilevanti complessi si menzionano il Sacro Monte di Varallo, di Crea e di Orta, ma si menzionano tutti i complessi non esclusivamente italiani, ascrivibili all'area di diffusione dei Sacri Monti:

1. Santuario di Hergiswald
2. Sacro Monte di Saas Fee
3. Santuario di Santa Maria a Visperterminen
4. Sacro Monte di Domodossola
5. Sacro Monte di Orselina
6. Santuario di Brissago
7. Sacro Monte di Ghiffa
8. Sacro Monte di Oria - Valsolda
9. Sacro Monte di Ossuccio
10. Santuario della Sassella a Sondrio
11. Sacro Monte di Cervo
12. Sacro Monte sopra Varese
13. Sacro Monte d'Orta
14. Sacro Monte di Varallo Sesia
15. Santuario della Madonna del Cavallero a Coggiola
16. Santuario di San Giovanni d'Andorno
17. Sacro Monte d'Arona
18. Santuario di Santa Maria delle Grazie a Montrigione
19. Santuario di Santa Maria degli Angeli a Masserano
20. Sacro Monte di Oropa
21. Santuario della Madonna delle Nevi a Machaby di Arnad
22. Sacro Monte di Graglia
23. Santuario del Varallino
24. Sacro Monte di Belmonte Valperga
25. Sacro Monte di Crea
26. Santuario della Passione di Torricella Verzate
27. Santuario di Mongardino
28. Santuario di Vicoforte
29. Santuario di Cannobio
30. Santuario di Re

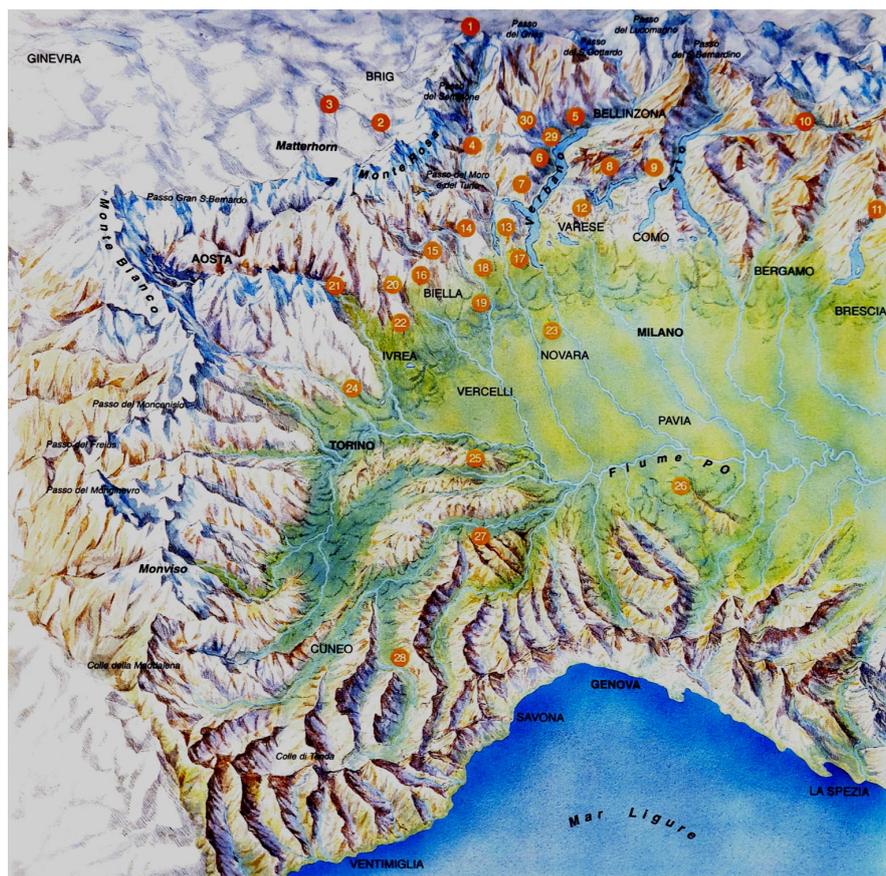


Figura 7: Distribuzione Sacri Monti (fonte: ZANZI L., ZANZI P. 2003, *Atlante dei Sacri Monti Prealpini*, pp.21).

Dal 1995 è iniziato il “*Progetto Atlante*” volto a individuare, conoscere e censire tutti i Sacri Monti e altre simili realtà diffuse in Europa, contribuendone alla scoperta della tipologia edilizia.

Nonostante le considerevoli differenze culturali e religiose delle aree coinvolte oltre alle differenze materiche essi rappresentano *un unicum* nel mondo, aspetto che ne ha valso l’iscrizione da parte dell’UNESCO nel 2003 all’interno della lista del Patrimonio Mondiale, considerandone il carattere di patrimonio diffuso sotto forma di Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia, senza includere i Monti svizzeri tra questi, certificando il valore in merito alla commistione di architettura e di arte sacra in un paesaggio naturale.



Figura 8 - Sacri Monti siti UNESCO dal 2003 (fonte: UNESCO, <https://whc.unesco.org/en/list/1068/>).

3.1 ARCHITETTURA DEI SACRI MONTI

La pianificazione della costruzione dei Sacri Monti è certamente legata al periodo storico, tra il XVI e il XVII secolo nella maggior parte dei casi, in cui è forte il contrasto tra la volontà di riaffermare un linguaggio ecumenico e un anelito a scoprire nuove chiavi per meglio definire il rapporto con il sacro. Ne consegue una rilettura critica attuata dal pensiero riformista, caratterizzata dal forte stimolo verso la ricerca di nuove immagini, spettacolari, umane e coinvolgenti.

Gli eventi ricostruiti all’interno dei Sacri Monti sono ricchi di un “*ethos*” coinvolgente condizionato dalla tradizione della sacra rappresentazione, i personaggi e gli scenari sono inoltre pieni di “*pathos*”, con una gestualità legata certamente alla mediazione devozionale, ma comunque ispirata e influenzata dalle tradizioni folkloristiche della micro-cultura locale.

I motivi ricorrenti che portano all’individuazione e alla fondazione di un sacro monte sono:

- Costruzione come ex-voto
- Sacralizzazione di un luogo in cui un certo santo portò un’effigie creduta di origine soprannaturale o taumaturgica (miracoli)
- Luogo fu già sede di eremiti
- Presenza di fonti ritenute taumaturgiche
- Grotte, ripari sotto la roccia, templi dedicati a divinità precristiane di cui è stato attestato il culto tramite indagine archeologica

Risulta difficile individuare una matrice ricorrente, si va dai modelli essenziali (pianta rettangolare o circolare) fino a soluzioni più complesse con portici e colonnati, mettendo in evidenza la valenza evocativa della cappella e in taluni casi la funzione “*circumambulatoria*” (da girare intorno, di ascendenza orientale).

3. I SACRI MONTI

La lettura strutturale di un Sacro Monte si basa su:

1. Lettura materiale:
 - a. Componente geo-topografica: analizzandone il collocamento e la distribuzione spaziale in funzione della composizione naturale stessa dell'altura dominante su cui si collocano;
 - b. Componente rievocativa: quali elementi della tradizione locale vengono ripresi;
 - c. Componente sacralizzante: quali elementi del culto cattolico si possono osservare nella composizione del manufatto stesso;
2. Lettura spirituale:
 - a. Componente didascalica: quali insegnamenti vogliono essere forniti alla comunità che ne fa uso e in che modo;
 - b. Componente culturale: che rilevanza ha il manufatto rispetto alla quotidianità del luogo in cui si colloca;
 - c. Componente mistagogica: come vengono interpretati i misteri e che chiave di lettura viene fornita alla popolazione;

Le soluzioni architettoniche poi sono adottate in funzione della realtà territoriale del Sacro Monte, analizzando il paesaggio partendo da un progetto urbanistico che tenga conto delle problematiche suggerite dal sito. L'impianto topografico guida il pellegrino attraverso il complesso di cappelle, l'apoteosi finale è raggiunta con la raffigurazione dell'Ascesa al cielo della Vergine o di un santo, o con ascensione di Cristo.

Gli originari progetti hanno dovuto subire dei progressivi ridimensionamenti, legati a disponibilità economiche progressivamente minori del periodo storico, il XVII secolo, condizionato da conflitti ed epidemie. La complessità delle realizzazioni è frutto della necessità di effettuare una progettazione di carattere tecnico parallelamente all'inclusione di variegate maestranze tramite Atti, Dichiarazioni e Contratti.

La conformazione prevalente delle cappelle è circolare o ellittica, mentre sono meno frequenti modelli esagonali e ottagonali (come i battisteri medievali), in casi sporadici invece riprendono lo stile elaborato barocco.



Figura 9: Cappella 28 del Sacro Monte di Varallo (fonte: Mattana, WIKIMEDIA, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/78/Varallo_Sesia_Sacro_Monte_di_Varallo_002.JPG).

Molte cappelle sono munite di porticato, dall' intento prettamente decorativo ma anche parzialmente devozionale, scandiscono gli spazi circostanti, generando un articolato itinerario, un percorso tra luce e ombra. Queste microarchitetture diventano opere a sé, dalla funzione evocativa anche isolata dall' ambiente.

La progettazione architettonica si compone di un elaborato corpus plastico-pittorico in cui alla storia principale si assommano altri episodi, spesso di quotidianità, molto umani.

I progetti sono piuttosto complessi da valutare dal punto di vista cronologico, a causa della realizzazione di un cosiddetto “*humus*”^[08] che non facilita l' esegesi critica delle vicende che hanno caratterizzato la realizzazione di ogni progetto.

Il degrado che ha colpito la gran parte dei complessi ha necessitato e necessiterà di interventi pubblici e privati tali da riottenere le originarie fattezze e salvaguardare il patrimonio di grande valore. Nei casi in cui gli interventi non sono stati realizzati si può osservare un degrado tale da portare a una irrimediabile dispersione della tradizione artistica.

Le differenze stilistiche tra gli artisti esecutori sono evidenti, ma è comunque presente un disegno comune, una volontà unica in cui l' arte diventa protagonista. Il potere del linguaggio visivo appare come prodotto di integrazione di diverse scelte formali, raccoglie in un solo piano i “*tableaux vivants*” della sacra rappresentazione tramite una rilettura dialettica della tradizione figurativa.

Il Sacro Monte fornisce un “catechismo visivo” in cui la lettura è totalmente affidata alla fruibilità della raffigurazione. Complesse rappresentazioni tradotte in una dimensione concreta, costituita da scene evidenti e accessibili, sono realizzate per avvicinarsi al fruitore.

3.2 SACRO MONTE DI CREA

Il Sacro Monte di Crea rappresenta uno dei più importanti complessi monumentali del nord-ovest italiano. Parte dell' esteso comprensorio dei Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia, patrimonio UNESCO a partire dal 2003.

Si compone di un rilevante numero di cappelle, 23 anche se il progetto originario ne prevedeva 40, e si articola su una collina nei pressi del Santuario di Santa Maria Assunta, la più elevata del Monferrato, raggiungendo una quota di 455 m s.l.m.

I temi delle cappelle si sviluppano attorno ad alcuni importanti episodi della vita di Cristo, dalla Natività all' Ascensione, i momenti più significativi della vita della Vergine e inoltre due vicende relative a Sant' Eusebio, vescovo martire di Vercelli il cui nome è tradizionalmente legato al complesso di Crea.

Perseguitato dagli Ariani, si narra venne esiliato in Palestina e tenuto prigioniero in una gabbia, tornò nella sua diocesi dopo 6 anni portando con sé 3 statue della Vergine. Tra queste una è la famosa “Madonna di Crea”, conservata nel Santuario. Gli studiosi però la considerano un' opera catalana tardoromanica, la cui presenza nel Monferrato è legata alla sposa di Guglielmo VII, Beatrice di Castiglia.

A Eusebio sono dedicate sul Sacro Monte di Crea due cappelle: “*il Martirio*” e “*il Riposo*”. Nella prima il Santo è al centro lapidato dai persecutori; rappresentato dal fiammingo Jean de Wespin, detto *Tabaquet* (il Tabacchetti) ha rappresentato i personaggi con grande realismo, con espressioni a tratti violente e grottesche. Sulle pareti gli affreschi di Guglielmo Caccia detto il Moncalvo, rievocano le tappe della storia di Eusebio, dall' arresto alla gloria nel cielo. Insieme alle cappelle si sviluppano anche dei Romitori con statue di Santi.

[08] CENTINI M., MONCASSOLI TIBONE M.L. 1992, *Tra i prodigi dei Sacri Monti: l' arte e la società, lo spettacolo e la devozione*.

3. I SACRI MONTI



Figura 10: Sacro Monte di Crea (fonte: FAI, https://fai-platform.imgix.net/media/piemonte/al/sacro-monte-di-crea_77891.jpg).

Molte cappelle sono mutate nel corso del tempo per quanto riguarda i soggetti rappresentati, ma è rimasto sin dalla sua fondazione un baluardo contro le infiltrazioni di protestantesimo nell'area.

Crea infatti aveva aderito con difficoltà alla controriforma, perciò il soggetto mariano era il più idoneo e comprensibile in una chiave antiprotestante, usando le immagini che la religione protestante combatteva.

3.2.1 STORIA

La nascita del nucleo originario del Sacro Monte di Crea è incerta, i primi insediamenti dei Canonici Regolari di Vezzolano sul colle sono databili intorno all'Anno Mille, ma precedentemente e contemporaneamente alla fondazione e al successivo utilizzo del santuario si attesta la presenza di culti pagani "delle Matrone".

Il luogo era noto come Cardalona o Creadona, da cui Crea, nell'epoca celto-ligure, o più in generale nell'età celto-gallo-ligure-romana-longobarda, a cui si deve l'individuazione del luogo come riferimento spirituale per l'area.

Tradizionalmente si crede che la prima edificazione del Santuario sul colle di Crea avvenne nel 354 d.C. per opera di S. Eusebio, vescovo di Vercelli, attraverso la realizzazione di un oratorio in onore della Madonna su precedente insediamento pagano sacro. Negli stessi anni S. Eusebio interviene al Concilio di Milano, ma a causa della sua condotta in difesa della fede viene condannato all'esilio dall'Imperatore Costanzo, da cui farà ritorno solo nel 362 d.C. Di ritorno avrebbe portato con sé la statua della Madonna col Bambino, ancora celebre come reliquia ai giorni d'oggi, conservandola nella cappella dedicata all'interno del Santuario.

La storia del Sacro Monte di Crea inizia con quella del convento e della chiesa di Santa Maria, meta di pellegrinaggio devozionale sin dal medioevo.

Altro personaggio a cui storicamente si associa la fondazione di Crea è Re Arduino. Nella *"Cronaca di Fruttaria"* ^[08] si legge che fu lui a volere che il primitivo sacello (chiesetta/cappella) fosse sostituito da

[08] CENTINI M., MONCASSOLI TIBONE M.L. 1992, *Tra i prodigi dei Sacri Monti: l'arte e la società, lo spettacolo e la devozione*.

una chiesa già nel 1016, epoca in cui il pellegrinaggio aveva già manifestato la sua frequenza sulla sacra altura.

La fondazione del Santuario di Santa Maria di Crea è databile al 1152, Uguccione Vescovo di Vercelli dona al Preposito di Vezzolano Andrea e ai suoi confratelli la Chiesa della Beata Vergine di Crea appartenente alla sua Diocesi.

Negli anni precedenti, tra il 1146 e il 1148 Guglielmo III Marchese del Monferrato prende parte alla seconda Crociata. Nel 1156 in onore vennero riempiti di trofei riportati dalla crociata i muri della Chiesa.

Il 5 novembre del 1163 viene nominato il primo Priore di Santa Maria di Crea, Raimondo, negli anni seguenti la protezione della Chiesa verrà garantita da Alessandro III, Marchese di Monferrato, donando inoltre una reliquia della Santa Croce.

Tra il 1203 e il 1204 Bonifacio II Marchese del Monferrato prende parte alla quarta crociata, riportando trofei al Sacro Monte.

Il 13 giugno 1248 attraverso una Bolla Innocenzo IV prende sotto la sua protezione la Chiesa di Vezzolano, tra cui figura Crea, negli stessi anni nel 1305 con la morte del Marchese Giovanni si segna la fine della dinastia degli Aleramici a cui succede quella dei Paleologi nel Monferrato.

Il Marchese Teodoro Paleologo confermerà i privilegi concessi al Santuario, unendo la Chiesa di S. Eustorgio a quella di Crea, conferma inoltre le donazioni a Crea e ne aggiunge di altre, vengono anche concessi uomini di Forneglio e Serralunga, i quali giurarono fedeltà al Priore del Santuario.

Crea è in espansione: nel 1372, infatti, il numero di canonici è ormai raddoppiato rispetto all'originario nucleo.

Tra il 1378 e il 1418 si edifica la Cappella di S. Margherita all'interno del Santuario, viene donata inoltre la reliquia della santa. La Cappella fu voluta da Giovanni IV e consorte Margherita di Savoia.

Durante il XV secolo i Canonici di Vezzolano lasciano il posto ai Serviti per un breve periodo intorno al 1477, per poi ritornare sotto i Canonici nel 1482, come volere del Marchese Guglielmo VIII di Monferrato, che vi risiederanno fino al 1802 quando subentrarono i Minori Francescani che ancora oggi reggono la chiesa.

Nel 1517, a seguito della morte di Bernardino Tibaldeschi, primo Vescovo di Casale, sepolto in Cattedrale nella ex cappella di S. Eusebio, gli succede Giovanni Giorgio Paleologo che assoggetta a Crea la Chiesa di Pontestura.

In questi anni ha fine la dinastia dei Paleologi e nel 1536, attraverso un Decreto di Carlo V, viene assegnato il Monferrato a Federico Gonzaga, duca di Mantova. Sono gli anni della Controriforma e del progetto del Sacro Monte.

Nel XVI secolo il pellegrinaggio a Crea diventa molto diffuso, ma non si hanno precise informazioni sulla consistenza edilizia di quei tempi. Verso la fine del Cinquecento andava via via crescendo al fianco di Casale un "città dello spirito": il Sacro Monte di Crea.

Vincenzo Gonzaga di Mantova, signore del Monferrato nel 1587 decise di ornare il santuario del Sacro Monte aggiungendo al già esistente Santuario di Santa Maria Assunta, con il progetto di padre Costantino Massimo, le cappelle del Sacro Monte. La prima idea ne prevedeva 15 con i "Misteri del Rosario" ma in seguito si decise di aumentarle a 40, anche se ne vennero erette solo 23.

Il Priore Padre Costantino Massimo di Vercelli, nel 1589 durante una solenne processione intorno al Sacro Monte fa collocare 15 croci per costruire altrettante cappelle, Giovanni Tabacchetti nel suo disegno ne prevede 40.

3. I SACRI MONTI



Figura 11: “Prospetto di Crea nell’anno 1589. 1) Ruine del Castello di Cardellona; 2) Torre del Diavolo; 3) Ruine di antichi fortilizi; 4) Albergo dei Pellegrini; 5) Basilica e Monastero” (fonte: GODIO A. 1887, *Cronache di Crea*, in CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*).

Per sviluppare in un percorso naturale i fatti mariani e renderli accessibili a tutti tramite immagini, viene inviata una supplica il 12 giugno 1589 a Vincenzo Gonzaga, Serenissimo Duca, per poter realizzare un ciclo di Cappelle su Maria, non dissimile da quanto avvenuto a Varallo per quelle legate alla vita di Gesù.

Nel 1590 Vincenzo I Gonzaga fa edificare la Cappella della Natività di Maria, ha inizio un periodo di fiorente edificazione sul monte, già nel 1598 si contano 10 cappelle.

I lavori sul Santuario nel mentre proseguono e tra il 1608 e il 1612 si costruisce l’atrio e si amplia la chiesa e la nuova facciata. Quest’onda positiva prosegue durante il XVII secolo fino ad arrivare, secondo descrizione dell’Andreozzi^[02], arrivò a contare 18 cappelle e 17 romitori. Le guerre del Monferrato, iniziate nel 1612, contribuirono ad arrestare il progresso nelle costruzioni delle cappelle.

Il Santuario divenne un luogo sicuro per la popolazione in difficoltà stremata dalle guerre, offrendo sostentamento ai più bisognosi. In quegli stessi anni si diffuse la peste, proprio in concomitanza dell’arrivo di mercenari, e molti artisti che operavano nei Sacri Monti cessarono l’attività o si ammalarono.

Durante la Seconda Guerra del Monferrato il Monte scampò alla devastazione del 1628 che portò all’assedio di Moncalvo, ma il 19 dicembre 1653 i soldati francesi del Signor de Quincey portano saccheggi e distruzione.

L’8 settembre del 1657 tutte le Cappelle furono depredate degli averi più preziosi. Nel 1697 il papa Innocenzo XII decretò la scomunica a chiunque sottraesse beni all’Abbazia.

[02] ANDREOZZI P. 1683, *Compendioso ristretto dell’origine della Beata Vergine di Crea in Monferrato scolpita da San Luca e portata dalla Palestina da Sant’Eusebio vescovo di Vercelli e martire custodita da Canonici Regolari Lateranensi, degl’ampi privilegi posseduti e che possiede, della fabrica della Chiesa e fondatione delle Capello sparse per il Monte*.



Figura 12: Disegno del Santuario e del Sacro Monte non datato ma presumibilmente Settecentesco (fonte: Archivio del Santuario di Crea, estratto da CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*).

Nel 1708 il Ducato di Monferrato viene annesso ai domini sabaudi. In questi anni i lavori al Sacro Monte si concentrano sul Santuario, fra cui si menzionano modifiche sulla facciata nel 1735 e la costruzione dell'altare maggiore nel 1795.

Nell'anno 1746 alcune truppe Gallispane e Napolitane alloggiarono nel monastero e portarono a una devastazione del bosco parte del Sacro Monte.

Nel Breve di Papa Pio VI del 1798, con cui a istanza di Re Carlo Emanuele IV, si sopprime il Monastero di Crea insieme agli altri sette dei Canonici Lateranensi con scarso numero di religiosi. I beni del santuario passarono al Governo che li affidò a un economo, il Notaio Zanvercelli. La chiesa venne ufficiata da alcuni Servi di Maria.

A seguito delle Invasioni Napoleoniche del 1801 furono soppressi tutti gli Ordini Religiosi per parte del Governo francese e lasciano Crea i Padri Pentiti Serviti. Avviene la venuta del Commissario Sullo a cui segue un'orribile devastazione al Sacro Monte. La statua della Madonna è trasportata a Forneglio, oggi frazione di Serralunga di Crea.

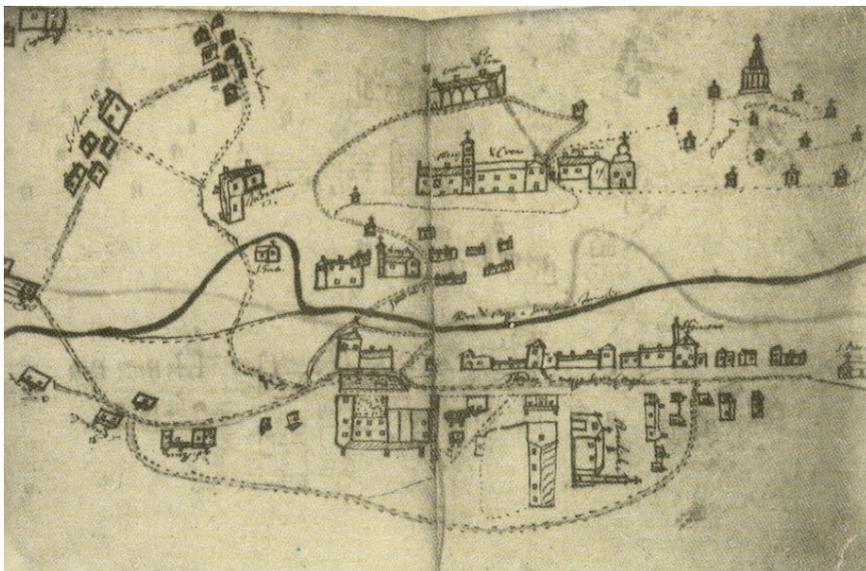


Figura 13: Disegno dal tratto ingenuo senza data raffigurante il Sacro Monte e il vicino paese di Serralunga (fonte: Archivio Parrocchiale di Serralunga di Crea, estratto da CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*).

3. I SACRI MONTI

Nel 1809 la Chiesa, il Convento e il Sacro Monte vengono comprati da Giovanni Cavallo, il 21 maggio 1811 il Sig. Melchior Bava di Monteu da Po acquista da Giovanni Cavallo parte del Sacro Monte. La Cappella della Natività viene data alla Reggenza di Forneglio perché vi sia venerata la Madonna.

Poco dopo le distruzioni napoleoniche si hanno informazioni da due resoconti:

- *Memorie storiche sul Sacro Monte di Crea* – Pier Giuseppe Cima – Casale, 1817
- *A zonzo per il circondario di Casale Monferrato* - Giuseppe Niccolini – Roma, 1877

Nel 1820 Mons. Alciati acquista la parte del convento ancora in piedi e chiama i Padri Minori Osservanti della Provincia di S. Tommaso, mentre il 29 ottobre 1858 il Canonico Crova acquista l'altra parte del Sacro Monte.

In questo periodo la crescente sensibilità per la preservazione della memoria storica del Sacro Monte porta alla fondazione il 15 novembre del 1858 della "Società di restauro del Santuario di Crea", attraverso una lettera circolare di Mons. Di Calabiana Vescovo di Casale. Padre Latini si occuperà del rifacimento di molte statue delle Cappelle.

Il 10 ottobre 1862 Il Canonico Crova acquista il resto del Sacro Monte, riunificando il complesso dopo anni di disgregazione.

Fino al 1884 si succede la costruzione e il restauro di molte cappelle tramite il contributo di diversi benefattori, fra cui si ricorda il Mons. Calabiana, Il Canonico Bussi e il Mons. Bava a opera di artisti come Leonardi Bistolfi e il suo allievo Giudo Capra, Padre Giuseppe Latini, Antonio Brilla, Agostino Caironi e Paolo Maggi.

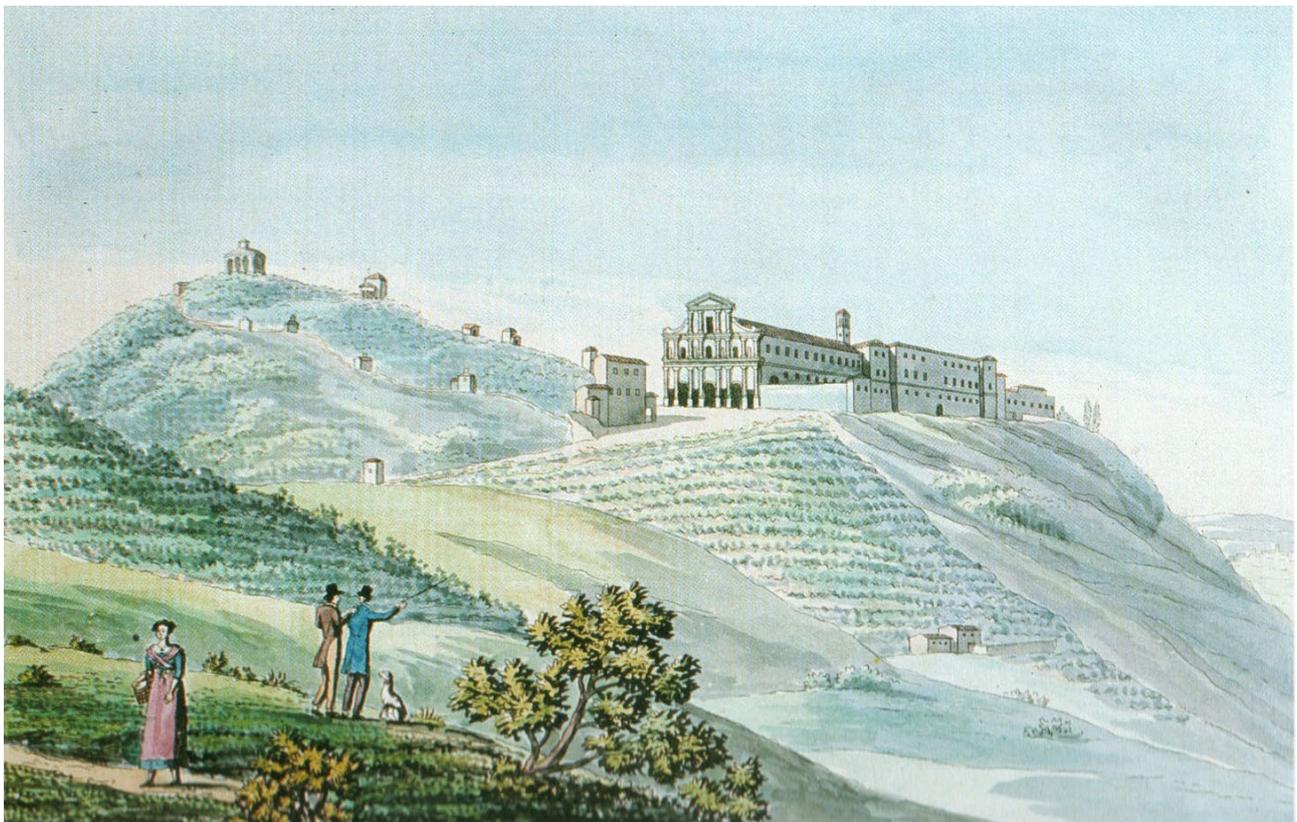


Figura 14: Stampa Ottocentesca ad acquerello di Crea (fonte: acquerello del 1822 in *Descrizione dei Santuari del Piemonte più distinti per l'antichità della loro venerazione e per la sontuosità dei loro edifiizi*, Torino, vol.1, estratto da CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*).



Figura 15: La facciata della Chiesa con l'antico ospizio di San Giuseppe demolito nel 1964 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*).

Il 15 febbraio 1914 Mons. Gavotti assegna alle diverse vicarie della diocesi di Casale le cappelle del Sacro Monte perché ne curino le riparazioni e gli abbellimenti.

Nel 1927 viene inoltre aperta una nuova strada di accessi dal bivio per Ponzano fino alla piazza. Il Santuario è soggetto a una serie di lavori di ristrutturazione negli stessi anni che includono la cappella di Sant'Antonio, l'altare e la sopraelevazione del vecchio campanile con la realizzazione di un nuovo concerto di campane.

Nel 1951 si realizza il rinnovamento dell'antico sentiero che dalla provinciale sale alla piazza attraverso il bosco passando davanti la cappella del Riposo, oltre all'esecuzione dei lavori della nuova casa del pellegrino a ovest dell'albergo.

Nel 1955 la sacrestia viene sopraelevata, mentre nel 1960 si costruisce una nuova manica a levante del chiostro su progetto dell'Ingegnere Bartolomeo Gallo di Torino.

Nel 1964 viene inaugurata da parte del Vescovo di Casale, Mons. Giuseppe Angrisani della nuova costruzione che sorge a fianco della chiesa verso nord, progettata dall'Architetto D. Verri e dall'Ingegnere Luigi Bo. Negli anni a seguire avranno luogo una serie di interventi di restauro inerenti al Santuario e i locali di ospizio.

Nel 1980 viene istituito il "Parco Naturale e area attrezzata del Sacro Monte di Crea", il quale garantirà la salvaguardia del contesto naturalistico in cui il Sacro Monte ancora oggi si colloca.

Nel settembre 1989 e settembre 1990 sono state svolte due brevi campagne di scavo a seguito del progetto di sistemazione del sentiero sottostante la cappella dedicata all'incoronazione di Maria in cielo, detta del "Paradiso", nell'ambito dell'intervento di consolidamento della medesima, a causa di presenza di resti murari non identificabili.

3. I SACRI MONTI

Nella struttura era presente una cisterna per la raccolta dell'acqua, non di grandi dimensioni, in tecnica mista pietra e mattoni, coperta da volte a botte e rivestita internamente da cocciopesto di buona qualità. Certamente preesistente rispetto alla cappella del Paradiso. Sono stati recuperati nella stessa numerosi frammenti scultorei riferibili ai gruppi statuari in terracotta cinquecenteschi che decoravano le cappelle, sintomo del suo utilizzo come cappella.

La presenza di tale cisterna conferma la presenza di un insediamento precedente alla fondazione del Sacro Monte, ipotizzabile in un castello o fortezza, ma se al 1992 gli studi non condussero risultati apprezzabili sull'origine oggi si ipotizza possa essere parte del comprensorio del Castello di Cardalona. I frammenti scultorei, come indicato da Federico Zuccari nel 1608, potrebbero far riferimento al cosiddetto "Inferno", allocato nei sotterranei delle rovine del castello, considerato *"talmente spaventoso che le donne è fanciulli non ardiscono approssimarsi"*^[26].

Negli anni più recenti sono stati effettuati numerosi interventi di restauro che hanno coinvolto sia il Santuario che il Sacro Monte, in cui statue e murature sono state restaurate grazie al contributo della Regione Piemonte e del *Lions Club* di Casale Monferrato della valle Cerrina.

Purtroppo, a cause delle specifiche condizioni ambientali in cui si colloca il Sacro Monte, gli interventi hanno subito un precoce degrado e molte cappelle si presentano oggi di condizioni di avanzato stato di degrado.

Nel 2005 è istituito presso il Sacro Monte il Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei con l'obiettivo di salvaguardare e studiare i complessi divenuti solo nel 2003 patrimonio UNESCO.

Il Centro svolge una proficua attività editoriale tramite la pubblicazione di libri inediti, della rivista "Atlas" e del sito web www.sacrimonti.net, portale tematico per l'informazione e la consultazione.

La sede è dotata inoltre di una biblioteca tematica, contribuendo alla formazione in merito ai luoghi sacri in questione.

3.2.2 IL SANTUARIO

Il complesso fu definito verso la fine del Cinquecento quando già da più di tre secoli il piccolo santuario, formato dalla chiesa e dal convento, era un importante centro devozionale.

Dopo la crisi dell'Impero Romano in tutto nord Italia sono nati i "Monasteriola", nuclei con ridotta entità numerica ma efficaci nell'azione di evangelizzazione delle popolazioni locali e di bonifica del territorio. È probabile che in origine il piccolo Monasteriola di Crea fosse sotto le dipendenze del Monastero Benedettino di Grazzano nel X secolo e della canonica agostiniana di Vezzolano due secoli dopo.

Questo antico complesso monastico a Crea è oggi difficile da leggere, è solo al tempo di Guglielmo VIII Paleologo alla fine del Quattrocento che si hanno notizie più certe sullo sviluppo del nucleo conventuale.

I Lateranensi nel 1483 subentrano ai Serviti introdotti pochi anni prima in sostituzione degli Agostiniani, e sono stati responsabili dello sviluppo di considerevoli interventi di ampliamento, pari a circa la composizione odierna.

La chiesa

La facciata ha subito notevoli interventi nel Settecento e nel Novecento, ma conserva ancora molte caratteristiche barocche scandendo la suddivisione interna delle navate. L'accesso avviene tramite tre ingressi che si aprono su un atrio lungo quanto la facciata e sostenuto da pilastri fasciati da lesene.

[26] RIVIERA G. 2017, *La strada del Fiammingo – Dal Brabante al Monferrato: i Tabacchetti di Fiandra*.



Figura 16: Fronte della Chiesa del Santuario (fonte: FAI, https://fai-platform.imgix.net/media/piemonte/al/sacro-monte-di-crea_77896.jpg).

La chiesa è a tre navate di uguale larghezza intervallate da arcate a sesto acuto con l'eccezione del presbiterio, a tutto sesto.

Sul lato sud si apre il corridoio degli ex-voto che dà accesso alla sacrestia e al convento, mentre dalla parte opposta trovano spazio le cappelle di S. Francesco e di S. Luigi. Al di sopra corrono delle gallerie, adibite originariamente a collegamento con i locali sopra la facciata.

Dietro l'altare maggiore trovano invece posto le cappelle di S. Margherita e della Madonna. Sul fondo delle navate laterali si aprono invece le cappelle di S. Giuseppe (originariamente S. Giovanni Evangelista) e di S. Maria Maddalena.



Figura 17: Corridoio degli ex-voto.

3. I SACRI MONTI



Figura 18: Interni della Chiesa del Santuario (fonte: ENTE DI GESTIONE DEI SACRI MONTI, <https://www.sacrimonti.org/en/sacro-monte-di-crea>).

Le navate sono definite da volte a crociera con costoloni rotondi sostenute da pilastri cruciformi in arenaria e mattoni, dai toni gotici, come anche le lunette del coro e della sacrestia.

Sono comunque presente anche elementi di epoca romanica, nel sottotetto e nel campanile.

Cappella della Madonna

Insieme alla cappella di Santa Margherita sono disposte simmetricamente sul fondo della navata, nonostante quest'ultima sia significativamente più grande di questa.

Ha un notevole spessore murario che potrebbe essere indice di un intervento di rinforzo, ipoteticamente collegato alla torre campanaria ma mancano studi a riguardo.

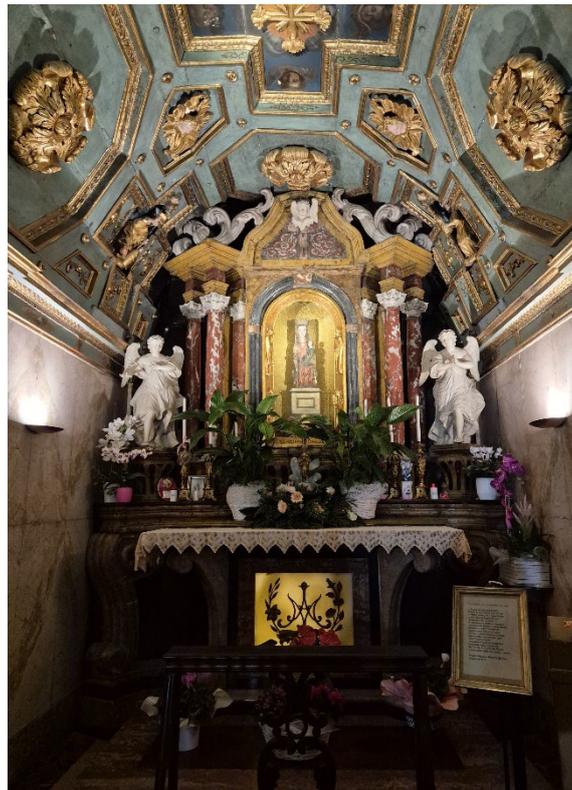


Figura 19: Cappella della Madonna.

La volta a botte in mattoni superiore è molto spoglia e povera e lascia in dubbio come possa essere questo il centro devozionale dell'intero complesso. Il rivestimento ligneo svolge anche la funzione di coprire le aree che sono state presumibilmente danneggiate dall'assedio francese e savoiaro nel 1657.

Cappella di Santa Margherita

Il culto di Marina di Antiochia di Pisidia è stato trasformato in periodo medievale nel culto di Santa Margherita.

Le vicende dipinte nella cappella rievocano i passi del suo martirio, fra cui: la sottomissione del demonio, la tortura del fuoco, la fustigazione, il tormento dell'acqua bollente e la decapitazione. Nella lunetta centrale era probabilmente rappresentato il processo davanti ai giudici. È poi presente una rappresentazione della Madonna col Bambino sotto la lunetta, mentre sulla volta sono rappresentati i 4 dottori della chiesa: S. Ambrogio, S. Agostino, S. Gregorio Magno e S. Girolamo. Nella cappella è inoltre presente una reliquia della santa, il suo piede.

Questa cappella insieme a quella della Madonna sono quasi certamente le più antiche dell'intero complesso. Si ipotizza secondo il Locarni^[03] che la cappella della Madonna sia risalente ai tempi di S. Eusebio, quindi IV secolo d.C., mentre quella di santa Margherita all'XI secolo. Mentre il resto del Santuario sarebbe derivato da ampliamenti del XV secolo.

Ma secondo studi più recenti si ipotizza che il nucleo originario si sia sviluppato solo nel XII secolo dai Canonici Lateranensi, per poi venire completamente sostituito dall'edificio attuale in seguito.

Il ciclo dei dipinti della Cappella probabilmente è circoscrivibile a un periodo che va dal 1474 al 1485. Quindi i lavori di ristrutturazione del santuario sono quasi certamente avvenuti dopo l'avvento di Guglielmo VIII nel 1464, ma prima dell'erezione a Casale della Chiesa di S. Domenico nel 1472.



Figura 20: Cappella di Santa Margherita (fonte: CHIESE ROMANICHE E GOTICHE DI PIEMONTE E VALLE D'AOSTA, <https://www.chieseromaniche.it/immagini/fotochiese/99-9-Serralunga-di-Crea-Santa-Maria-Assunta-Affreschi-Cappella-S.jpg>).

[03] LOCARNI G. 1900, *Brevi cenni storici sull'insigne Santuario di Nostra Signora di Crea*.

3. I SACRI MONTI

La ragione dell'interesse verso questa Cappella è anche legata all'omonimia con due spose di Marchesi del Monferrato di casa Paleologa di nome Margherita, ovvero Margherita di Savoia, figlia del Duca Amedeo di Acaia, sposata in seconde nozze con Teodoro II (1381-1418) e Margherita di Savoia, figlia di Ludovico II principe di Acaia e divenuta moglie di Giovanni IV (1445-1465).

Le pitture ai lati della cappella lasciano dei dubbi sulla cronistoria pittorica, ipotizzando che siano stati realizzati quindi in epoca seguente quando Guglielmo VIII ebbe già raggiunto una certa rilevanza politica.

Guglielmo VIII Paleologo (1464-83) infatti rinnovò in modo profondo il suo marchesato e anche a Crea ha promosso ricostruzioni e ampliamenti, rendendo il santuario espressione sicura del suo potere, si fece lì ritrarre in ginocchio da un pittore di scuola lombarda insieme alla consorte Bernarda di Brosse e le figlie Giovanna e Bianca. Sullo sfondo a sinistra di Casale e del Po e a destra delle colline di Serralunga, sotto il racconto dedicato a santa Margherita di Antiochia.

Convento e Chiostro

Si sviluppano su quattro lati, di cui uno è corrispondente alla parete orientale della chiesa.

Nel XVIII secolo si ricorda secondo volere di Pio VI, su richiesta di Carlo Emanuele IV re di Sardegna, la soppressione e l'incameramento di tutti i beni delle case dei Canonici Lateranensi.

Nel 1801 il Piemonte cade sotto la dominazione francese e viene messo in vendita. Fu acquistato da Giovanni Cavallo nel 1809 e vennero da subito eseguiti lavori di demolizione. Questo fino all'acquisto della proprietà da parte del Vescovo di Casale, mons. Francesco Alciati.

Nel 1820 i Minori Francescani della provincia di S. Tommaso di Torino iniziano i lavori di riparazione. Nel 1866 venne nuovamente soppresso, ma non prima di venire ampiamente restaurato e ricostruito dai Francescani.

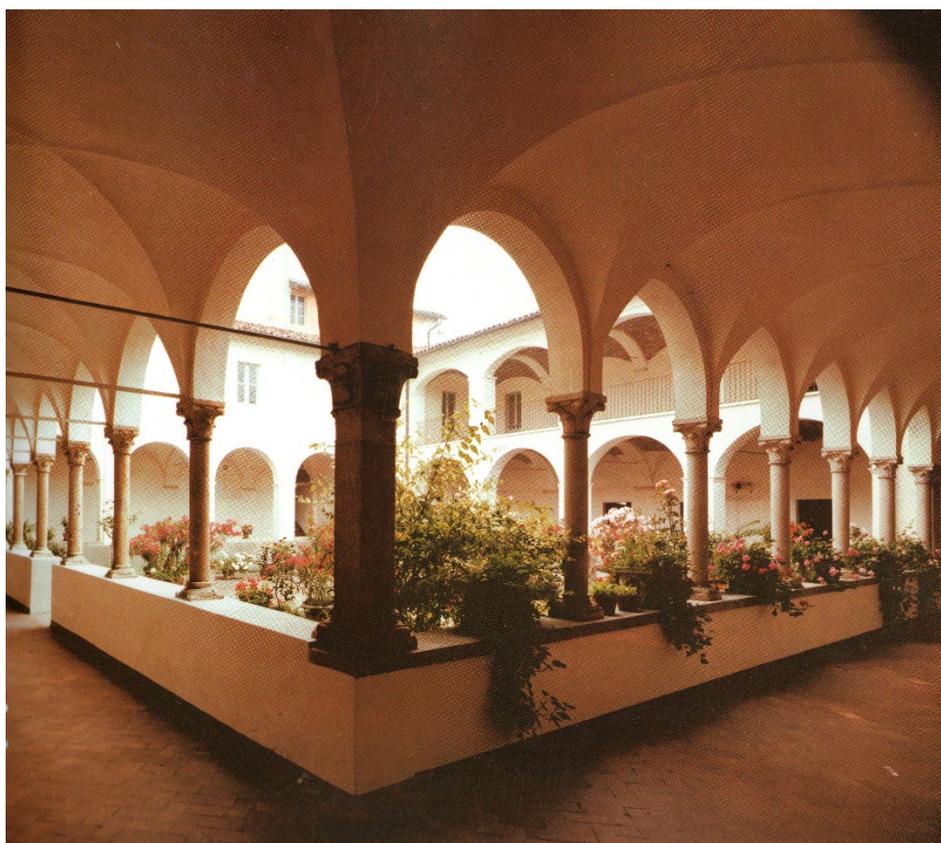


Figura 21: Chiostro del Santuario (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*).

La posizione del convento è data certamente dalla topografia del luogo e non sorge come di consueto sul fianco della chiesa ma a oriente in prosecuzione dell'asse longitudinale. Non si conosce la composizione originaria del sito, ma si ipotizza ricalcasse a grandi linee quella attuale a causa dei ritrovamenti di preesistenze murarie.

3.2.3 LE CAPPELLE

Il complesso del Sacro Monte si sviluppa sul colle di Crea attraverso 23 cappelle suddivise in tre principali macrotemi:

- La vita di Sant'Eusebio
- La vita di Maria
- La vita di Gesù

I due episodi della vita di Sant'Eusebio occupano la parte più bassa del monte, nella porzione iniziale della via sacra, prima dell'arrivo al Santuario, e sono: I *"il Martirio"* e II *"il Riposo"*.

Più in alto si incontra l'unica Cappella dedicata alla vita di Maria con tema veterotestamentario, ovvero i cui contenuti incarnano le scritture della Bibbia: III *"Maria Prefigurata e profetata"*.

Seguono poi le cappelle relative ai testi apocrifi sulla vita di Maria: IV *"La concezione di Maria"*, V *"La natività di Maria"*, VI *"La presentazione di Maria al Tempio"*, VII *"Lo sposalizio della Vergine"*. Esse sono preludio al più esteso tema dell'esaltazione mariana delle ultime cappelle.

A seguito si sviluppano le cappelle dei misteri che compongono una vera e propria *"Via Matris"*:

- Misteri Gaudiosi: VIII *"L'Annunciazione a Maria Vergine"*, IX *"La visitazione di Maria Vergine ad Elisabetta"*, X *"La natività di Gesù Cristo"*, XI *"La presentazione di Gesù al tempio"*, XII *"La disputa di Gesù nel tempio"*;
- Misteri Dolorosi: XIII *"L'orazione di Gesù nell'orto"*, XIV *"La flagellazione di Gesù Cristo"*, XV *"L'incoronazione di spine"*, XVI *"La salita al calvario"*, XVII *"Le nozze di Cana"*, XVIII *"La crocefissione"*;
- Misteri Gloriosi: XIX *"La risurrezione di Gesù"*, XX *"L'ascensione di Gesù in cielo"*, XXI *"La discesa dello Spirito Santo sopra gli apostoli"*, XXII *"L'assunzione di Maria in cielo"*, XXIII *"L'incoronazione di Maria Vergine"*;

Segue infine la via del ritorno con i romitori: 24 Alessio (sepolcreto), 25 Addolorata, 26 S. Rocco, 27 S. Francesco, 28 S. Luca.

A seguire saranno illustrate tutte le Cappelle facenti parte del complesso del Sacro Monte di Crea, esplicitandone l'evoluzione e gli interventi svoltisi nel corso degli anni.

| Colore | Significato |
|--------|---|
| | Fondazione tra la fine del XVI e l'inizio del XVII secolo |
| | Fondazione nel XVIII secolo |
| | Interventi di restauro |
| | Sostituzione elementi originali |
| | Eventi deleteri |

Tabella 3: Legenda relativa all'evoluzione storica di sintesi delle Cappelle.

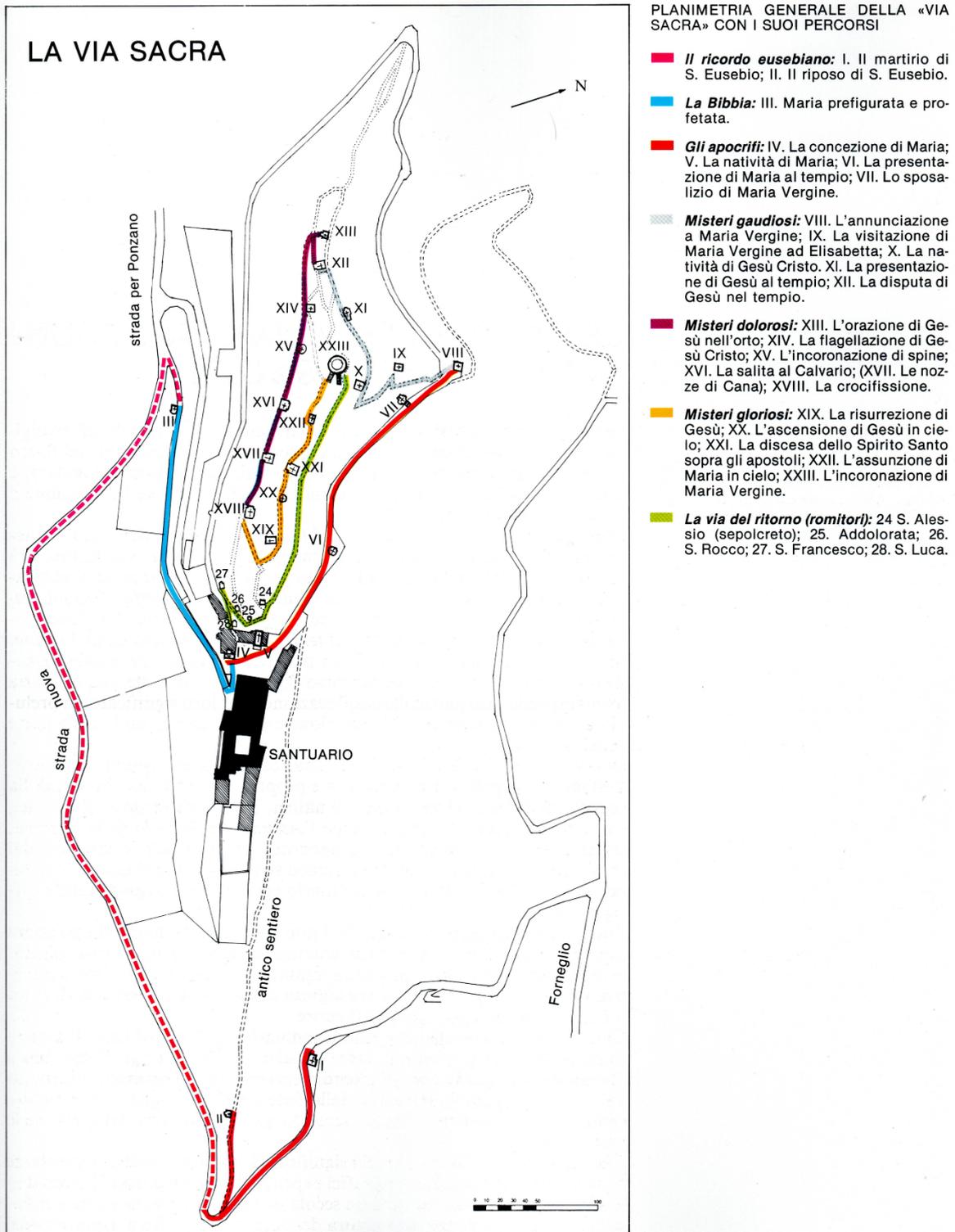


Figura 22: Rappresentazione schematica in pianta della distribuzione delle cappelle (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*).

La vita di Sant'Eusebio:

Uno dei principali artefici dell'arrivo e della propagazione del cristianesimo nell'area fu Sant'Eusebio, Vescovo di Vercelli, in quanto precedentemente legata al culto delle "Matronae". Viene ricordato come martire a causa dell'esilio dalla sua diocesi avvenuto dall'anno 355 fino alla sua morte nel 371.

Le statue che lo rappresentano sono state in parte realizzate dal Tabacchetti attraverso raffigurazioni di facile lettura, in contrapposizione al manierismo e al barocco che si stavano imponendo nel '500.

I “il Martirio di Sant’Eusebio”

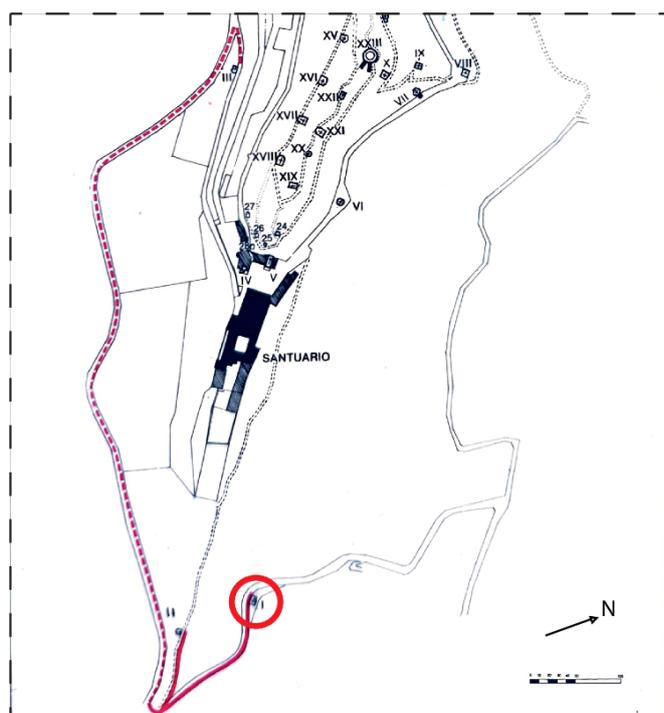


Figura 23: Keyplan Cappella 1 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 1.

Il gruppo statuario de “il Martirio di Sant’Eusebio” è quasi certamente uno dei migliori di Giovanni Tabacchetti grazie al realismo con cui rappresenta la ferocia della sassaiola nei confronti del vescovo di Vercelli. Gli affreschi, precedentemente attribuiti a Guglielmo Caccia, detto il Moncalvo, parrebbero attribuibili a Giorgio Albertini in collaborazione con un artista valsesiano e databili al primo decennio del Seicento. Oggi sono in gran parte andati perduti.

La costruzione si presenta affacciata su un piazzale antistante di dimensioni contenute e si sviluppa su due piani, uno inferiore che costituiva un porticato per la sosta e uno superiore formato da un loggiato a pilastri e colonne sormontate da capitelli fogliati.

| Proprietà originale della città di Vercelli | |
|---|---|
| DATA | EVENTO |
| 1589 | Fondazione |
| 1592 | Documentazione prosecuzione lavori |
| fine 1500 | Completamento decorazione interna |
| 1859 | Restauro eseguito da Padre Giuseppe Latini continuati poi da Leonardo Bistolfi |
| 1935 | Lo scultore Guido Capra (1888-1963), allievo di Leonardo Bistolfi, esegue un secondo restauro delle statue |
| 1977 | Atti vandalici |
| 1980-1981 | In parte restaurate da Gian Luigi Nicola, occupatosi del consolidamento degli affreschi, per conto della Soprintendenza per i Beni Artistici e Storici del Piemonte sotto spesa della Regione Piemonte, diretti dall’architetto Giulio Bourbon. |
| 2008 | Frana del versante ne mette a rischio l’incolumità, durante le opere di messa in sicurezza si scopre il sistema idrico collegato alla fonte di Sant’Eusebio, una fontana fuori dalla cappella. |
| 2018 | Restauro tetto e intonaco esterno |
| oggi | CHIUSA AL PUBBLICO |

Tabella 4: Ordine cronologico eventi Cappella 1.

3. I SACRI MONTI

Il “il Riposo”

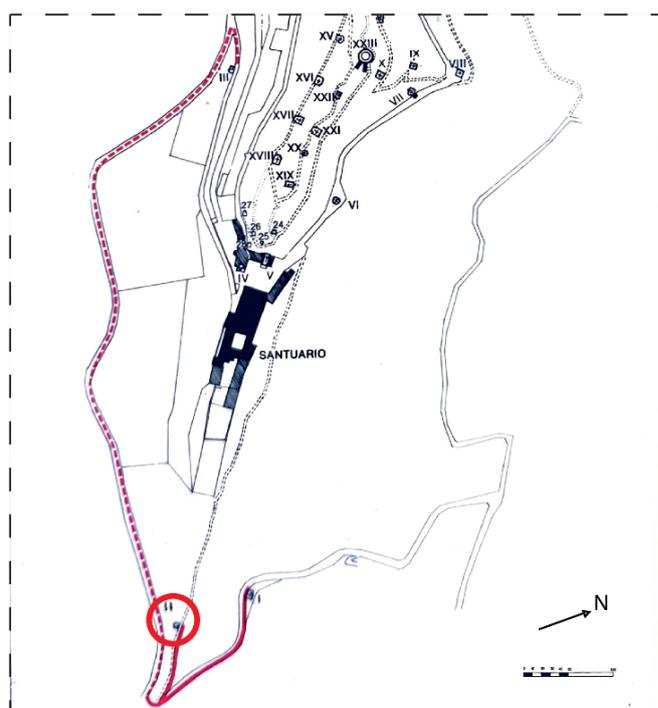


Figura 24: Keyplan Cappella 2 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 2.

Su un ripido sentiero poco dopo la Cappella del “Martirio di Sant’Eusebio” è possibile incontrare la Cappella del “Riposo”, collocata di fronte alla “roccia che guarisce”, una sorgente d’acqua reputata aver proprietà guaritrici, tutt’oggi ancora attiva, in prossimità del “sedile di Sant’Eusebio”, una roccia denominata in funzione della sua forma idonea al riposo simile a una sedia. Al suo interno prende forma il Santo addormentato su un sasso con la statua della Madonna nera e un chierico, opere di Giuseppe Latini, che hanno sostituito gli originali del Tabacchetti.

Sulle pareti a opera di Martini di Robella sono rappresentati celebri personaggi saliti a visitare il Monte. Il Maurizio nel suo “Lettere delle damigelle”^[04] vi leggeva: San Vincenzo Ferreri, La beata Margherita di Savoia e San Luigi Gonzaga con lo Zio Duca Vincenzo.

| Patrocinata da Canonici Lateranensi e Vicaria di Ottiglio: Ottiglio (S. Germano e S. Eusebio), Cereseto, Grazzano Badoglio, Olivola, Sala | |
|---|--|
| DATA | EVENTO |
| 1592 | Inizio edificazione da parte di Canonici Lateranensi con contributo di Jean Tabacchetti |
| 1613 | Durante la Prima Guerra del Monferrato la Cappella subisce danneggiamenti interni a opera di mercenari coinvolti nel conflitto in cerca di beni da depredate |
| 1725 | Cambio dei diritti di patronato che vanno in capo ai signori Giunipero di Corteranzo |
| 1860 | Demolizione pronao e rifacimento cappella, sostituzione statue e dipinti originali forse opera dei fratelli Tabacchetti e del Moncalvo, con nuove statue e dipinti rispettivamente di Giuseppe Latini e del Martini di Robella |
| 10/05/1900 | Atto di cessione di proprietà all’amministrazione del Sacro Monte |
| 1978-1979 | Restauro degli esterni con il contributo della regione Piemonte e all’interno da Pietro Vignoli con i finanziamenti dei paesi della vicaria di Ottiglio |

Tabella 5: Ordine cronologico eventi Cappella 2.

[04] MAURIZIO C. 1901, *Lettere sul Santuario di N. S. di Crea in Monferrato delle Damigelle Matilde e Pierina di... alla Damigella Adele di...* [citazione riportata testualmente da CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*].

Episodio della Bibbia (Vita di Maria)

III “Maria prefigurata e Profetata”

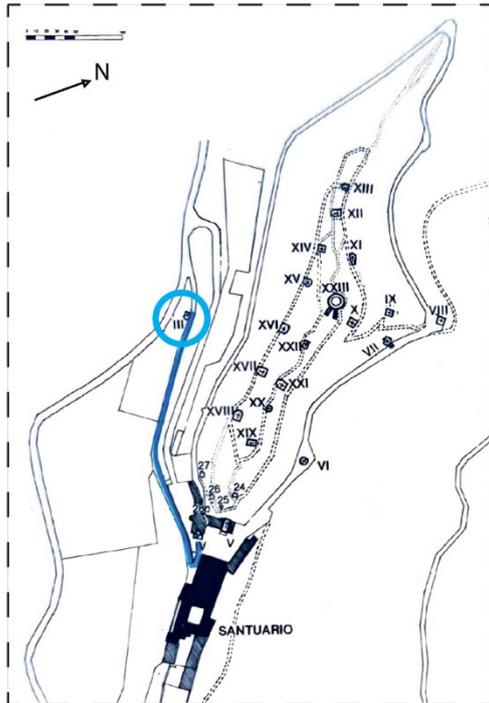


Figura 25: Keyplan Cappella 3 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 3.

Rappresenta la gloriosa incoronazione in cielo della Madonna, racconto noto soprattutto per tradizione orale, composto da due linguaggi figurativi differenti, scultoreo e pittorico. La cappella attuale sostituì quella della “Creazione di Adamo ed Eva” durante i lavori di restauro ottocenteschi, senza però ottenere alcuna soluzione di continuità con il resto del percorso sacro, non essendo disposta in ordine cronologico rispetto agli eventi. La Vergine, è da ricordare, fu elevata a “tipo” dalla chiesa neotestamentaria controriformista del ‘500.

La capella ha pianta ellittica, munita di portico antistante composto da pilastri che sorreggono archi e sormontato da una volta a padiglione. La sua disposizione lungo il percorso oggi è penalizzata da una accessibilità non ottimale, non lungo il percorso principale di accesso.

| Patrocinata dal Sacro Monte di Crea | |
|-------------------------------------|--|
| DATA | EVENTO |
| 1609-1627 | Costruzione Cappella originaria dedicata alla Creazione di Adamo ed Eva, statue sono opera di C. Morra di Grazzano mentre i dipinti ai lati erano opera di Luigi Pavese di Vignale, ma sono oggi scomparsi. I lavori rimasero sospesi e ripresi solo per volere di Giorgio Tenaglia, governatore di Moncalvo, che provvide alla conclusione dell’opera tra il 1618 e il 1627, facendosi inoltre affrescare a cavallo sulla parete di fondo. |
| 1805 | Restauro parziale da parte dei signori Ludovico dal Pozzo e Giuseppe Comazzi di Moncalvo |
| 1864 | Passaggio di proprietà ai signori Gorla di Pontestura (appesi i loro ritratti) |
| 1867 | Cappella rimaneggiata da Francesco Brocchi, e dedicata non più alla Creazione di Adamo ed Eva ma all’inizio della nuova creazione, con la nuova Eva, Maria. Rinforzo strutturale. |
| 2018 | Sottoposta a restauro con intervento urgente di messa in sicurezza della cappella |

Tabella 6: Ordine cronologico eventi Cappella 3.

3. I SACRI MONTI

Cappelle dei Testi Apocrifi

Derivate dalla letteratura apocriфа, che amplia la visione sulla vita di Maria rispetto ai 4 vangeli, non seguono perciò i dettami tradizionali della Chiesa cattolica. Si rifà in parte al Protovangelo di Giacomo per quanto riguarda i primi anni di vita di Maria.

L'inclusione nel sacro monte di tematiche legate a testi apocriфи è legata alla forte presenza del culto mariano, derivato a sua volta del culto delle "matronae", concesso per andare incontro alla devozione popolare.

Il ciclo di Cappelle apre la raccolta cronologica degli eventi che condurranno alla vita di Gesù e rappresenta quindi una considerevole aggiunta alla tradizionale iconografia cattolica, un *unicum* nel suo genere nel panorama nazionale.

IV "La Concezione di Maria"

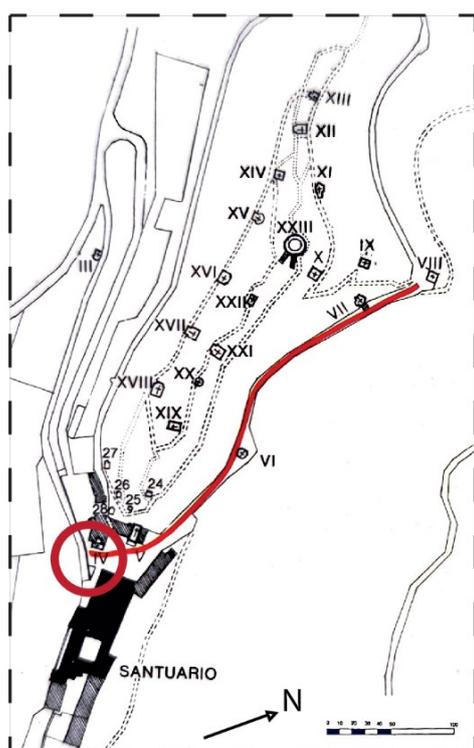


Figura 26: Keyplan Cappella 4 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 4.

Realizzata al limite della piazza del santuario, era munita di pronao, in seguito demolito. Si compone di un Tempietto a pianta quadrata con 3 nicchioni, che gli conferiscono una forma a croce, e coperto da una cupola ottagonale. Fu fatto costruire dei conti Arborio di Gattinara alla fine del Cinquecento.

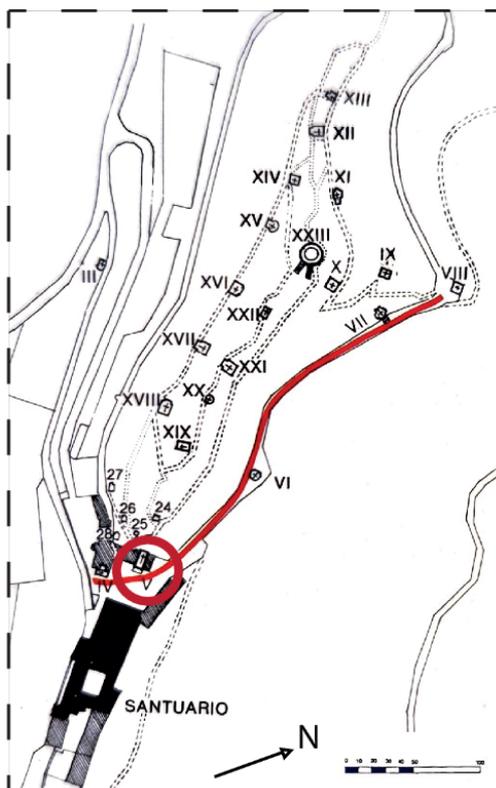
La semplice facciata è decorata con lesene angolari e due finestre laterali che incorniciano la porta, mentre in alto una piccola finestra ovale illumina gli interni

Sopra altare è presente un altorilievo di Paolo Giovenone con scena di San Gioacchino e Sant'Anna alle porte del Tempio di Gerusalemme. Ai piedi sono presente statue del Tabacchetti raffiguranti i soggetti commissionerari dell'opera, il conte Onofrio Gattinara, la consorte la contessa Margherita Beccaria e il figlio Carlo Francesco. Rappresentati inginocchiati un po' rigidi e con il capo sopra la "gorgiera" plissettata, in linea con il costume dell'epoca. Si evidenzia l'equilibrio tra il fatto umano e divino, nelle nicchie ai lati sono indicate le annunciazioni di entrambi i genitori di Maria.

| Patrocinata dalle parrocchie di: Calliano, San Desiderio, Grana, Tonco, Alfiano Natta, Sanico | |
|---|--|
| DATA | EVENTO |
| 1598 | Edificazione a opera di contessa di Sartirana, Margherita Beccaria, come ex-voto |
| 1756 | Gli affreschi laterali, realizzati dal Moncalvo, raffiguranti San Francesco e Maria Maddalena, sono scomparsi e coperti da una lapide che ricorda i primi restauri a opera del conte Mercurino Ferdinando, ambasciatore a Parigi di Carlo Emanuele di Savoia |
| 1815 | Secondo restauro per conto di Ludovico di Sartirana, figlio di Mercurino, le antiche decorazioni parietali furono sostituite da affreschi realizzati da Pier Giuseppe Cima |
| 1978 | Ultimo restauro riguardante le statue, gli affreschi e l'impianto strutturale, è stato eseguito da Gian Luigi Nicola |
| 1983 | Restauro opere murarie per conto della Regione Piemonte |

Tabella 7: Ordine cronologico eventi Cappella 4.

V “La Natività di Maria”

Figura 27: Keyplan Cappella 5 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 5.

Collocata in asse con la basilica, l'effigie araldica originale Gonzaghesca è stata sostituita da quella Sabauda. La facciata si compone di quattro lesene binate di ordine ionico poggianti su alti zoccoli e reggenti la trabeazione laterale.

Si sviluppa come una piccola chiesa di pianta composita, dall'accesso con semplice gradinata che ha sostituito l'originale scala barocca. Gli accessi di tipo serliano con un arco a tutto sesto sostenuto da esili colonne binate, diversificano l'ingresso dei fedeli dal resto.

La cupola con il suo alto tamburo contrasta con nicchie e lesene ed è sormontato da una lanterna cilindrica che conferisce slancio e non rende subito percepibili i quasi 20 metri di altezza.

All'interno si compone di due spazi, uno con andamento ascensionale e l'altro che si allunga in profondità. Il primo genera la sala della contemplazione, nel secondo a un livello più elevato rispetto al

3. I SACRI MONTI

terreno la scena della nascita di Maria. Le statue sono presumibilmente del Tabacchetti mentre gli affreschi nei pennacchi del Moncalvo.

| Patrocinato prima dei Duchi del Monferrato e poi dei Savoia | |
|---|--|
| DATA | EVENTO |
| 1590 | Edificazione a opera del duca di Mantova e del Monferrato, Vincenzo I Gonzaga, su progetto di Giovanni Francesco Baronino |
| fine 1500 | Decorazione pittorica volta a opera di Giorgio Alberini |
| 1637 | Progetto di G. Faciotto per la costruzione di un portico antistante |
| 1682 | Prima campagna di restauri voluti dal Duca Ferdinando Carlo Gonzaga ed eseguiti da Giovanni Antonio Veglia di Asti, che interessano gli affreschi della volta e delle pareti |
| 1715 | Ai Gonzaga subentrarono i Savoia dopo essere prima stata acquistata da Fabbrica parrocchiale di Forneglio da Melchiorre Bava dopo soppressione napoleonica. Vittorio Amedeo II fa sostituire la scala esistente con una barocca. |
| 1734 | Re Carlo Emanuele III di Savoia provvede a restauro |
| 1834 | Restauri voluti da re Carlo Alberto |
| 1859 | Vittorio Emanuele fa realizzare un nuovo altare in marmo e la nuova gradinata esterna, mentre gli affreschi vengono rimaneggiati dal Martini di Robella |
| 1981 | Restauro esterni |
| 1989 | Nuovo restauro degli affreschi da parte di P. Vignoli e L. Pagella |
| oggi | Recenti lavori hanno fatto riemergere parte della originaria decorazione della volta con figure di putti |

Tabella 8: Ordine cronologico eventi Cappella 5.

VI “La Presentazione di Maria al Tempio”

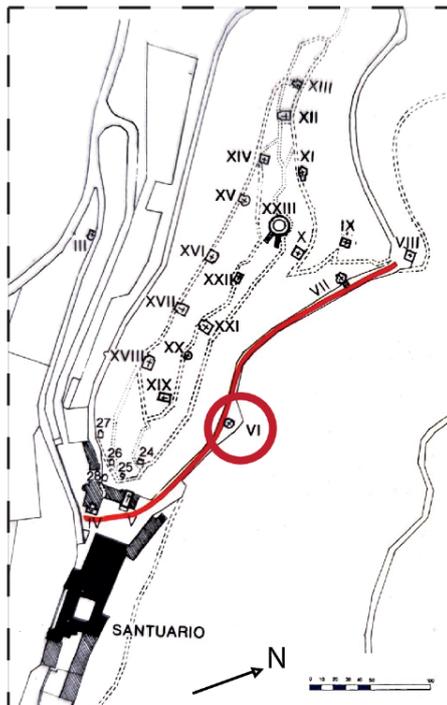


Figura 28: Keyplan Cappella 6 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 6.

L’antica usanza di collocare nel ritiro del Tempio le figlie degli Ebrei perché fossero educate nel timore di Dio è tutt’ora ricordata dalla chiesa orientale, ed è stata ripresa come tema all’interno della cappella in questione.

Ricordata già nel Breve di Clemente VIII nel 1598 ^[07], nel Settecento la cappella era nominata “di Sant’Anna”. Si compone di una piccola costruzione di pianta ottagonale all’esterno e circolare all’interno, relativamente isolata dal resto del complesso, ma in un cono ottico generato dal viale alberato che si sviluppa a partire dal lato nord della piazza del Santuario. Le statue al suo interno non sono originali ma furono sostituite a causa del degrado nel 1813.

| Patrocinata dalle parrocchie di: Villanova, Balzola, Morano Po, Casale Popolo, Terranova | |
|--|--|
| DATA | EVENTO |
| 1590 | Conclusione costruzione a opera del Priore Costantino Massimo pochi anni dopo l’istituzione da parte di Papa Sisto V, intervenne nei lavori anche il Tabacchetti e fu finalizzata tramite il contributo della famiglia Masino |
| 1801 | Distruzione napoleonica |
| 1813 | Sostituzione delle statue originali, opera dei fratelli Tabacchetti, rovinate durante le incursioni napoleoniche, con le attuali di Varallo di Moncalvo a spese della famiglia D’Arco Ardizzone. (Gli esisti plastici non hanno mai né convinto i visitatori né tutt’oggi paiono in linea con gli affreschi del Caccia.) |
| 1859-1860 | Lavori di manutenzione strutturali, statue ridipinte dal Giuseppe Latini con contributi damigella Felicita Lachelli |
| 1983 | Le statue e gli affreschi sono stati sottoposti a un ulteriore restauro a cura di Gian Luigi Nicola per la Regione Piemonte, opere esterne finanziate invece da fonti private |

Tabella 9: Ordine cronologico eventi Cappella 6.

VII “Lo sposalizio della Vergine”

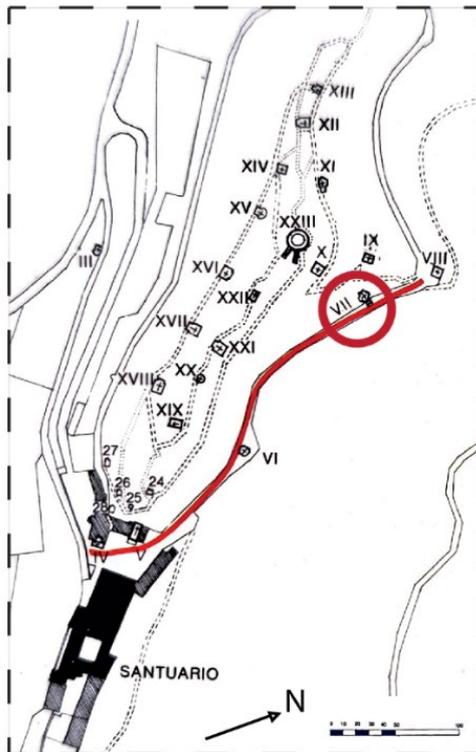


Figura 29: Keyplan Cappella 7 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 7.

Cappella dalla pianta ottagonale arricchita sui fianchi da due nicchie che le conferiscono ricchezza spaziale. L’accesso avviene tramite una scaletta che ha sostituito il portico originario, già in rovina nel 1850. All’interno è presente un gruppo plastico realizzato da Giovanni e Nicola Tabacchetti, di ottima

[07] CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*.

3. I SACRI MONTI

qualità e grande effetto nonostante le lesioni subite durante l'epoca giacobina e i ritocchi di Padre Latini per conto della commissione restauri.

Viene raffigurato lo Sposalizio della Vergine, al centro il sacerdote tiene le loro mani, da una parte sono presente i pretendenti delusi, riferimento al passo secondo cui tramite una verga di mandorlo fiorita avrebbero deciso chi avrebbe sposato Maria, e dall'altra parte delle giovani cantanti. Accompagnano il tutto le immagini del bassorilievo sull'altare dell'episodio di Rebecca ed Eliezer. Gli affreschi, attribuiti a Giovan Battista Crespi, detto il Cerano e al Moncalvo per la volta, raffigurano per quest'ultima l'Eterno circondato da angeli festanti.

| Patrocinata dalla Vicaria di Rosignano, composta da: Rosignano, Cellamonte, Roncaglia, San Martino, Terruggia; e alla Vicaria di Ozzano, composta da: Ozzano, San Giorgio, Torcello, Treville | |
|---|--|
| DATA | EVENTO |
| Fine 1600 | Edificazione originaria |
| 1605-1610 | Realizzazione affresco su volta: è raffigurato il Padre Eterno circondato da angeli che partecipa all'evento dall'alto, attribuibile a Giorgio Alberini |
| prima del 1612 | Termine costruzione con contributo della comunità di Candia Lomellina |
| 1858 | Realizzazione delle 3 figure centrali: sono in parte in gesso dipinto, rifatte durante i restauri eseguiti dal Giuseppe Latini con il contributo del canonico don Gregorio Crova |
| 1934-1935 | Lavori conservativi sull'apparato scultoreo a cura di Guido Capra |
| 1979-1981 | Restauri a dipinti e sculture, voluti dal padre Antonio Brunetti ed eseguiti da Pietro Vignoli con contributi privati e della regione |
| 2018 | Rimozione frana sul retro della cappella |

Tabella 10: Ordine cronologico eventi Cappella 7.

Misteri gaudiosi

VIII "L'Annunciazione dell'Angelo a Maria Vergine"

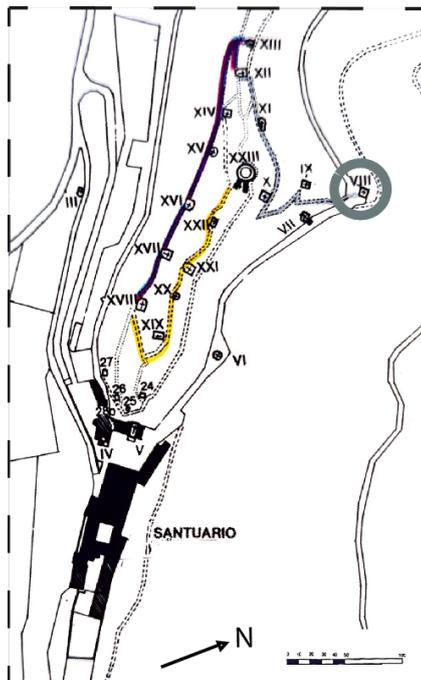


Figura 30: Keyplan Cappella 8 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 8.

Cappella dalla configurazione quadrangolare ingentilita dalle lesene d'angolo in cotto, a sinistra dell'ingresso riporta i grifoni alati simbolo della città di Alessandria. Risulta situata in fondo al viale alberato, e da essa si dipartono il viale che gira attorno al monte e il percorso ascendente verso la cima.

Sul fondo si possono osservare l'ancona con ai lati due cariatidi che sostengono l'architrave con sopra Dio in gloria, la figura sottostante rappresenta la vittoria di Giuditta sul generale di Nabucodonosor, Oloferne, decapitato e con il corpo supino, scultura del Tabacchetti.

La statua dell'arcangelo e di Maria oltre che dei quattro evangelisti nelle nicchie sono quasi certamente anch'esse di Nicola Tabacchetti con l'aiuto del fratello Giovanni.

Gli affreschi invece sono presumibilmente del Fiamminghino rappresentano la regina Ester implorante il re Assuero per ottenere la salvezza e la libertà del popolo ebraico, mentre a sinistra i resti di un affresco raffigurante una colomba. La volta è presumibilmente decorata da Guglielmo Caccia o da un suo stretto collaboratore alessandrino, Giorgio Albertini.

| Proprietà originale della città di Alessandria | |
|--|--|
| DATA | EVENTO |
| 1592 | Anno di fondazione |
| 1599 | Decorazione interna |
| 1853 | Inizio restauri grazie a contributo di Galeazzo Maria Conzani di Revigliano, fu demolito il piccolo atrio che arricchiva l'aspetto esteriore in quanto pericolante |
| 1916 | Passaggio di proprietà sotto l'amministrazione del Sacro Monte |
| 1970 | Restauro esterno |
| 1981-1983 | Ultimi restauri sistemazioni esterne e integrazioni di dipinti e sculture a opera del restauratore alessandrino Pietro Vignoli |

Tabella 11: Ordine cronologico eventi Cappella 8.

IX "La Visitazione di Maria Vergine ad Elisabetta"

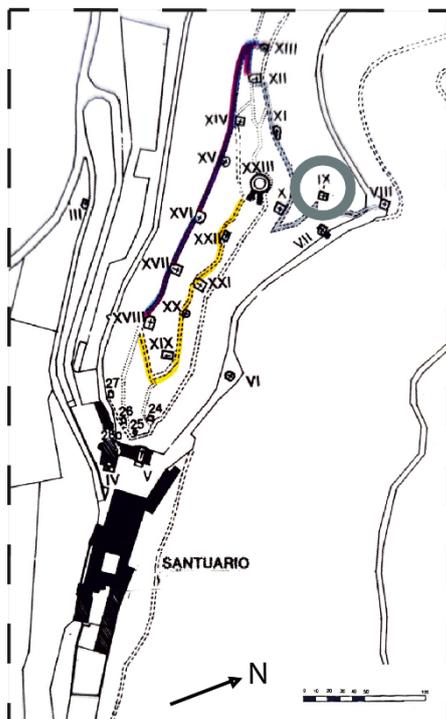


Figura 31: Keyplan Cappella 9 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 9.

3. I SACRI MONTI

Dopo la precedente cappella il percorso prosegue per un ripido sentiero e si giunge alla cappella.

L'edificio a pianta quadrata presentava un tempo un piccolo pronao, oggi scomparso, al suo interno solo collocate quattro statue dalle linee semplici realizzate da Giuseppe Latini.

| Patrocinata dalle parrocchie di: Giarole, Bozzole, Pomaro, Valmacca, Ritirata | |
|---|--|
| DATA | EVENTO |
| 1598 | Edificazione a opera del marchese Fabio Gonzaga, governatore del Monferrato |
| 1798 | Ritornata in possesso del convento fu assegnata in patronato all'abate Patrizio Sannazzaro |
| 1801 | Distruzione durante incursione napoleonica |
| 1866 | Ripristinata nelle decorazioni interne e nella struttura esterna, l'apparato scultoreo, attribuito al Tabacchetti, fu sostituito dalle sculture di Giuseppe Latini, gli affreschi laterali sono stati realizzati da Veglia, originariamente dal Moncalvo, mentre la volta è stata realizzata nell'Ottocento da Paolo Maggio di Sannazzaro de' Burgondi. Furono eseguiti lavori di restauro anche della muratura. |
| 1934 | Interventi |
| 1979 | Restauro esterno |
| 1983 | Affreschi consolidati da Pietro Vignoli |
| 1989-1990 | Restauro delle statue e rifacimento del pavimento |

Tabella 12: Ordine cronologico eventi Cappella 9.

X "La Natività di Gesù Cristo"

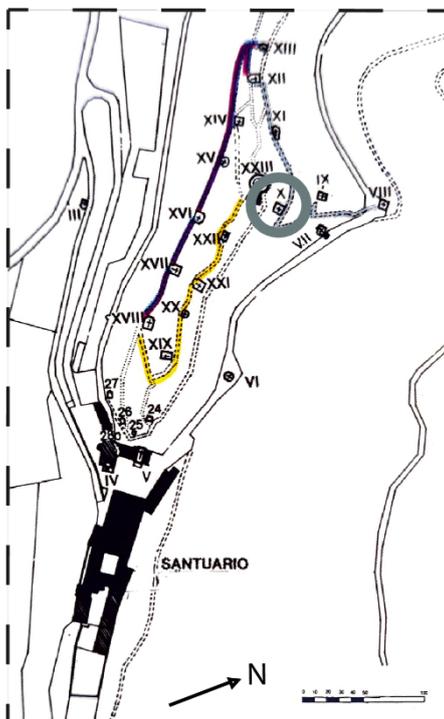


Figura 32: Keyplan Cappella 10 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 10.

Originariamente dedicata all'apparizione dell'Angelo in sogno a S. Giuseppe, fu sottoposta a restauri che ne modificarono l'intitolazione per rappresentare su progetto del vescovo Luigi Nazari di Calabiana, che intendeva avere in questa parte della "Via Sacra" tutti i misteri del Rosario.

Originariamente era composta da tre statue: la Vergine seduta intenta ai lavori domestici e l'angelo nell'atto di parlare con Giuseppe sprofondato in un sonno inquieto, mentre alle pareti era raffigurata la scala di Giacobbe.

L'edificio ha pianta rettangolare con un'abside semicircolare in cui si inserisce la scena della nascita di Gesù, come nei tradizionali schemi dei presepi.

| Patrocinata dalle parrocchie di: S. Salvatore, Occimiano, Castelletto Monferrato, Mirabello, Fosseto | |
|--|---|
| DATA | EVENTO |
| 1606 | Erezione cappella, fatta costruire dai fratelli Onorio e Antonio Gaspardone, un tempo era dedicata all'apparizione dell'Angelo in sogno a S. Giuseppe con le originali statue del Tabacchetti e gli affreschi parietali del Moncalvo |
| 1722 | Francesco della Chiesa, vicegovernatore di Moncalvo, con Clara Madregardis della Chiesa restaurano la cappella |
| 1801 | Devastazione completa della cappella |
| 1862-1868 | Sotto la guida del canonico Crova cambio destinazione nel "mistero" della Natività di Gesù con una nuova sistemazione e statue eseguite dal Giuseppe Latini, furono inoltre eseguiti i primi interventi sulla struttura muraria, in grave deperimento per l'umidità e alcuni lavori sulle decorazioni, i lavori furono finanziati da Vittorio Giunipero di Corteranzo |
| Dopo 1877 | Scena venne ulteriormente modificata dal Canonico Giuseppe Bussi, con l'eliminazione della capanna e l'apertura di una grotta nella roccia, e con l'aggiunta di statue dei Antonio Brilla e, successivamente del De Dei |
| 1886 | Furono staccati dalla cappella successiva e trasportati in questa cappella anche i dipinti del Moncalvo, trasferiti poi nei locali del convento e sostituiti da quelli di Paolo Maggio e Francesco Nicora |
| 10/05/1900 | Ceduta all'amministrazione del Sacro Monte |
| 1934 | Primo restauro con il concorso delle vicarie di Occimiano e di San Salvatore, in questa occasione la scena plastica venne eseguita dallo scultore casalese Guido Capra |
| 1969 | Demolizione portichetto antistante |
| 1970 | Restauro esterno a opera dell'amministrazione del Sacro Monte |
| 1980 | Restauro interno a opera di Gian Luigi Nicora |

Tabella 13: Ordine cronologico eventi Cappella 10.

XI "La Presentazione di Gesù al Tempio"

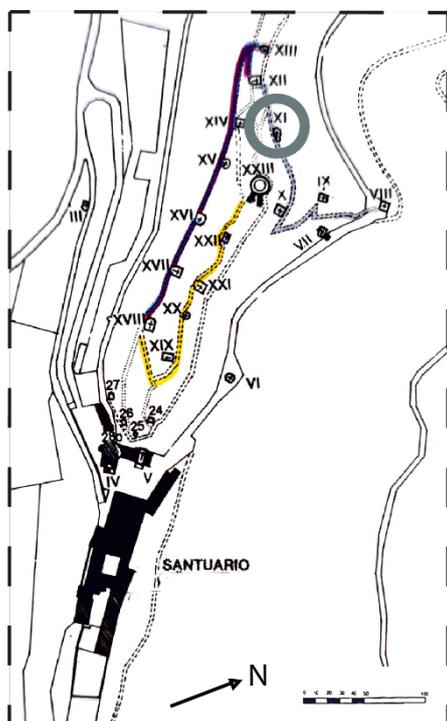


Figura 33: Keyplan Cappella 11 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 11.

3. I SACRI MONTI

Precedentemente raffigurante il tema della natività di Cristo, anticipato nell'Ottocento in quella precedente, fu fondata negli ultimi anni del XVI secolo dal sacerdote Pomponio Bigliani, priore di Altavilla, precedentemente al 1598.

La costruzione ha pianta quadrata munita di pronao esternamente e ottagonale internamente, prima della trasformazione era animato dalle sculture del Tabacchetti, con la capanna dipinta nell'abside centrale, con attorno gli affreschi del Moncalvo, staccati e trasferiti nella cappella precedente e poi nel convento.

Gli interventi ottocenteschi hanno portato alla realizzazione del gruppo statuaria raffigurante le statue di Giuseppe, della Vergine, del vecchio Simeone con il bambino in braccio e della profetessa Anna, opera del padre Giuseppe Latini e di Antonio Brilla, i dipinti furono eseguiti da Paolo Maggi e l'ornato da Francesco Nicora.

| Patrocinata dalla Vicaria di Mombello: Mombello, Casalino, Ilengo, Morsingo, Pozzengo | |
|---|--|
| DATA | EVENTO |
| 1598 | Cappella già costruita ma con tema della natività di Cristo dal sacerdote Pomponio Bigliani, priore di Altavilla |
| 1801 | Danneggiata in epoca napoleonica |
| 1814-1815 | Restaurato da Pier Giuseppe Cima per conto dei signori di Monti di Tonco |
| 1850 | Cappella si presentava pesantemente rovinata a causa dell'umidità e della crescita di sterpaglie |
| verso fine XIX secolo (1882?) | Nel corso della ristrutturazione decisa dal vescovo Nazari di Calabiana, venne dedicata al IV mistero gaudioso del rosario: la presentazione di Gesù al tempio, Il gruppo statuaria ottocentesco è in gesso dipinto ed è opera del Giuseppe Latini e di Antonio Brilla, che si è ritratto nelle fattezze di Simeone. Le pareti sono state dipinte dal Paolo Maggi, mentre la prospettiva e l'ornato, dal Caironi e da Francesco Nicora |
| 1886 | Termine lavori di restauro |
| anni '30 del '900 | Interventi interni di restauro probabilmente solo interni a opera dello scultore casalese Guido Capra |
| 1979 | Restaurata esteriormente dalla Regione Piemonte |
| Oggi | Si presenta in condizioni precarie di degrado |

Tabella 14: Ordine cronologico eventi Cappella 11.

XII "La Disputa di Gesù nel Tempio"

Originariamente nota come la cappella "degli Ebrei" fu profondamente rimaneggiata nell'Ottocento e divenuta della "Disputa di Gesù nel Tempio", quella che conclude l'ultima tappa dei misteri gaudiosi. Sorge su un'area pianeggiante sul luogo in cui anticamente sorgeva l'abitato di Cardalona, il borgo citato in numerosi documenti e scritti storici.

La cappella è completamente nuova, fatta costruire in seguito al voto compiuto per la guarigione di Monsignor Nazari di Calabiana, gravemente ammalato nel 1881.

Edificio di pianta quadrata con pronao sostenuto da pilastri e colonne, al suo interno ospita il gruppo plastico di Antonio Brilla che ha sostituito solo in parte il precedente, che a detta dell'epoca risultavano di scarso valore artistico. Le pareti raffigurano l'atrio del tempio a colonnato con prospettiva di sale, cortili, portici e campagne, dipinte dal pittore milanese Agostino Caironi.

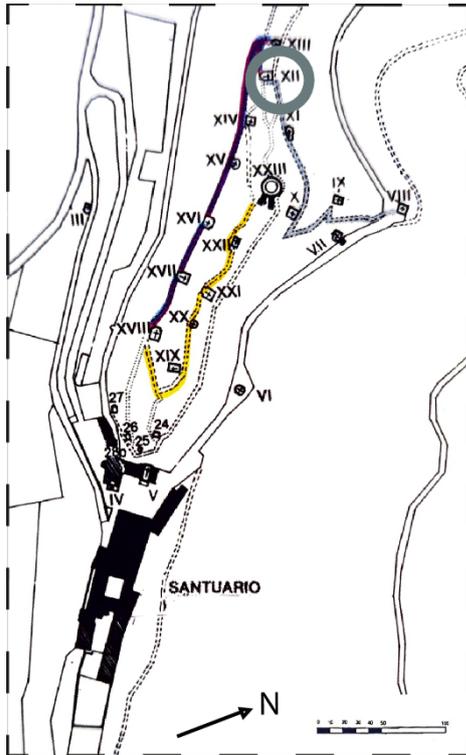


Figura 34: Keyplan Cappella 12 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 12.

| Patrocinata dalla Vicaria di Vignale: Vignale, Casorzo, S. Stefano; e la Vicaria di Montemagno: Montemagno, Altavilla, Camagna, Franchini, Frassinello, Fubine | |
|--|--|
| DATA | EVENTO |
| XVII secolo | Edificazione edificio originario dove anticamente sorgeva l'abitato di Cardalona |
| 1881-1882 | Edificazione ex novo a seguito di un voto del vescovo Nazari di Calabiana. All'interno, il gruppo plastico di Antonio Brilla, in origine di tredici statue, raffigura la disputa di Gesù al tempio. Le pareti, affrescate da Agostino Caironi, ritraggono il tempio sorretto da un colonnato, altri dottori della legge coinvolti nella discussione e scorci della città con i suoi portici e giardini. I lavori furono eseguiti sotto la guida e l'aiuto di Mons. Felice Bava, vicario foraneo di Casorzo, che sostituì il canonico Bussi nell'amministrazione del santuario. |
| 1979 | Il risanamento esterno della cappella è stato eseguito a spese della Regione Piemonte |

Tabella 15: Ordine cronologico eventi Cappella 12.

Misteri dolorosi

XIII “L’orazione di Gesù nell’orto”

Fino alla metà dell’Ottocento la cappella era dedicata alle Sibille, un piccolo edificio di pianta quadrata con pronao rivolto a settentrione, fabbricato a spese del monastero all’inizio del Seicento, per ricordare le predizioni della venuta del Messia fatte dalle sibille. All’interno erano presente le statue delle 12 sibille, raffigurate con i rispettivi detti, anche se si presentavano nell’Ottocento in gran parte in frantumi.

Fu completamente ricostruita nel 1860 per intervento della commissione restauri, il pronao venne fatto orientare verso sud, sostenuto da pilastri in laterizio, ma dopo poco più di un decennio dall’inizio dei lavori (1872) ancora non si presentava ultimata all’interno.

3. I SACRI MONTI

Nel 1883 Mons. Luigi Nazari di Calabiana incarica di far raffigurare dal plastificatore Antonio Brilla e dal pittore Agostino Cairoli il tema, realizzando le figure in gesso. Il Brilla fece inoltre posizionare un vetro azzurro per enfatizzare il tema della notte, anche se non fu completamente apprezzata questa scelta^[04].



Figura 35: Keyplan Cappella 13 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 13.

| Patrocinata dalle parrocchie di: Brusasco, Cavagnolo, Monte da Po, Brozolo, Verrua Savoia, Sulpiano | |
|---|--|
| DATA | EVENTO |
| 1601 | Edificazione originaria, con ingresso in posizione opposta all'attuale |
| 1860 | Ricostruzione per volere della Commissione dei restauri, il pronao venne fatto orientare verso sud, sostenuto da pilastri in laterizio |
| 1872 | Non ancora ultimata all'interno |
| 1883 | Vescovo Nazari di Calabiana la fece decorare a sue spese, con statue del Brilla e dipinti del Caironi |
| al 1989 | Ancora da restaurare |

Tabella 16: Ordine cronologico eventi Cappella 13.

XIV “La flagellazione di Gesù Cristo legato alla colonna”

Si compone di un piccolo edificio di pianta quadrata dalle linee semplici al cui interno prendono spazio sei figure del Brilla, accompagnato dalle prospettive architettoniche dei pittori Francesco Nicora e Ponziano Loverini.

Nel 1887 le statue erano già state realizzate ma ancora non colorate, nonostante furono apprezzate per il realismo che trasmettevano^[04]. Fu infatti costruita nel 1886, anche se non compresa nell'elenco di padre Maccono^[07] che menziona invece quella precedente del “Battesimo di Gesù”, scomparsa però molto probabilmente già nel Settecento insieme a quella “Dei Pastori”. È molto probabile la cappella della Flagellazione sia sorta sopra quella del Battesimo.

[04] MAURIZIO C. 1901, *Lettere sul Santuario di N. S. di Crea in Monferrato delle Damigelle Matilde e Pierina di... alla Damigella Adele di...* [citazione riportata testualmente da CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*].

[07] CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*.

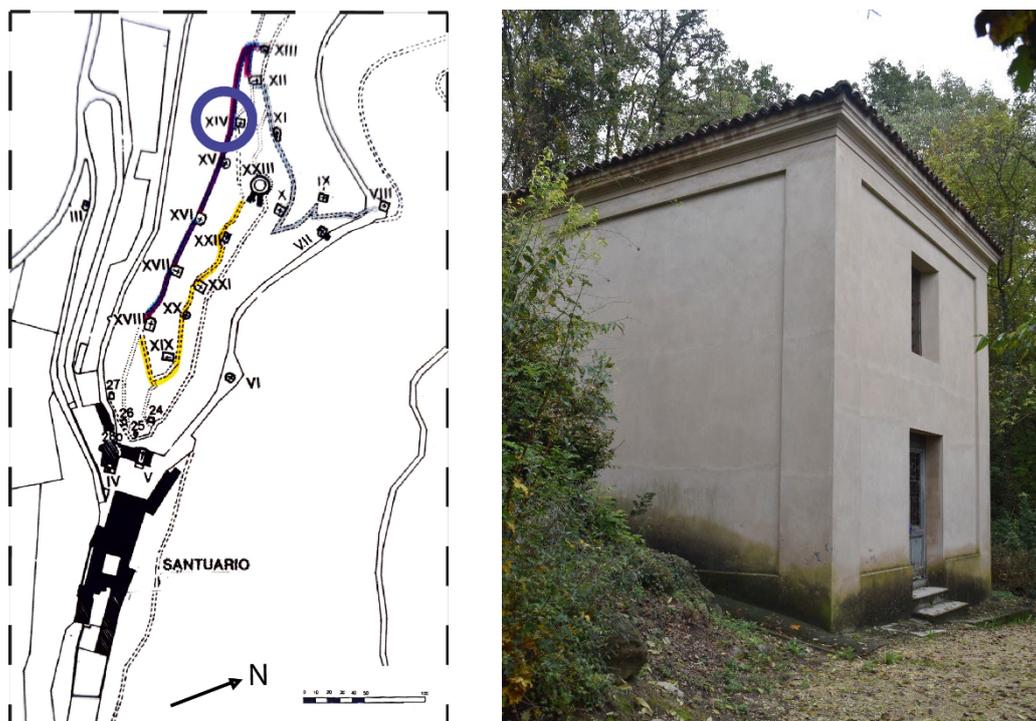


Figura 36: Keyplan Cappella 14 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 14.

| Patrocinata dalle parrocchie di: Coconato, Coconito, Cortiglione, Moransengo, Robella, Tonengo, Tuffo, Montiglio, Banengo, Carboneri, Colcavagno, Scandeluzza | |
|---|---|
| DATA | EVENTO |
| inizio XVII secolo | Edificazione originale |
| 1886 | Ristrutturazione integrale, canonico Giuseppe Bussi incaricò Antonio Brilla della realizzazione delle statue, Francesco Nicora per le prospettive architettoniche e Ponziano Loverini per le figure |
| 1935 | Guido Capra ha eseguito restauri delle sculture e la sostituzione di una statua |
| 1979 | Esternamente è stata risanata per conto della Regione Piemonte |
| 1992-1999 | Nuovi interventi di restauro delle statue e dell'apparato decorativo |

Tabella 17: Ordine cronologico eventi Cappella 14.

XV “L’Incoronazione di spine”

La cappella era originariamente dedicata al tema del “Ritorno dall’Egitto” e presentava statue e dipinti di pregevole fattura seppur in cattivo stato ai tempi di padre Onorato Corrado.

Dalla pianta ellittica rettificata e dalla linea semplice e aggraziata, il piccolo edificio venne fatto costruire nel 1609 dal nobile Alfonso de Corte, miracolosamente scampato all’annegamento qualche anno prima.

Non fu ricordato nell’elenco settecentesco delle cappelle compilato dal canonico Giuseppe de Conti, probabilmente perché in rovina, il tempietto venne restaurato all’inizio dell’Ottocento per volere del sig. D. Stefano Sapello, coadiutore della parrocchia di Serralunga di Crea, con la realizzazione inoltre di un affresco realizzato dal Cima.

A metà dell’Ottocento nonostante i restauri la cappella si presentava in pessime condizioni tali da sconsigliarne le visita (1850).

3. I SACRI MONTI

L'intervento definitivo venne realizzato per volere del canonico Bussi nel 1886 con il restauro dell'edificio, il rifacimento del pronao e il cambio del tema, con i plastici di Antonio Brilla e i dipinti di Francesco Nicora. Il Brilla secondo cronaca dell'epoca non fu soddisfatto del suo lavoro in questo caso.

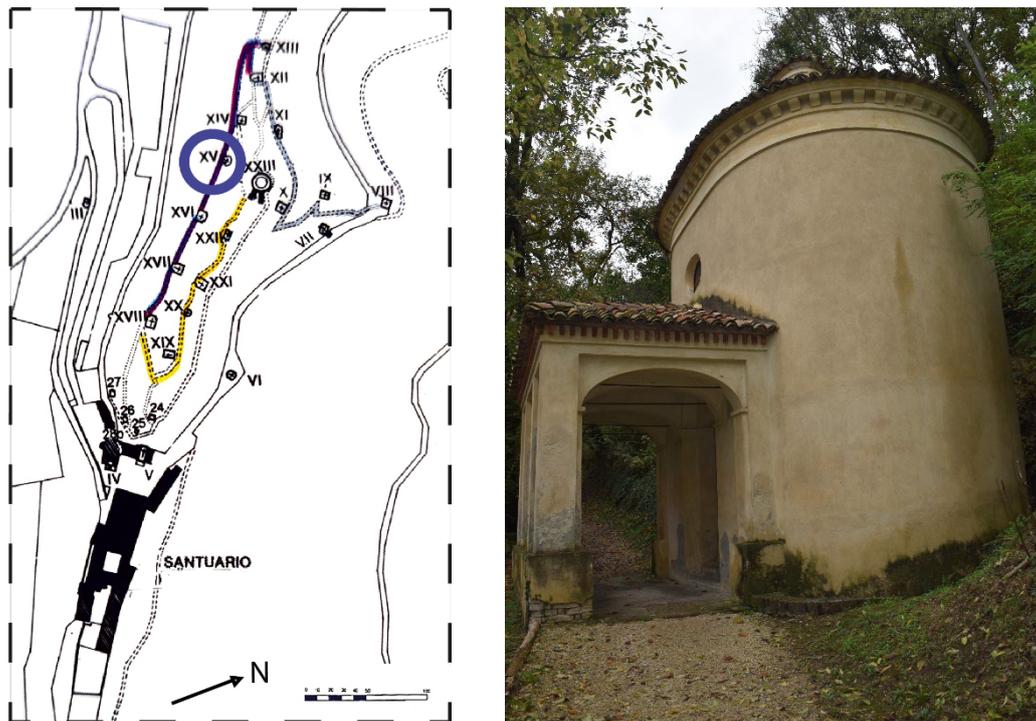


Figura 37: Keyplan Cappella 15 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 15.

| Patrocinata dalle parrocchie di: Frassineto Po, Borgo S. Martino, Ticineto | |
|--|--|
| DATA | EVENTO |
| 1605-1609 | Edificazione originale per volere di Alfonso de Corte di Pavia, salvatosi miracolosamente da un annegamento |
| 1814 | Affresco del Cima |
| 1886 | Ricostruzione con il rifacimento del pronao e il cambio del tema, dedicato al "mistero" dell'Incoronazione di spine, con l'esecuzione di nuove statue a opera del Brilla e di decorazione pittorica a opera del Nicora |
| 1970 | La cappella è stata restaurata esternamente dall'amministrazione del Sacro Monte |
| 1979 | Risanata a spese della Regione Piemonte |
| 1992 | Restauro agli apparati decorativi |

Tabella 18: Ordine cronologico eventi Cappella 15.

XVI "La salita di Gesù al Calvario"

Costruito a metà del percorso rettilineo che si colloca tra le cappelle XV e XVII, ha una geometria complessa formata da un'ellisse interrotta su cui si imposta il pronao, coperto da volte a vela piatte, realizzate in mattoni a vista e sostenute da colonne con capitelli cubiformi in pietra interrotte solo dalla sottostante balaustra in pietra che divide il percorso coperto dal pendio del Monte.

Ha grandi dimensioni e fu completamente ultimata nel 1889 nella struttura muraria. Fu voluta da una "pia signora di Torino", la contessa Eleonora Rogeri di Villanova, figlia del conte Giovanni Francesco Rogeri di Villanova e di Adele del conte Giambattista Sannazzaro.

Il progetto dell'edificio venne eseguito da Crescentino Caselli, allievo di Alessandro Antonelli, inventore, con il fratello minore Leandro Caselli, di un sistema costruttivo basato su solai e coperture sprovvisti di struttura lignea attraverso la realizzazione di sottili volte e voltine ribassate in mattoni pieni.

Nel 1895 fu eseguito il grandioso gruppo plastico da Leonardo Bistolfi. È rappresentata la salita al calvario di Gesù che porta il peso della croce sul monte accompagnato dalla Madre e dalle altre donne addolorate sotto lo sguardo indifferente degli astanti. L'autore ha esaltato la povertà della materia unendo «*motivi iconografici e atteggiamenti psicologici*» che «*rimandando a un fondo di indistinto spiritualismo*»^[06], esaltando il «*modello tardo-ottocentesco e borghese del ritratto mondano*»^[07].



Figura 38: Keyplan Cappella 16 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 16.

| Gestione del Sacro Monte | |
|--------------------------|---|
| DATA | EVENTO |
| 1887-1889 | Edificazione ex novo su progetto di Crescentino Caselli, allievo dell'Antonelli, a spese della Contessa Eleonora Roggeri di Villanova |
| 1892-1895 | Scultore Leonardo Bistolfi ne ha eseguito il gruppo plastico; sulla statua di Giuseppe d'Arimatea sono ricordati da una scritta anche G. Ciani, pittore torinese e autore del motivo liberty che fregia la parte terminale delle pareti, C. Merletti muratore di Castelletto Merli con data 1895. |
| 1969 | Risanamento Architettonico |
| 1980 | È stata restaurata esternamente dalla Regione Piemonte e internamente da Pietro Vignoli grazie al Lions Club di Casale Monferrato e Val Cerrina |
| 1981-1982 | Restauro della porta, pulitura e consolidamento delle statue e dei dipinti |
| 1998-2000 | Controllo del tetto e manutenzione degli infissi |

Tabella 19: Ordine cronologico eventi Cappella 16.

[06] BOSSAGLIA R., BERRESFORD S. 1984, *Bistolfi 1859-1933. Il percorso di uno scultore simbolista*.

[07] CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*.

3. I SACRI MONTI

XVII “Le nozze di Cana” (non parte dei Misteri)

Il tema della salita di Gesù al calvario venne realizzato nella cappella precedente, ma era stata paventata l'ipotesi di convertire questa cappella al nuovo tema.

La costruzione ha pianta quadrata con pronao sostenuto da pilastri in laterizio formanti 3 arcate aperte verso sud, è una delle più antiche del Sacro Monte, venne fatta costruire dalla Contessa casalese Bigliani Corba nel 1604 dopo la morte del marito e del figlio. Venne incaricato il Tabacchetti e il Moncalvo della realizzazione dell'apparato decorativo [26].

Passo poi alla famiglia Porta-Bava di Monteù da Po e in seguito alla famiglia Brondelli di Brondello, che la cedette infine all'amministrazione del Santuario nel 1888.

L'interno rappresenta il racconto evangelico del miracolo della trasformazione dell'acqua in vino operato da Gesù nel corso di una festa di nozze, raffigurata molto realisticamente come una sontuosa festa di signori monferrini del Seicento, in abiti d'epoca e stoffe preziose. La scena è dominata dagli sposi, da Gesù e da Maria, mentre gli invitati sono rappresentati nell'attimo antecedente al compimento del miracolo sotto lo sguardo incredulo di servitori e musicisti che allietano la festa.

Nonostante i restauri del Settecento il gruppo plastico è uno dei più completi dell'intero complesso, a opera dei fratelli Tabacchetti, che hanno rappresentato un tipico banchetto dell'epoca, presumibilmente simile a quello delle nozze di Giovanni Tabacchetti con la figlia del notaio Biagio Calligaris, Dorotea.

Sul fondo è rappresentato il convito imbandito dal padre per festeggiare il ritorno di Tobia con la moglie Sara, delle cariatidi sostengono l'arco dell'altare, gli affreschi sul soffitto, opera del Moncalvo o del suo allievo Giorgio Albertini, raffigurano altri conviti pubblici.

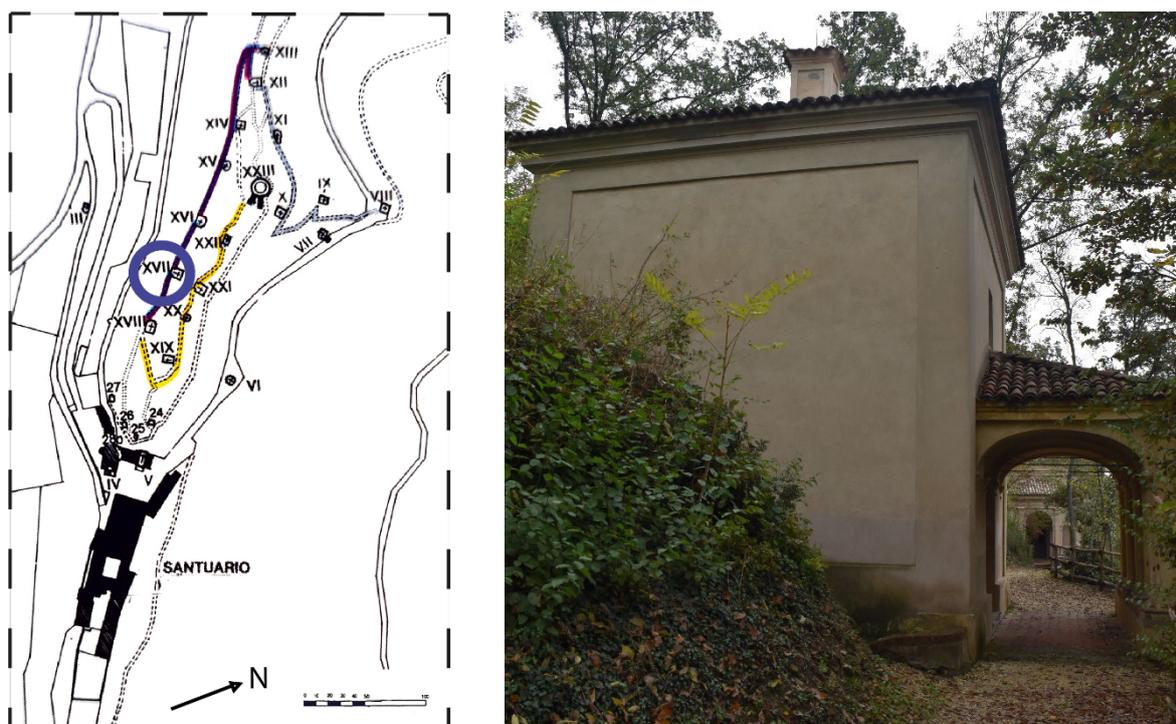


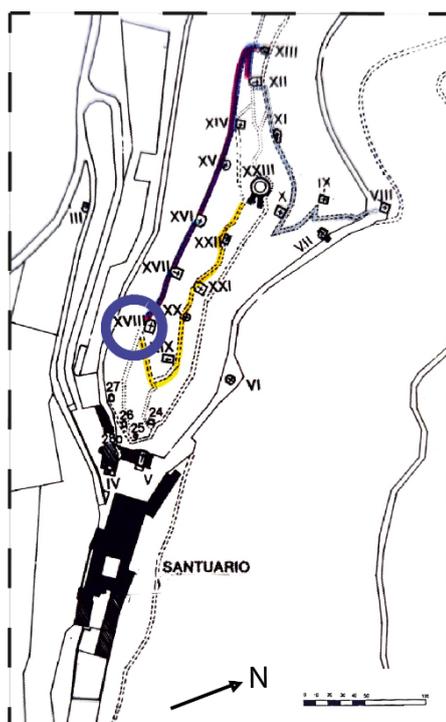
Figura 39: Keyplan Cappella 17 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 17.

[26] RIVIERA G. 2017, *La strada del Fiammingo – Dal Brabante al Monferrato: i Tabacchetti di Fiandra*.

| Patrocinata dalla Vicaria di Moncalvo: Moncalvo, Castelletto Merli, Castellino, Cioccaro, Guazzolo, Patro, Penango; e la Vicaria di Crea: Crea, Forneglio, Castellazzo, Ponzano, Salabue, Serralunga di Crea | |
|--|--|
| DATA | EVENTO |
| 1604-1612 | Edificazione originaria con sculture dei Tabacchetti, venne fatta costruire dalla contessa casalese Bigliani Corba |
| 1798 | Restauri al gruppo plastico (poco attenti) a opera di Simone Ganora e Lorenzo Ganora |
| 1801 | Devastazione napoleonica |
| Metà '800 | Intervento di recupero con rifacimento di alcune statue |
| 1888 | Ceduta all'amministrazione del Sacro Monte |
| 1902 | Si presenta in pessime condizioni |
| 1979-1980 | Restauro esterno a spese della Regione Piemonte |

Tabella 20: Ordine cronologico eventi Cappella 17.

XVIII "La Crocefissione"

Figura 40: Keyplan Cappella 18 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 18.

Prima della conversione nel tema attuale per opera di Bussi nel 1887 il precedente tema era il "Transito di S. Giuseppe", ma si presentava fortemente degradata dagli agenti atmosferici già verso la metà dell'Ottocento.

L'edificio ha pianta quadrata, con un pronao. Fu restaurato nel 1722 e nel 1862 prima della trasformazione radicale. Non è una delle cappelle più antiche e non si hanno notizie certe sulla committenza originaria. Il gruppo plastico attuale è stato eseguito dal Brilla, mentre i dipinti alle pareti da Agostino Caironi.

3. I SACRI MONTI

| Patrocinata dalla Vicaria di Murisengo: Murisengo, Cicengo, Corteranzo, Odalengo G., S. Antonio della Serra, S. Candido, Sorina, Vallestura; e la vicaria di Villadeati: Villadeati, Cardona, Lussello, Odalengo P., Zanco | |
|--|--|
| DATA | EVENTO |
| fine XVI secolo | Edificazione originaria |
| fine XVII secolo | Abbandono |
| 1722 | Restauri |
| 1801 | Distruzione napoleonica |
| Metà Ottocento | Fortemente degradata dagli agenti atmosferici |
| 1862 | Restauri voluti dalla Commissione Promotrice |
| 1887 | Il canonico Bussi fece rappresentare la Crocifissione di Gesù, con statue di Antonio Brilla e dipinti di Agostino Caironi (Paolo Maggi?) |
| 1902 | Sostituzione della scultura del buon ladrone |
| 1979 | Lavori di risanamento esterno |
| 2018 | Pronto intervento e messa in sicurezza della cappella |

Tabella 21: Ordine cronologico eventi Cappella 18.

Misteri gloriosi

XIX “La Risurrezione di Gesù”

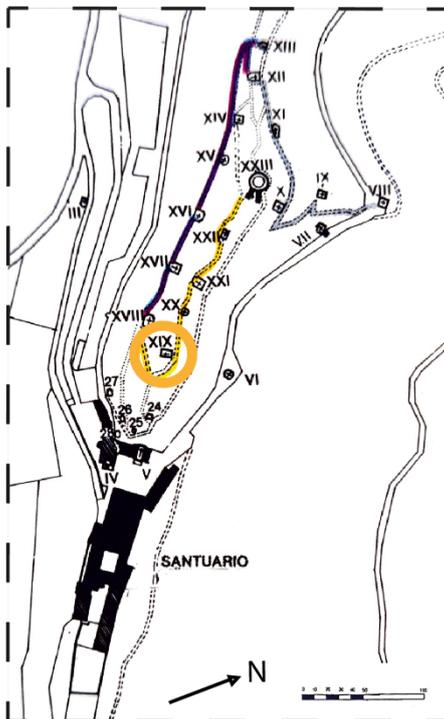


Figura 41: Keyplan Cappella 19 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 19.

Eretta alla fine del Cinquecento dal conte Guido di Biandrate Sangiorgio, la cappella ha pianta rettangolare con abside semicircolare e pronao, ora scomparso, e raffigurava inizialmente la “Deposizione di Gesù dalla croce”.

Frontalmente alle 3 croci (antico nome con cui era conosciuta), trovavano spazio le statue del Tabacchetti raffiguranti la Vergine che sosteneva il corpo di Gesù, sotto lo sguardo addolorato delle pie donne, di Giovanni, di Giuseppe d’Arimatea e di Nicodemo.

Il restauro del 1874 provvederà a cambiarne il tema nella “Risurrezione”, primo dei misteri gloriosi.

Nel 1889 i lavori di trasformazione non risultavano ancora conclusi, le statue si presentavano ancora in bianco e le pareti erano state ripulite dagli affreschi precedenti ma attendevano un nuovo intervento.

Il gruppo plastico fu eseguito da Antonio Brilla, mentre Luigi Morgari realizzò le decorazioni raffiguranti da un lato Gesù risorto tra lo spavento dei soldati posti di guardia e dall'altro Gesù con Pietro sul lago di Tiberiade (Lago di Galilea).

Fino all'Ottocento era unito a questa cappella un piccolo edificio, ora scomparso, fatto fabbricare da padre Giovanni Battista da Lucca per ricordare la sepoltura di Cristo.

| Patrocinata dalla Vicaria di Pontestura: Pontestura, Coniolo, Fabiano, Quarti, Rocchetta, Solonghello; e la Vicaria di Camino: Camino, Brusaschetto, Castel S. Pietro, Isolengo, Rocca delle Donne | |
|--|---|
| DATA | EVENTO |
| 1598 | Cappella già conclusa per volere del conte Guido di Biandrate Sangiorgio |
| 1680 | Restauro |
| 1801 | Distruzione napoleonica |
| 1850 | Si presentava completamente spoglio con solo alcuni riferimenti sulle pareti al tema originale, frutto degli atti vandalici a cui fu soggetto, il piccolo edificio annesso scompare a causa della vandalizzazione |
| 1870-1874 | Restauro della struttura muraria e sugli affreschi, per renderlo adatto a ospitare il nuovo tema scelto, la "Risurrezione", primo dei misteri gloriosi |
| 1888-1892 | Lavori di trasformazione della cappella con l'abbattimento dell'atrio e il rifacimento del gruppo plastico a opera dello scultore savonese Antonio Brilla e degli affreschi da parte del pittore torinese Luigi Morgari |
| 1978 | Restauri esterni per contro della Regione Piemonte |

Tabella 22: Ordine cronologico eventi Cappella 19.

XX "L'Ascensione di Gesù in cielo"

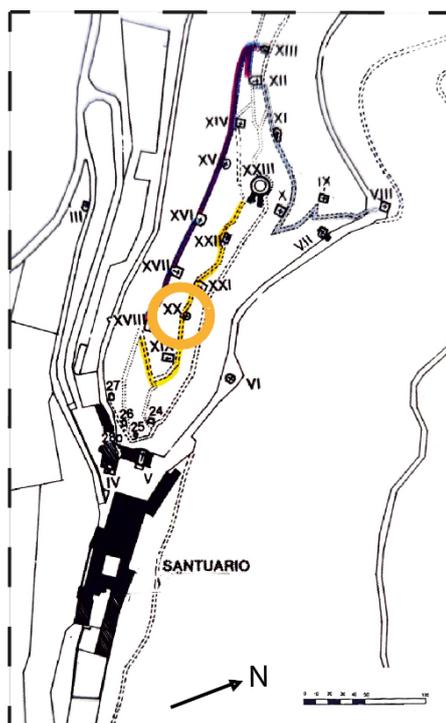


Figura 42: Keyplan Cappella 20 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 20.

3. I SACRI MONTI

Piccola edicola di pianta circolare in cui prende luogo la scena dell'ascensione di Gesù in cielo 40 giorni dopo la sua risurrezione. Non se ne conosce la data di costruzione.

Non era compresa nell'elenco di Andreozzi ^[02], ma è ricordata come la cappella del "Gaudio di Maria nell'Ascensione di Cristo" da padre Cultella ^[01], questi la attribuisce alla comunità di Livorno nel vercellese (Livorno Ferraris), borgo che gli diede i natali, essa è invece considerata da altri di patronato della famiglia casalese Magrelli ^[07]. Alcune fonti la vogliono costruita utilizzando i resti di un antico torrione che sorgeva nei pressi dell'antica porta di Cardalona.

| Patrocinata dalla Vicaria di Gabiano: Gabiano, Cantavenna, Moncestino, S. Aurelio, Vallegioliti, Villamiroglio; e la Vicaria di Cerrina: Cerrina, Montaldo, Montalero, Piancerreto, Rosingo e Varengo | |
|---|--|
| DATA | EVENTO |
| ??? | Fondazione attribuibile alla comunità di Livorno nel vercellese (Livorno Ferraris), borgo che gli diede i natali, essa è invece considerata da altri di patronato della famiglia casalese Magrelli |
| XIX secolo | Si presenta in pessime condizioni nei primi anni della Restaurazione |
| 1888-1889 | Completo rinnovamento con la realizzazione dell'apparato scultoreo a opera di Antonio e Stefano Brilla e delle pitture a opera di Paolo Maggi per volere del Canonico Bussi |
| 1970 | Restauro esterno con finanziamenti privati |
| 1979 | Risanamento |
| Al 1989 | Attende restauro interno |

Tabella 23: Ordine cronologico eventi Cappella 20.

XXI "La discesa dello Spirito Santo sopra gli Apostoli"



Figura 43: Keyplan Cappella 21 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 21.

[02] ANDREOZZI P. 1683, *Compendioso ristretto dell'origine della Beata Vergine di Crea in Monferrato scolpita da San Luca e portata dalla Palestina da Sant'Eusebio vescovo di Vercelli e martire custodita da Canonici Regolari Lateranensi, degl'ampi privilegi posseduti e che possiede, della fabrica della Chiesa e fondatione delle Capello sparse per il Monte.*

[01] DA LIVORNO M. A. (CULTELLA) 1615, *Breve historia et descrizione della miracolosa Madonna del Sacro Monte di Crea in Monferrato con l'aggiunta di alcune capello et altre opere fatte di nuovo.*

[07] CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte.*

Munita di pronao verso sud, è poco distante dalla sommità del monte.

Sulle pareti si alternano finti marmi a paraste, mentre al centro figurano le statue dei discepoli ancora in pessime condizioni, il soffitto è decorato dal Moncalvo con dei putti. Le statue furono rifatte solo nel 1889 dal Brilla.

Gli interni, e in particolare le statue, i dipinti parietali degli apostoli e le decorazioni sul soffitto, bisognosi di un restauro, sono a oggi sottoposti a interventi volti a riportarli alle condizioni originarie

| Patrocinata dal Clero Diocesano | |
|---------------------------------|---|
| DATA | EVENTO |
| prima del 1612 | Già edificata, compresa nel progetto originario del priore Massino, fu fatta costruire dal nobile pavese Giovanni Battista della Pietra e dalla consorte Maria Doria, la cappella rappresenta la Pentecoste |
| ??? | Donata in patronato al conte casalese Cozio di Salabue |
| inizio XIX | Devastazione epoca napoleonica, solo 2 statue originarie sopravvissute |
| 1850 | Patronato passò al plastificatore Camillo Morra di Grazzano, il quale eseguì un intervento di restauro, come riportato dalla memoria epistolare del 20 agosto 1850. |
| 1888-1889 | Antonio Brilla ha rifatto le statue e il Maggi ha restaurato e integrato gli affreschi |
| 1979 | Risanamento esterni con fondi Regione Piemonte |
| Oggi | In corso restauro |

Tabella 24: Ordine cronologico eventi Cappella 21.

XXII “L’Assunzione di Maria in Cielo”

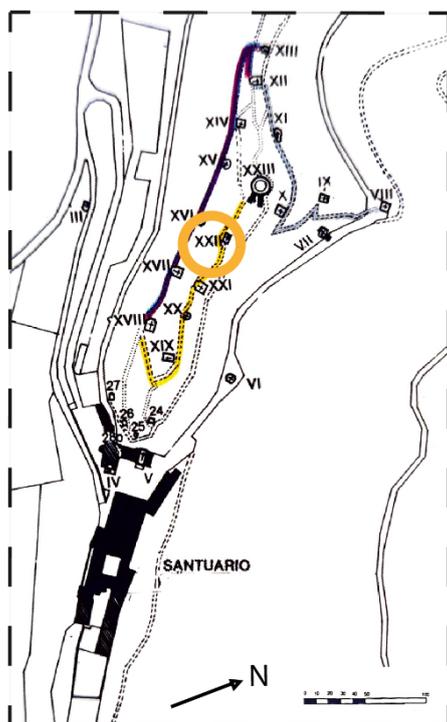


Figura 44: Keyplan Cappella 22 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 22.

Chiamata anche del “Transito”, ritorna l’ispirazione apocrifa, divenuta una vera e propria festa cristiana (15 agosto), ancora oggi la festa dell’assunzione rimane una delle più importanti festività Mariane, divenuta tale con l’istituzione del dogma dell’assunta da parte di Papa Pio XII nel 1950.

3. I SACRI MONTI

Fatta costruire nel 1887 dalla commissione promotrice dei restauri guidata dal canonico Bussi, è un edificio di pianta quadrata molto semplice decorato dalle statue di Brilla nel 1889 (il suo ultimo lavoro), rimaste in bianco. Viene incluso il tema della *Dormitio* in quello della *Ascensio*.

La scena dell'Assunzione consta di un apparato scultoreo in parte sospeso mediante sostegni in ferro e legno, costituito dalla statua della Vergine avvolta in un'ampia veste dalle pieghe accentuate, il viso e le braccia rivolte verso l'alto, il capo ornato da una raggiera. Due angeli ai lati la sollevano verso il cielo, mentre fra le nuvole ai suoi piedi emergono cherubini. Le fanno corona angioletti festanti che la accolgono su sfondo di nubi rosa affrescate sulle pareti e sulla volta.

| Patrocinata dalla Vicaria Lu: Lu (S. Maria Nuova, S. Lazzaro e S. Giacomo), Conzano, S. Maurizio, Cuccaro | |
|---|---|
| DATA | EVENTO |
| ??? | Fondazione originaria |
| 1887 | Completa ricostruzione completata negli anni successivi con la decorazione scultorea (Antonio Brilla) e pittorica (Michele Brilla) per volere dalla commissione promotrice dei restauri guidata dal canonico Bussi. Le statue sono rimaste bianche. |
| 1980 | Restauro esterno a spese della Regione Piemonte |

Tabella 25: Ordine cronologico eventi Cappella 22.

XXIII "L'Incoronazione di Maria Vergine" o "Il Paradiso"

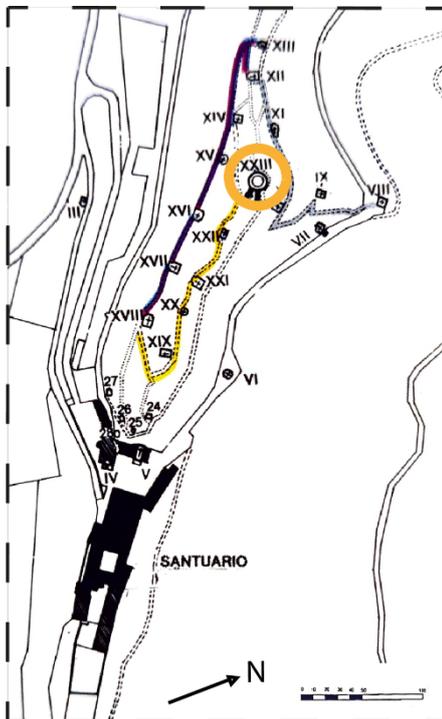


Figura 45: Keyplan Cappella 23 (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e Cappella 23.

L'ultima nonché più grande cappella del Sacro Monte è quella del Paradiso, rappresenta il quinto mistero glorioso e conclude la "Via Sacra". È ricordata nel Breve di Clemente VIII nel 1598, fu una delle prime cappelle a essere costruite, nell'Ottocento però si presentava già in rovina.

Il gruppo plastico è mancante dell'ultimo giro di statue e venne completato nell'Ottocento. Fu l'ultima cappella a essere completata dai Lateranensi.

La cappella si presenta come un tempietto rotondo inanellato da un profondo loggiato sostenuto tutto attorno da pilastri in laterizio tranne che di fronte e alle due alte scalinate d'ingresso dove sono state

utilizzate esili colonne binate. Non presenta particolare architettonici di rilievo al di fuori dell'ingresso per esaltare le forme pure che la caratterizzano.

Il grande gruppo plastico sul soffitto è formato da 175 angeli interamente sospesi e 300 beati ed è illuminato da un oculo frontale. Il soggetto principale è l'incoronazione della Vergine da parte delle Tre Persone Divine alla presenza di una moltitudine di angeli, gerarchie celesti, patriarchi, profeti, sacerdoti, santi, apostoli in adorazione.

Fu voluta dai Canonici Lateranensi e da loro patrocinata per celebrare la glorificazione di Maria, venne edificata anche grazie a consistenti offerte di religiosi, come padre Onorato Corrado, padre Eugenio da San Germano di Casale e padre Secondo da Novara.

Passò poi in patronato dei conti Brondelli da Brondello, eredi della famiglia Porta-Bava, che infine la donarono al monastero nel 1880.

È un prodotto artistico unico nel suo genere, attribuibile nelle sue componenti originarie a Guglielmo Caccia più che i Tabacchetti, rimane invece ignoto il nome del progettista della Cappella, ma i più credono si sia trattato di un progetto di Giovanni Tabacchetti.

L'edificio originariamente presente nella medesima posizione è ricordato nelle memorie dell'epoca della costruzione come la torre del castello di Cardalona, anche nota come "Torre del Diavolo", per via della credenza locale circa la sua presenza in un luogo pagano, non consacrato. Vincenzo Gonzaga, verso il 1590, salito infine fino alla torre tracciò una croce su una pietra della torre, rendendolo un luogo per Dio.

Nella porzione inferiore interna della cappella era originariamente presente uno spazio vuoto destinato a ospitare il gruppo statuario denominato "dell'inferno", in cui si sarebbero rappresentati con l'orrore delle pene corrispondenti tutti i peccati mortali, ma a oggi non ne rimangono che frammenti statuari.

| Patrocinata dalla Parrocchia di Casale: Cattedrale, S. Stefano, S. Domenico, S. Ilario, Salesiani, Ronzone, S. Maria Assunta, S. Germano, S. Maria del Tempio e Terranova | |
|---|--|
| DATA | EVENTO |
| prima del 1598 | Fondazione originaria, fu una delle prime cappelle |
| 1608 | Decorazione interna non ancora ultimata a opera di numerosi artisti operativi nell'area fra cui il Tabacchetti |
| 1612 | Termini lavori originali a opera di Jean e Nicolas Tabacchetti |
| XIX secolo | In rovina |
| 1880 | Donata al monastero |
| 1889 | Restauro a opera della commissione restauri e inaugurata nello stesso anno |
| 22/10/1889 | Inaugurata solennemente dal vescovo di Fossano mons. Emiliano Manacorda |
| 1972 | Restauro esterni a opera di benefattore |
| 1980 | Restauro interno di decorazioni pittoriche per conto della Regione Piemonte |
| Anni '90 | Lavori di recupero dello stucco sul soffitto per evitarne il crollo |

Tabella 26: Ordine cronologico eventi Cappella 23.

3. I SACRI MONTI

3.2.4 I ROMITORI

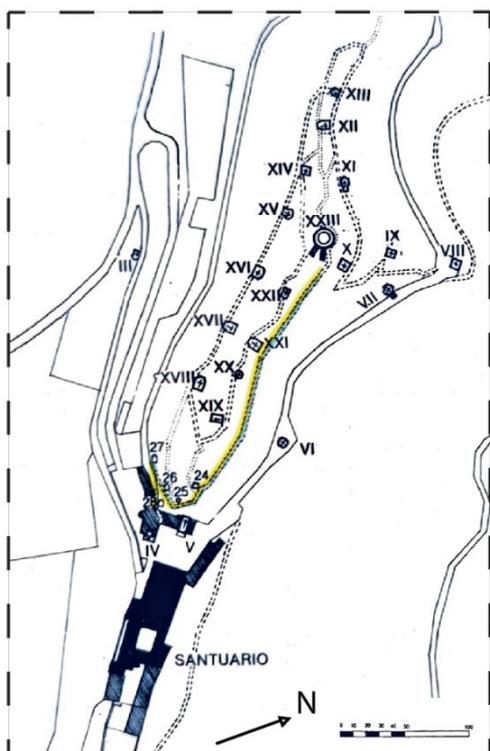


Figura 46: Keyplan Via del ritorno (fonte: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*) e il Romitorio di San Rocco.

Il numero dei romitori non venne mai progettato ma vennero posizionati in funzione della lunghezza della via del ritorno. Il numero dei romitori nel corso della storia inoltre non pare chiaro, con fonti che ne individuano molti di più di quanti non fosse plausibile aspettarsi.

Verso la fine dell'Ottocento si ridussero a due, quelli "dell'Addolorata" e di "S. Luca", mentre gli ulteriori erano in stato di grave abbandono.

Attualmente i romitori sono cinque, ma alcuni sono stati rifatti completamente in tempi più recenti.

Il primo che si incontra è quello di S. Alessio, fabbricato a spese di padre Pietro da Gattinara, da tempo privo di decorazioni internamente, accoglie le salme di alcuni Francescani.

Segue poi l'Addolorata, fatto edificare da padre Girolamo da Mantova, fu restaurato dalla famiglia casalese Ganora nel Settecento e nel 1934 dai fratelli Giovanni e Stefano Rollino di Ozzano. All'interno i gruppi plastici sono di Nicola Tabacchetti, fratello di Giovanni, mentre gli affreschi sul soffitto di Guglielmo Caccia.

L'edicola successiva è quella di S. Rocco, fu costruita per conto del monastero nel 1598, completamente in rovina nell'Ottocento, fu ricostruito nel 1927 dal pittore e scultore Mario Gachet di Torino, con le plastiche del Capra negli anni 1934-35, le originali plastiche del Tabacchetti e gli affreschi di Moncalvo sono scomparsi.

Il penultimo romitorio venne fondato da padre Valerio di Alba e dedicato all'arcivescovo di Milano S. Carlo Borromeo, con affreschi riguardanti la sua vita. Dopo gli interventi di restauro del 1757 per conto del signor Pietro Bertarelli di Menaggio si conservò in buono stato, venne infine restaurato nel 1919 dai Minori Francescani e la dedicarono al loro fondatore S. Francesco. I lavori vennero eseguiti da Elzeario Riso. All'interno è presente una scultura di Luigi Bagna raffigurante S. Francesco.

L'ultimo romitorio è dedicato a S. Luca, creduto l'autore delle statue della Madonna portate da S. Eusebio. Patrocinata da artisti attivi a Crea, venne restaurata nel 1846 dai coniugi Barberis-Raimondo di Ponzano, i cui busti sono raffigurati all'interno. La statua venne ricolorata dal Varallo nel 1849. Vennero eseguiti restauri anche in tempi precedenti, nel 1670 per conto dell'abate Policarpo Paltro e della famiglia Barberis-Raimondo nel 1795 e 1814. Nel 1935 intervenne anche lo scultore di Capra di Casale.

3.2.5 LA GESTIONE DELL' AREA NATURALE PROTETTA

Oltre alle Cappelle anche l'Area naturale che le racchiude è parte del comprensorio del Sacro Monte ed è stata istituita come Area Protetta a mezzo della Legge Regionale n°5/1980.

Con un'estensione di 47 ettari è prescritto il rispetto di una serie di obblighi rispetto alla sua tutela, fra cui si annovera:

1. *“tutelare le caratteristiche naturali, ambientali, paesaggistiche, culturali e architettoniche del parco naturale e dell'area attrezzata;*
2. *mantenere e valorizzare il patrimonio forestale;*
3. *mantenere e valorizzare gli aspetti culturali e architettonici presenti nel parco naturale, concorrendo alla manutenzione e alla riqualificazione di entità architettoniche rilevanti, quali le cappelle, che costituiscono una componente inscindibile con l'assetto dell'area forestale in cui sono inserite;*
4. *promuovere iniziative atte a consentire la fruizione del territorio a fini scientifici, didattici, culturali, ricreativi.”*

L'Area del Sacro Monte inoltre essendo inserita nella lista UNESCO beneficia di ulteriori tutele come derivato dal D.L. n°42/2004 e s.m. e i. in merito ai beni culturali, in cui all'articolo 135 comma 1 si evidenzia chiaramente:

“1. Lo Stato e le Regioni assicurano che il paesaggio sia adeguatamente conosciuto, tutelato e valorizzato. A tale fine le regioni, anche in collaborazione con lo Stato [...] sottopongono a specifica normativa d'uso il territorio, approvando piani paesaggistici.”

Alla particolare tutela del paesaggio nei Sacri Monti concorre il comma 4 lettera b dello stesso articolo, che recita:

«all'individuazione delle linee di sviluppo urbanistico ed edilizio compatibili con i diversi livelli di valore riconosciuti e con il principio del minor consumo del territorio, e comunque tali da non diminuire il pregio artistico di ciascun ambito; con particolare attenzione alla salvaguardia dei siti inseriti nella lista del patrimonio UNESCO».

A protezione dei beni UNESCO italiani interviene inoltre la Legge 20/02/2006 n. 77 - *Misure speciali di tutela e fruizione dei siti italiani di interesse culturale, paesaggistico e ambientale, inseriti nella lista del patrimonio mondiale, posti sotto la tutela dell'UNESCO* – che recita:

“I siti italiani inseriti nella lista del patrimonio mondiale [...] sono, per la loro unicità, punte di eccellenza del patrimonio culturale, paesaggistico e naturale italiano e della sua rappresentazione a livello internazionale. I progetti di tutela e restauro dei beni culturali, paesaggistici e naturali [...] acquisiscono priorità di intervento qualora siano oggetto di finanziamenti secondo le leggi vigenti. La conservazione e valorizzazione dei siti è assicurata da piani di gestione che definiscono la priorità e il reperimento di risorse». Per «assicurare una gestione compatibile e un corretto rapporto con turismo e servizi culturali devono essere previsti interventi volti allo studio, ai servizi di assistenza culturale, di ospitalità e di pulizia, aree di sosta e mobilità, diffusione e valorizzazione nelle istituzioni scolastiche, in relazione ai disposti del codice dei beni culturali e ambientali.”

3. I SACRI MONTI

La tutela di questi beni si basa sulla collaborazione di diversi enti:

- Soprintendenze Piemontesi quali organismi periferici del Ministero dei beni culturali
- Regione Piemonte quale organismo di programmazione, ordinamento e finanziamento
- Organismo di Gestione in qualità di ente strumentale della Regione
- Amministrazioni Comunali per l'attività di programmazione urbanistica, delle infrastrutture e della partecipazione delle comunità locali
- Autorità religiose per assicurare continuità e rispetto delle tradizioni religiose e degli aspetti di culto
- L'Ente di gestione dell'area protetta, che è di proprietà della Amministrazione Diocesana di Casale Monferrato che si relaziona con l'Ente di gestione attraverso specifica convenzione per la definizione dei rapporti inerenti i rispettivi ambiti di intervento

La valutazione degli interventi da eseguire deve tenere conto del contributo all'economia locale, relativo all'attività dell'Ente di gestione, e i risultati attesi, permettendo di valutare per le comunità locale le ricadute anche economiche sui propri territori.

I vincoli posti dalle finanziarie nazionali e regionali negli ultimi anni hanno fortemente limitato gli interventi conservativi necessari alla manutenzione e al restauro, all'impiantistica, in sostanza alla fruibilità piena dell'area protetta oggi patrimonio dell'umanità.

Nel dettaglio i compiti assegnati all'*Ente di gestione del Parco Naturale e Area Attrezzata del Sacro Monte di Crea* sono:

1. regolamentazione della accessibilità e della fruizione pubblica del Parco;
2. gestione del patrimonio forestale compreso nella perimetrazione indicata dalla L. R. n. 5 del 1980;
3. opera di recupero e manutenzione delle Cappelle;
4. promozione di iniziative atte a utilizzare il parco per approfondimenti scientifici, didattici, culturali, ricreativi.

Ha inoltre promosso strumenti integrativi come:

- *Biomonf*: banca dati naturalistica che attraverso l'atlante informatico della biodiversità delle colline del basso Monferrato studia e pubblica le notizie su ogni specie censita.
- *Camminare il Monferrato*: promozione del trekking in 40 itinerari fra arte, paesaggio, natura in collaborazione con il CAI di Casale e i comuni del territorio.
- *Il paniere*: mercatino mensile di prodotti biologici; il censimento dei prodotti è stato inserito nel progetto *Camminare il Monferrato*.
- *Il Parco e la scuola*: progetto per diffondere fra le scuole l'integrazione fra arte, storia e natura.
- *L'Ecomuseo Pietra da Cantoni*: strumento diretto alla tutela e alla valorizzazione delle specificità del proprio territorio che intende documentare, conservare e valorizzare il paesaggio, le caratteristiche abitative e lavorative del territorio del basso Monferrato casalese.
- *La biblioteca*: composta da oltre 4000 volumi costituenti una delle più importanti raccolte specializzate sugli aspetti relativi ai Sacri Monti, ai Calvari e ai complessi devozionali.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 3

- [01] DA LIVORNO M. A. (CULTELLA) 1615, *Breve historia et descrizione della miracolosa Madonna del Sacro Monte di Crea in Monferrato con l'aggiunta di alcune capello et altre opere fatte di nuovo*, Vercelli: Fratelli di Marta.
- [02] ANDREOZZI P. 1683, *Compendioso ristretto dell'origine della Beata Vergine di Crea in Monferrato scolpita da San Luca e portata dalla Palestina da Sant'Eusebio vescovo di Vercelli e martire custodita da Canonici Regolari Lateranensi, degl'ampi privilegi posseduti e che possiede, della fabrica della Chiesa e fondatione delle Capello sparse per il Monte*, Asti: Secondo Vittorio Giangrandi.
- [03] LOCARNI G. 1900, *Brevi cenni storici sull'insigne Santuario di Nostra Signora di Crea*, Casale Monferrato: Tipografia Gio. Pane.
- [04] MAURIZIO C. 1901, *Lettere sul Santuario di N. S. di Crea in Monferrato delle Damigelle Matilde e Pierina di... alla Damigella Adele di...*, Torino (copia fotostatica).
- [05] DI RICARDONE A., DI RICARDONE M.I., DI REVIGLIASCO G.C. 1983, *Armerista del Santuario di S. Maria di Crea nel Monferrato*, Roma: Santuario di S. Maria di Crea - Collegio Araldico.
- [06] BOSSAGLIA R., BERRESFORD S. 1984, *Bistolfi 1859-1933. Il percorso di uno scultore simbolista*, Casale Monferrato: Piemme, ISBN: 978-8838495007.
- [07] CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*, Casale Monferrato: Piemme, ISBN: 88-384-1304-5.
- [08] CENTINI M., MONCASSOLI TIBONE M.L. 1992, *Tra i prodigi dei Sacri Monti: l'arte e la società, lo spettacolo e la devozione*, Torino: Omega, ISBN: 978-8872412183.
- [09] GENTILE G. [et al.] 1995, *Conservazione e fruizione dei Sacri Monti in Europa: atti del Convegno, Domodossola, Sacro Monte Calvario, 15-16 ottobre 1992*, Torino: Regione Piemonte.
- [10] ZANKER J., WINDE J. 2003, *Sacri Monti: l'architettura dei Sacri Monti in Piemonte e Lombardia = Die Architektur der Sacri Monti im Piemont und in der Lombardei*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 3-89355-928-0.
- [11] ZANZI L., ZANZI P. 2003, *Atlante dei Sacri Monti Prealpini*, Losanna: Skira, ISBN: 978-8884913289.
- [12] DA ZEDELGEM A.T., BARBERO A. (a cura di), MAGRO P. (a cura di), PELLIZZARI P. (tradotto da) 2004 (ed. or. 1949), *Saggio storico sulla devozione alla Via Crucis*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 88-89081-01-5.
- [13] BARBERO A., PIANO S. (a cura di) 2006, *RELIGIONI E SACRI MONTI - Atti del Convegno Internazionale - Torino, Moncalvo, Casale Monferrato - 12-16 ottobre 2004*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-8889081044.
- [14] BENEDETTO C. (a cura di) 2007, *Natività nei Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-8889081075.
- [15] 2007, «Sacri Monti - Rivista di arte, conservazione, paesaggio e spiritualità dei Sacri Monti piemontesi e lombardi», Varallo Sesia: Riserva Naturale Speciale del Sacro Monte di Varallo, vol. 1.
- [16] BARBERO A., ROMA G. 2008, *Di ritorno dal pellegrinaggio a Gerusalemme - Riproposizione degli avvenimenti e dei luoghi di Terra Santa nell'immaginario religioso fra XV e XVI Secolo - Atti*

delle giornate di studio 12-13 maggio 2005 - Università della Calabria, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-10-5.

- [17] GALLONE A. 2008, *Il Sacro Monte di Crea*, «Arte Lombarda Nuova serie», 154, 3, pp. 91-94.
- [18] SIGNORELLI B., USCELLO P. 2008, *LA COMPAGNIA DI GESU' A CASALE E NEL MONFERRATO DAI GONZAGA AI SAVOIA. Nuovi studi e ricerche*, Torino: Società Piemontese di Archeologia e Belle Arti, ISBN: 978-88-903426-0-8.
- [19] BATTISTI E. [et. Al.] 2009, *1° Convegno Internazionale sui Sacri Monti - Atti del convegno di Varallo (14-20 aprile 1980)*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-12-9.
- [20] MINISSALE S. (a cura di) 2009, *La gestione del sito UNESCO - Paesaggio culturale dei Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia - Atti del Seminario tecnico - Domodossola 14 novembre 2008 - Sala Bozzetti Sacro Monte Calvario di Domodossola*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-13-6.
- [21] 2010, «Sacri Monti - Rivista di arte, conservazione, paesaggio e spiritualità dei Sacri Monti piemontesi e lombardi», Varallo Sesia: Riserva Naturale Speciale del Sacro Monte di Varallo, vol. 2.
- [22] BARBERO A., PIANO S. (a cura di) 2010, *La Bisaccia del Pellegrino - Fra evocazione e memoria - Atti del Convegno Internazionale - Torino, Moncalvo, Casale Monferrato 2-6 ottobre 2007*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-17-4.
- [23] BENEDETTO C. 2010, *Donne e Madonne nei Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia*, Savigliano: L'artistica, ISBN: 978-88-89081-16-7.
- [24] KVAERNE P. 2010, *Le vie del Sacro - L'avventura spirituale di uno storico delle religioni fra Tibet e Sacri Monti*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-21-1.
- [25] LONGO P. G. (a cura di) 2010, *Memorie di Gerusalemme e Sacri Monti in epoca barocca - Vincenzo Fani, devoti "misteri" e "magnanime imprese" nella sua Relatione del viaggio in Terra Santa dedicata a Carlo Emanuele I di Savoia (1615-1616)*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-19-8.
- [26] RIVIERA G. 2017, *La strada del Fiammingo – Dal Brabante al Monferrato: i Tabacchetti di Fiandra*, Torino: Centro Studi Piemontesi, ISBN: 978-88-8262-267-1.
- [27] GENTILE G. 2019, *Sacri Monti*, Torino: Einaudi, ISBN: 9788806240400.

SITOGRAFIA CAPITOLO 3

- [28] PISTEUO, *SACRO MONTE DI CREA*, <<https://www.pisteuo.it/it/node/288>>. (Ultima consultazione 17/06/2024)
- [29] SACRI MONTI, *Relazione sull'attività svolta dall'Ente nel 2018*, <<https://www.sacrimonti.org/documents/25223/122694/00-RELAZIONE+2018+ATTIVITA%27+ENTE+GESTIONE+SACRI+MONTI.pdf/8c5b5a91-dc48-4e31-9d1b-d42ab4d264f9>>. (Ultima consultazione 17/06/2024)

4. CASO STUDIO: LE CAPPELLE 10 E 16

Al fine di definire un *modus operandi* applicabile anche alle altre Cappelle parte del comprensorio è stato deciso di analizzare nel dettaglio due delle cinque Cappelle oggetto di maggior interesse da parte dell'Ente di Gestione dei Sacri Monti. Tra le Cappelle 10, 11, 13, 15 e 16 sono state analizzate le Cappelle 10 e 16, profondamente diverse tra loro sia per la posizione che occupano nel sito, sia per le geometrie e la composizione in pianta.

Si procederà ora ad analizzarle riassumendo gli interventi svolti su di esse, lo stato attuale di conservazione e le proposte di intervento in funzione di quanto potuto osservare tramite rilievo visivo.

4.1 CAPPELLA 10

4.1.1 Gli interventi svolti

| Natività di Gesù | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|-----|---------------------------|-------------------------------|------|-----|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|--|--|
| Anno [range 15 anni] | 1585 | 1600 | 1615 | ... | 1720 | ... | 1795 | ... | 1855 | 1870 | 1885 | 1900 | 1915 | 1930 | 1945 | 1960 | 1975 | ... | oggi | | |
| Tabacchetti | | | | | Restauri di autori ignoti | Distruzione epoca napoleonica | | | | | | | | | | | | | | | |
| Moncalvo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Giuseppe Latini | | | | | | | | | | | Cambio tema | | | | | | | | | | |
| Antonio Brilla | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| De Dei | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paolo Maggio | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Francesco Nicora | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Guido Capra | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gian Luigi Nicora | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Regione Piemonte | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 27: Cronistoria con artisti coinvolti Cappella 10.

La Cappella 10 è stata fondata originariamente verso la fine del XVI secolo insieme alla maggior parte del Cappelle del Monte. Alla sua realizzazione hanno contribuito artisti di rilevante importanza nel panorama locale, come Il Tabacchetti e il Moncalvo.

Dopo i burrascosi eventi delle guerre del Monferrato sotto i Savoia fu oggetto di un intervento di restauro, ma fu nuovamente soggetta a devastazione, questa volta di notevole intensità, durante l'invasione napoleonica.

Verso la metà del XIX secolo il tema della Cappella venne trasformato in quello attuale grazie al contributo di Padre Giuseppe Latini oltre ad Antonio Brilla, il De Dei e in seguito anche Paolo Maggio e Francesco Nicora.

Nel XX secolo si devono invece gli interventi a Guido Capra, Gian Luigi Nicora oltre che al contributo della Regione Piemonte stessa.

Quanto è possibile definire è che la cappella ha un impianto strutturale certamente datato e più vecchio degli apparati decorativi, così come per i rivestimenti pittorici, anch'essi recentemente realizzati.

Non si hanno informazioni su interventi eseguiti dopo il 1980, aspetto che potrebbe supporre una mancanza di ulteriori interventi e una parziale riconferma dello stato di degrado in cui è stato osservato versare.

4.1.2 Stato di fatto

La Cappella 10 è una delle più di antica fondazione e il suo nucleo originario risale alla fine del XVI secolo. Le tecniche costruttive impiegate per la sua realizzazione, perciò, comprendono apparati murari realizzati in pietra con interposta malta di allettamento.

La sua collocazione inoltre non è particolarmente favorevole, essendo esposta sul versante nord del Monte, infatti, è generalmente più freddo e umido, con scarso soleggiamento, aspetto particolarmente rilevante affinché si sviluppino le condizioni ideali alla formazione di degrado.

La Cappella inoltre è situata in un incavo all'interno del Monte, aspetto che favorisce il ristagno idrico sottostante e ne compromette il deflusso delle acque meteoriche.

Il degrado, perciò, è particolarmente accentuato, con fenomeni variegati e a tratti complessi, originati da più concause, a seguito si elencano i fenomeni rilevati.



Figura 47: Esterni Cappella 10.

VEGETAZIONE

La crescita di vegetazione avviene principalmente nei giunti di malta delle murature, questo è in grado di generare sollecitazioni meccaniche indotte dalla crescita delle radici che, se non sottoposte quindi a manutenzioni, o rimozione dell'elemento, porterà alla creazione di vegetazione più alta oltre che alla rottura della muratura.

Attualmente la vegetazione ha ricoperto i muri laterali di contenimento del canale di raccolta delle acque meteoriche, che infatti mostra i primi segni di fratture, ma non sembra aver intaccato ancora le superfici murarie esterne della cappella, escludendo una primaria colonizzazione di muffe, catalogabili però come patine biologiche.



Figura 48: Scolo acque meteoriche sinistro e destro.

PATINA BIOLOGICA

La patina biologica si compone di organismi viventi come muschi e licheni, i quali trovano terreno fertile per la propria crescita su superfici rocciose o in taluni casi anche intonacate se le condizioni ambientali lo permettono.

La loro presenza genera una pressione fisica sufficiente alla degradazione del materiale, permettendo quindi l'ingresso di acqua all'interno dell'apparato murario.

Inoltre, le due principali tipologie di patine generano effetti particolarmente rilevanti:

- Licheni: producono acidi per disgregare la pietra e ottenerne i nutrienti specifici necessari alla crescita, mentre gli ossalati attaccano i minerali e vi si legano chimicamente; trattengono inoltre l'umidità provocando periodi di bagnatura più lunghi e la dissoluzione di minerali.
- Muschi: trattengono la materia degradata e intrappolano particelle atmosferiche, comportano inoltre il rigonfiamento e restringimento in connessione con l'assorbimento e il desorbimento dell'acqua e lo scoppio delle radici.



Figura 49: Patina biologica alla base del muro destro (sinistra) e sul camminamento esterno (destra).

4. CASO STUDIO: LE CAPPELLE 10 E 16

La presenza di patina biologica è diffusa sull'intera porzione inferiore delle murature della cappella, legato certamente alla specificità di collocamento e all'umidità. In particolare, si può trovare in maggiori quantità in corrispondenza dell'area perennemente bagnata, la più vicina al terreno.

RISALITA CAPILLARE

Il fenomeno della risalita capillare è legato alla risalita all'interno di un solido di un liquido che ne bagni la superficie per effetto della capillarità, le forze di adesione tra le molecole e il materiale infatti possono essere anche molto più intense rispetto a quelle di coesione del liquido.

L'altezza di risalita è variabile ed è legata a numerose concause, fra cui è di rilevante importanza anche l'evaporazione dell'acqua, che ferma la risalita capillare e il processo di adsorbimento, in accordanza alla formula di *Jurin*, che porta a ipotizzare altezze massime di risalita pari a circa il doppio dell'altezza a cui è possibile osservare umidità superficiale sulla superficie muraria.

Il risultato di questa azione sulla struttura porta l'ingresso di sali sciolti sotto forma di ioni all'interno delle murature attraverso una migrazione di Sali, che può avvenire sia interiormente che esteriormente all'apparato murario.

È il processo di evaporazione seguente a dare origine alla maggior parte dei danni, questo aumenta di velocità se aumenta la temperatura o il flusso d'aria sulla superficie, o al diminuire dell'umidità relativa dell'aria circostante.

Nella Cappella in questione il fenomeno è diffuso sull'intero apparato murario ed è osservabile sia internamente che esternamente attraverso due fenomeni differenti:

- Esternamente si può notare il tipico andamento di un muro soggetto a risalita capillare, con una porzione inferiore della muratura bagnata in cui prevale il flusso di risalita rispetto a quello di evaporazione, in cui è tipico trovare patine biologiche, succeduta al di sopra da una zona di disgregazione in cui le efflorescenze saline contribuiscono al distaccamento della malta superficiale, e infine al di sopra si colloca la zona umida in cui si generano i cristalli più superficiali e in cui è osservabile il fronte di risalita.
- Internamente invece è apprezzabile il fronte di risalita oltre che le aree con incrostazioni saline, originate dall'evaporazione dell'acqua.



Figura 50: Fronte di risalita interno con incrostazione salina.

EFFETTI EFFLORESCENZE SALINE

Come già anticipato possono essere legate all'evaporazione dell'acqua contenuta all'interno dei pori, i danni che questo può generare sono numerosi, ma nel caso in questione si possono in particolare osservare:

- Croste di sale sulla superficie inferiore interna delle murature
- Disintegrazione granulare della malta e del sottostrato all'interno
- Distacco della malta per accrescimento sali all'esterno
- Scagliatura dell'intonaco
- Profonde fessurazioni
- Microfessure
- Estese lacune esternamente



Figura 51: Distacco intonaco muro esterno (sinistra) e dettaglio (destra).

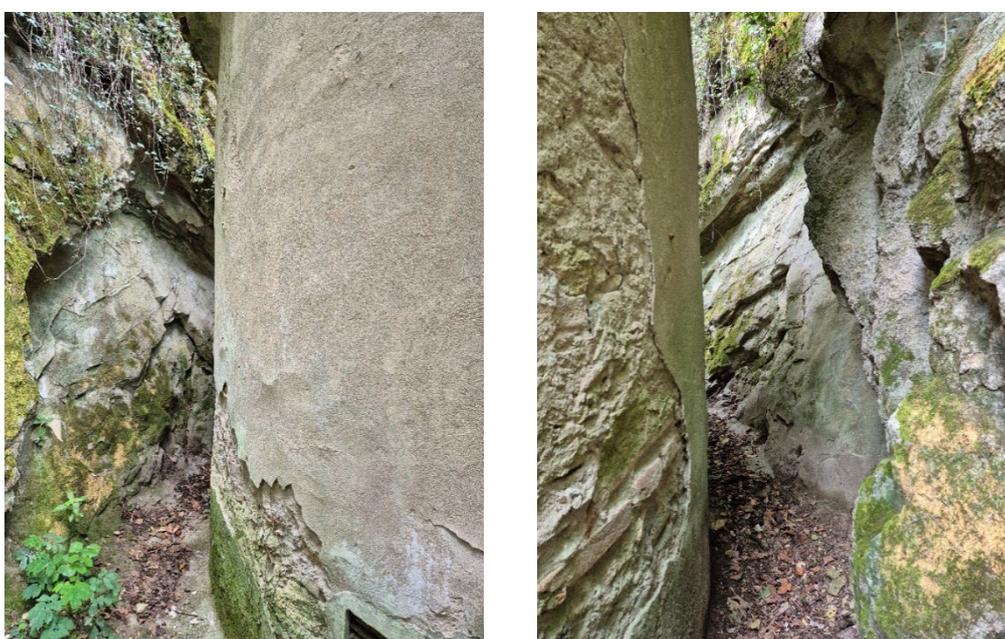


Figura 52: Degrado retro del manufatto a sinistra (sinistra) e destra (destra).



Figura 53: Degrado apertura ventilazione.

INFILTRAZIONI UMIDITA' DALLE COPERTURE

Si può apprezzare un elevato degrado dei ferri di armatura esposti nella copertura dell'abside, frutto di un intervento eseguito in sito in periodi più recenti, che ha previsto la cementazione o il fissaggio sulla calotta di cemento realizzata di una orditura di listelli di legno, attualmente dalla configurazione ignota, a sostegno del manto di coppi. I ferri esposti a causa della carbonatazione del sottile copriferro stanno subendo un processo di ossidazione.

L'intervento ha certamente avuto un effetto deleterio sulla durabilità delle murature sottostanti a causa dell'aumento dei carichi portati su di esse.

La copertura, inoltre, a causa di coppi non allineati potrebbe essersi compromessa per l'umidità derivata dalle precipitazioni atmosferiche.



Figura 54: Degrado copertura abside.

ALTERAZIONI CROMATICHE

Le alterazioni cromatiche sono la variazione della pigmentazione di specifiche aree del manufatto architettonico, che includono la porzione più esterna di rivestimento delle aree intonacate, oltre che di altri componenti essenziali come le porte e le finestre.

Nel caso in questione le alterazioni si sviluppano sugli apparati murari sia esternamente che internamente e possono anche riconducibili alle efflorescenze saline. In particolare, i pigmenti esterni e interni risultano alterati da fenomeni chimici non determinabili da una primaria osservazione, e per tale ragione si vede necessario per un qualunque intervento sulle murature effettuare delle opportune campagne di indagine in sito per determinare i materiali sviluppati e i fenomeni chimico-fisici effettivamente coinvolti.

All'interno il problema risulta simile, con alterazioni localizzate nelle aree in cui la muratura interferisce direttamente con il fronte di risalita capillare.

Le porte di accesso alla cappella hanno subito un evidente processo di degrado che ha portato alla alterazione del colore del pigmento esterno, probabilmente a base piombo, divenuto dalle tinte violacee per l'ossidazione.



Figura 55: Alterazione cromatica del pigmento della porta.



Figura 56: Degrado apparati statuari (sinistra) e scalinata di accesso interna (destra).

4.2 CAPPELLA 16

4.2.1 Interventi svolti

| Salita di Gesù al Calvario | | | | | | | | |
|---|-----|---------------------------------|-----|-------------------------------|------|------|-----|------|
| Anno [range 15 anni] | ... | 1885 | ... | 1960 | 1975 | 1990 | ... | oggi |
| Crescentino Caselli (Allievo Antonelli) | | Progetto di costruzione ex-novo | | Risanamento architettonico | | | | |
| Leonardo Bistolfi | | | | | | | | |
| Giovanni Ciani | | | | | | | | |
| Carlo Merletti | | | | | | | | |
| Pietro Vignoli | | | | | | | | |
| Regione Piemonte | | | | | | | | |

Tabella 28: Cronistoria con artisti coinvolti Cappella 16.

La Cappella 16 è stata costruita solo in epoca più recente su progetto di Crescentino Caselli e con il contributo di Leonardo Bistolfi, Giovanni Ciani e Carlo Merletti.

Dalla seconda metà del secolo scorso sono stati svolti una serie di interventi di risanamento con il contributo di Pietro Vignoli e della Regione Piemonte.

Gli ultimi interventi sono databili intorno al 2000 e hanno riguardato il controllo delle coperture e il risanamento degli infissi.

4.2.2 Stato di fatto



Figura 57: Esterni Cappella 16.

La Cappella è la più recente di costituzione tra le due prese in analisi, fattore che ne influenza certamente le condizioni attuali e il livello di degrado, ed è inoltre stata sottoposta a interventi recenti di recupero, specialmente per quanto concerne gli esterni.

La struttura portante è realizzata in laterizio da analisi in sito, aspetto che garantisce la durabilità, pur reputando necessarie valutazioni di carattere strutturali integrative per comprendere l'attuale condizione delle murature.

Inoltre, è da sottolineare come essendo esposta ampiamente a sud la struttura si presenti complessivamente in migliori condizioni, dettata certamente da un minor ristagno idrico e una maggior evaporazione, oltre che da pendenze di versante sul fronte tali da garantire un adeguato deflusso di acque meteoriche.

Nonostante queste premesse il degrado è comunque di rilevante entità in via assoluta e si caratterizza dalle seguenti componenti.

PATINA BIOLOGICA

Composti prettamente da muschi e licheni, portano alla creazione di un microambiente chimico umido. Sono inoltre responsabili della disgregazione fisica e chimica delle superfici che intaccano.

Nel caso in questione l'effetto è limitato ai muri laterali di contenimento delle acque meteoriche, della pavimentazione al di sotto del porticato e della superficie muraria verticale al di sotto dell'intonaco, in generale quindi nelle aree più fresche e meno esposte al sole.

La presenza è certamente limitata dalle specifiche condizioni di esposizione. Si può parzialmente osservare anche all'interno su alcuni apparati statuari maggiormente sensibili.



Figura 58: Interno pronao (sinistra) e muro di contenimento delle acque meteoriche destro (destra).

RISALITA CAPILLARE

Il fenomeno della risalita capillare, come anticipato in precedenza è legato a una serie di concause relative alle forze di adesione tra fluido e materiale coinvolto, con esiti molto differenti in funzione delle condizioni al contorno al sito, in accordanza con la legge di *Jurin*.

Nella cappella 16 questo è rilevabile internamente ed esternamente in aree ben localizzate, ma non sulle colonne e il parapetto del pronao, attraverso due fenomeni chiaramente osservabili:

- La porzione inferiore delle murature è bagnata superficialmente fino a una certa altezza, che rappresenta l'attuale altezza di risalita sulle superfici esterne, favorevole alla formazione di patine biologiche;
- Si possono osservare nella stessa area anche incrostazione saline, originatesi dall'evaporazione dell'acqua che ferma la risalita capillare e favorisce il deposito di materiale.



Figura 59: Dettaglio colonne.

EFFETTI EFFLORESCENZE SALINE

Nel caso della cappella in questione si possono osservare:

- Croste di sale sulla superficie inferiore interna delle murature, generate dai processi evaporativi dell'acqua interstiziale all'interno degli apparati murari;
- Disintegrazione granulare della malta e del sottostrato, a causa della dissoluzione per effetto dell'adesione polare generata dall'acqua sulla malta stessa;
- Distacco della malta per accrescimento sali evaporativi, interposti tra la malta e la porzione portante della muratura.



Figura 60: Degrado interno dato da efflorescenze saline (sinistra) e distacco della malta (destra).

ALTERAZIONI CROMATICHE

Sono osservabili alterazioni cromatiche dei pigmenti applicati esteriormente al manufatto dovuti quasi certamente a effetti di dilavamento localizzati oltre che per ossidazione locale del pigmento, mentre non sono percepibili alterazioni cromatiche nelle pietre utilizzate per il pronao.

Le porte di accesso alla cappella sono anch'esse state soggette a una alterazione del colore originario, presumibilmente in rame, hanno sviluppato una tipica patina verde legata all'ossidazione del metallo, elemento che ne favorisce la durabilità. Andrebbe verificata l'efficienza del meccanismo di apertura data l'età del manufatto.



Figura 61: Alterazione cromatica porta (sinistra) ed esterno pronao (destra).

All'interno gli apparati statuari hanno subito una variazione della pigmentazione dovuta alla degradazione del materiale originario per effetto di specifiche reazioni chimiche da indagare in una futura campagna di indagine.



Figura 62: Alterazione cromatica apparati scultorei.



Figura 63: Dettaglio degrado interno.

4.3 IPOTESI INTERVENTO

La gestione del degrado è un argomento molto complesso, che non si basa esclusivamente sull'osservazione visiva dei manufatti, ma che necessita analisi scientifiche di dettaglio, non realizzate durante le campagne di rilievo svoltesi in accordanza alle necessità del progetto di Tesi. Per tale ragione, in mancanza di ulteriori informazioni, si forniscono alcune indicazioni operative rispetto agli interventi che è possibile ipotizzare debbano essere svolti basandosi su riscontri analoghi da letteratura:

1. Rimozione vegetazione: al fine di interrompere la crescita di vegetazione nei pressi del manufatto è essenziale procedere alla rimozione meccanica avendo cura di estirpare le radici delle piante cresciute all'interno delle fessure murarie^[56]. In seguito, sarà necessario provvedere alla richiusura delle fessure generate tramite prodotti compatibili.
2. Rimozione della patina biologica: la rimozione della patina biologica superficiale è eseguibile anche meccanicamente, ma per la rimozione completa anche della porzione non visibile a occhio nudo è possibile fare uso di tecniche innovative di rimozione come gli impulsi laser Er:YAG^[28], a volte accompagnati anche da acqua nebulizzata e gel di agar^[20], che garantisce non soltanto la fattibilità proteggendo il substrato, ma inoltre, tramite una funzione chelante, permette di legare chimicamente gli elementi estratti e di conservarli all'interno del gel fino alla rimozione meccanica di quest'ultimo. Da studi parrebbe inoltre essere applicabile anche in caso di pitture murarie, ma è necessario eseguire maggiori indagini in sito per poter validare l'intervento.
3. Riduzione della risalita capillare: deve essere valutata una soluzione in funzione di analisi più approfondite in sito per verificare la compatibilità dei trattamenti, verificando che la posa di trattamenti repellenti per l'acqua non comprometta le capacità evaporative^[27].

[56] PINNA D. 2024, *Physical and Mechanical Methods for the Removal of Lithobionts—A Review*.

[28] STRIOVA J., CAMAITI M., CASTELLUCCI E. M., SANSONETTI A. 2011, *Chemical, morphological and chromatic behavior of mural paintings under Er:YAG laser irradiation*.

[20] ANZANI M., BORGIOLI L., BRUNETTO A., RABBOLINI A., SANSONETTI A., STRIOVA J. 2010, *Sperimentazione di pulitura laser con intermediazione di gel di agar*.

[27] SANSONETTI A. [et. AL.] 2011, *Moisture damage*.

4. Rimozione efflorescenze saline: qualora non si siano sviluppati fenomeni gravi di degrado come distacchi, dopo averne verificato la fattibilità e il rischio, è possibile provvedere alla pulitura delle superfici in accordanza con la compatibilità dell'agente pulente e dello strato superficiale intonacato ^[39], che internamente è provvisto inoltre di pitture murarie di pregio da tutelare.
5. Infiltrazione umidità coperture: Per ridurre l'infiltrazione di umidità dalle coperture è opportuno provvedere l'installazione di membrane impermeabilizzanti accuratamente dimensionate e posizionate oltre alla verifica del collocamento dei coppi di copertura.
6. Interventi risanatori per le alterazioni cromatiche: dopo aver eseguito opportune indagini in sito si possono adoperare metodologie idonee alla gestione dello specifico fenomeno o reazione chimica in corso, fermandone la prosecuzione ed eventualmente ripristinandolo alle condizioni originarie.

4.4 PROBLEMI RICORRENTI NEL SACRO MONTE

La composizione del Sacro Monte di Crea, caratterizzato da Cappelle poste su scoscesi versanti, comporta rilevanti problemi di ruscellamento delle acque meteoriche, che sono stati parzialmente arginati dalla realizzazione di canali di scolo laterali nelle cappelle con maggior criticità, ma non è stato realizzato alcun elemento di gronda per le coperture.

La rigogliosa vegetazione che caratterizza il Parco Naturale, tutelata dal 1980, comporta a sua volta una serie di problematiche a lungo termine:

1. Eccessivo ombreggiamento delle cappelle che porta alla formazione di muffe e muschi;
2. Perdita delle foglie sui tetti e il conseguente ristagno d'acqua;
3. L'apparato radicale si insinua nelle fondazioni favorendo l'infiltrazione di acqua di falda sottostante;
4. Pericolo crollo di alberi sulle cappelle, sui sentieri oltre che sui parcheggi.



Figura 64: Sentiero in prossimità della Cappella 10.

[39] REVEZ M. J., DELGADO RODRIGUES J. 2016, *Incompatibility risk assessment procedure for the cleaning of built heritage*.

4. CASO STUDIO: LE CAPPELLE 10 E 16

Al fine di arginare queste problematiche si devono attuare un serie di misure preventive, che, almeno in parte, sono in corso di esecuzione o completate, tra cui si cita:

- Ricognizione da parte di tecnici almeno una volta all'anno di alberi, versanti, muri di contenimento dei sentieri e delle aree su cui sorgono le cappelle, oltre che le opere per la sicurezza dei visitatori (guard-rail, reti paramassi, barriere di contenimento, staccionate, mancorrenti, segnaletica, etc...);
- Nuovi parcheggi, realizzati nella prima porzione dell'ingresso dopo lo svincolo per Ponzano Monferrato, in un'area sgombera dagli alberi;
- Realizzazione di una rete fognaria adeguata, non nota nella sua composizione odierna, ma fino al 1992 inesistente;
- Sistemazione della cascina recentemente acquisita per farne sede del Parco, le operazioni hanno permesso la fondazione della sede dell'Ente di Gestione dei Sacri Monti;
- Opere di urbanizzazione primaria necessarie.

Alcuni problemi sono inoltre imputabili alle criticità nella gestione del territorio a livello comunale, fra cui si menziona la scarsa illuminazione pubblica oltre che una manutenzione stradale non ottimale. Inoltre, è degno di nota ricordare come l'accessibilità al Sacro Monte non sia ottimale dal versante proveniente da Forneglio, con una strada stretta e tortuosa non praticabile dai mezzi pesanti.

A questi vanno aggiunti inoltre i tipici problemi di ogni Sacro Monte, inteso come connubio di un complesso devozionale e di un parco naturale, oltre che di sito dalla considerevole rilevanza turistica sul territorio del Monferrato:

- Conservazione e restauro degli apparati architettonici e statuari di pregio e l'impatto sugli uffici predisposti alla gestione;
- Rapporti con la Diocesi: portano a obiettivi diversi e spesso non convergenti;
- Utenza numerosa: in determinati periodi dell'anno il carico antropico sul Sacro Monte può essere considerevolmente rilevante e impattante sulla stabilità di un territorio fragile come quello in questione;
- Smottamenti: a Crea alla fine del 1985, tra il 1986 e il 1987, nel 1992, oltre che in tempi più recenti gli eventi franosi hanno avuto un impatto considerevole sia sulla fruibilità che sulla conservazione del Monte, ed è possibile supporre che il cambiamento climatico ne comprometta ancora la stabilità in futuro.

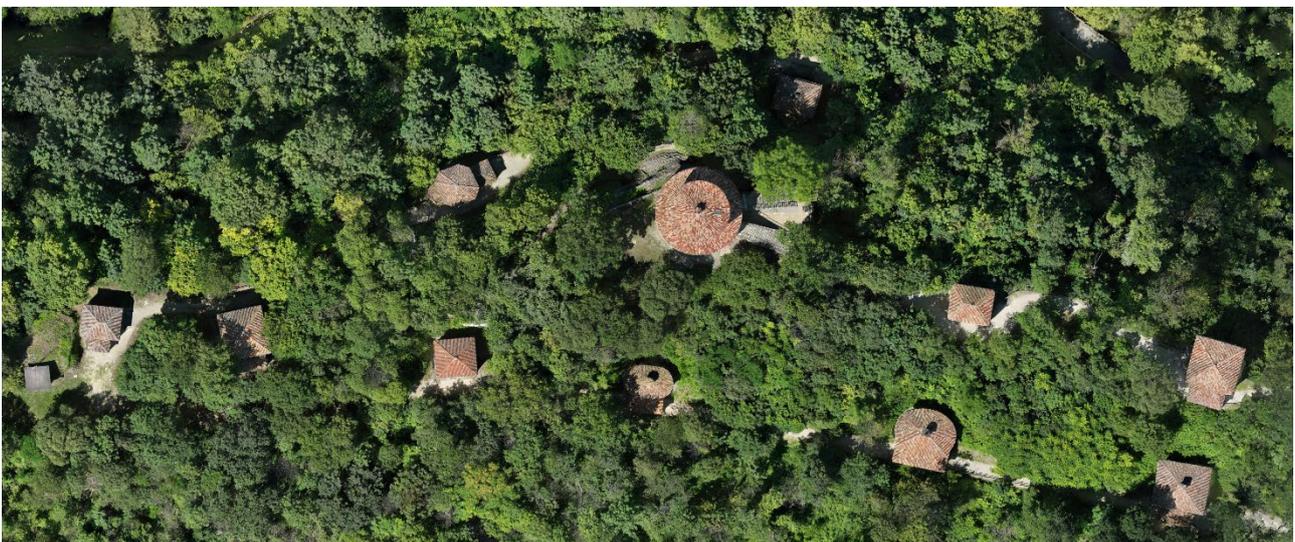


Figura 65: Ortomosaico Sacro Monte di Crea (fonte: Politecnico di Torino, dipartimento DIATI).

A oggi i problemi sono stati parzialmente arginati attraverso interventi mirati a breve o lungo termine, se ne elencano a seguire alcuni dei principali:

1. **Politica del verde:** La difficoltà dell'operatività data dai ridotti locali disponibili hanno portato alla fondazione di una sede adeguata, necessaria a realizzare indagini scientifiche, visite guidate, eventi culturali, oltre che didattica per le scuole, esposizioni museali, laboratori, percorsi attrezzati e didattici.
2. **Gestione della realtà dei Sacri Monti:** Giunta e Uffici sono impegnati al coordinamento di una serie di Atti di rilevante complessità, considerando la compresenza di numerosi cantieri per il restauro sul Monte in specifici periodi;
3. **Rapporto con la Diocesi:** gli interlocutori sono la Diocesi di Casale e la Comunità Francescana a cui era stata affidata la custodia dal 1820. La variazione delle responsabilità che vedrà il subentro della Diocesi nella gestione deve essere comunque dagli esiti positivi per il Parco e per il patrimonio che esso rappresenta. Risulta essenziale ponderare soluzioni che permettano da un lato la fruibilità del monte ai fedeli e dall'altro la possibilità di preservarne le caratteristiche e conservarlo per le generazioni future;
4. **La fruizione:** Sono numerosi gli eventi che attraggono visitatori ogni anno, ma alcuni di essi hanno avuto un impatto rilevante sull'organizzazione come le giornate indette dagli oratori salesiani del Piemonte, che hanno portato più di 2000 bambini sul Monte contemporaneamente, o anche la giornata dell'ammalato, organizzata dall' OFTAL (Opera Federativa Trasporto Ammalati a Lourdes). La gestione di flussi numerosi e l'eliminazione delle barriere architettoniche sono un argomento tutt'ora di rilievo, che si raffrontano con un contesto naturale difficilmente accessibile in alcune sue aree e in cui gli interventi sui percorsi non hanno permesso in tutti i casi di garantirne una totale accessibilità.
5. **Emergenze legate all'area naturale:** già nel secolo scorso, verso gli ultimi mesi del 1985 sono sopraggiunti problemi legati alla moria di olmi e di altre essenze ad alto fusto, oltre a frane, dovute all'assenza di regimazione delle acque piovane e fognarie e la caduta massi, legati anche all'usura data dall'afflusso di persone. In tempi più recenti i problemi non sono diminuiti, ma anzi continua a essere rilevante il rischio idrogeologico dell'area. Per tale ragione è necessario evitare gli interventi tampone, studiando le effettive cause dei fenomeni, conoscendone le dinamiche per prevederli e prevenirli. Sono stati svolti numerosi lavori di messa in sicurezza dell'area, ma frequentemente è necessario provvedere al ripristino di aree localizzate a causa di eventi atmosferici fuori dall'ordinario, evidenziando la necessità di garantire la manutenzione programmatica non soltanto del patrimonio artistico, ma dell'intero sito concepito nella sua complessità

4.5 ANALISI CRITICA E CONSIDERAZIONI

La realtà del Sacro Monte considera al suo interno un insieme di elementi considerevolmente differenti le cui priorità e necessità a volte sono in contrasto tra loro. Per garantirne la conservazione tramite appositi piani per la manutenzione programmatica è essenziale ricavare il maggior numero di informazioni possibili e schematizzarle per rendere l'interoperabilità dei processi efficiente.

Data la complessità dei fenomeni coinvolti è necessario avere una rappresentazione digitale e tabellare delle informazioni degli elementi parte del manufatto, ma per conoscerne le vere dimensioni e approfondire l'analisi nel dettaglio è essenziale eseguire dei rilievi a elevata precisione.

Nei capitoli a seguire verranno esplicitati i processi di rilievo nel dettaglio per garantirne la riproducibilità, oltre a descriverne l'elaborazione e le potenzialità rispetto alla manutenzione programmata dei manufatti coinvolti.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 4

- [01] DELGADO RODRIGUES J. [et. AL.] 1995, *Prime Esperienze Sullo Sviluppo del Prototipo di Pulitura Laser LAMA*, in G. BISCONTIN, G. DRIUSSI (a cura di), *La pulitura delle superfici dell'architettura: atti del Convegno di studi: Bressanone, 3-6 luglio 1995*, Padova: Libreria Progetto, pp. 539-546.
- [02] CANEVA G., NUGARI M. P., PINNA D., SALVADORI O. 1996, *Il controllo del degrado biologico*, Firenze: Nardini Editore, ISBN: 10:8840440399.
- [03] SIGNORINI M. A. 1996, *L'indice di pericolosità: un contributo del botanico al controllo della vegetazione infestante nelle aree monumentali*, in *Informatore Botanico Italiano*, Firenze: Società Botanica Italiana onlus, vol.28, pp. 7-14.
- [04] PINNA D. 2000, *Vecchi e nuovi intonaci: substrati favorevoli alla crescita biologica? Scienza e beni culturali. Progettare gli intonaci per l'esistente: conoscenze, riflessioni e prospettive*.
- [05] CANEVA G., PINNA D. 2002, *Il biodeterioramento dei monumenti*, in P. CATIZONE, G. ZANIN (a cura di), *Malergologia*, Bologna: Patron Editore, ISBN: 9788855526241, pp. 879-899.
- [06] ELANDT K., HELLEMANN K., RATH M., PINNA D., LORUSSO S. 2003, *Preventive Methods to reduce the Deterioration of Monuments and Outdoor Art by Microbe Burden of the Solid-micro-dust-fraction*, in C. D. FONSECA (a cura di), *Quaderni di Scienza della Conservazione*, Roma: L'erma di Bretschneider, vol.3, DOI: 10.6092, pp. 215-217.
- [07] DELGADO RODRIGUES J., VALERO CONGIL J., WAKEFIELD R., BRECHET E., LARRAÑAGA I. 2004, *Monitoraggio della biocolonizzazione e valutazione dell'efficacia di un biocida*, in *ARKOS - Scienza e Restauro dell'Architettura. Anno V*, Firenze: Nardini, vol. 5, ISBN-10: 8840444106, pp. 52-58.
- [08] BEVILACQUA F., FABBRI R., CASOLI, A., PINNA D. 2005, *La pittura ad olio su intonaco, esempi ferraresi: Leonardo da Brescia, Ippolito Scarsella, Carlo Bononi. Studi, indagini, restauri*, in G. BISCONTIN, G. DRIUSSI (a cura di), *Sulle pitture murali. Riflessioni, Conoscenze, Interventi*, Venezia: Arcadia Ricerche, pp. 241-250, ISBN; 978-88-404-43683.
- [09] CANEVA G., NUGARI M.P., SALVADORI O., (a cura di) 2005, *La biologia vegetale per i beni culturali. Vol. 1. Biodeterioramento e conservazione*, Firenze: Nardini Editore, ISBN: 978-8840441535
- [10] FRATINI F., PECCHIOLI L., COSMA S., FRANÇOIS M. C. 2005, *Le pitture murali della Chiesa di Santa Felicita a Firenze: interventi di restauro a confronto*, in G. BISCONTIN, G. DRIUSSI (a cura di) *Scienza e Beni Culturali- Sulle Pitture Murali: riflessioni, conoscenze, interventi, Bressanone 12-15 luglio 2005*, Venezia: Edizioni Arcadia ricerche, vol. 21.
- [11] DIAZ GONÇALVES T., DELGADO RODRIGUES J. 2006, *Evaluating the salt content of salt-contaminated samples on the basis of their hygroscopic behavior. Part I: Fundamentals, scope and accuracy of the method*, in P. TOMASIN (a cura di), *Journal of Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier, vol. 7 (2), DOI: doi.org/10.1016/j.culher.2006.02.009, pp. 79-84.
- [12] PINNA D. 2007, *La necessita della diagnostica nel caso delle alterazioni biologiche: quale metodo adottare?*, in *Atti del convegno "La diagnostica intelligente" - Cosenza, giugno 2007*, Cosenza: Editinera s.r.l. - Arkos Editore, pp. 171-179.
- [13] PINNA D. 2007, *Sampling of biodeteriogens in monumental and archaeological areas – methods and usefulness*, in M. MACH, *Small samples, big objects: proceedings of the Eu-ARTECH seminar in May 2007*, Monaco: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, pp. 96-104.
- [14] SANSONETTI A., MECCHI A. M., POLI T., REALINI M. 2007, *Problems in Drawing up standards to evaluate effectiveness and harmfulness in cleaning operations*, in J. H. Townsend, L.

- Toniolo, F. Cappitelli (a cura di), *Conservation Science 2007*, London: Archetype Publications, pp. 80-87.
- [15] DIAZ GONÇALVES T., PEL L., DELGADO RODRIGUES J. 2008, *Worsening of dampness and salt damage after restoration interventions: use of water repellent additives in plasters and renders*, in *Proceedings of the 1st Historical Mortars Conference (HMC08) 24-26 September 2008, Lisbon, Portugal*, Eindhoven: TU/e.
- [16] PELAGOTTI A., DEL MASTIO A., DE ROSA A., PIVA A. 2008, *Multispectral Imaging of Paintings: A Way to Material Identification*, Washington: IEEE Signal Processing Magazine, 25 (4), DOI: 10.1109/MSP.2008.923095, pp. 27-36.
- [17] DIAZ GONÇALVES T., PEL. L., DELGADO RODRIGUES J. 2009, *Influence of paints on drying and salt distribution processes in porous building materials*, in J. M. ADAM (a cura di), *Construction and Building Materials*, Amsterdam: Elsevier, vol. 23 (5), DOI: doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.08.006, pp. 1751-1759.
- [18] SCARZELLA P., ZERBINATTI M. 2009, *Recupero e conservazione dell'edilizia storica. L'insieme, le parti: interrati, fondazioni, partizioni, coperture, chiusure e aggetti*, Firenze: Alinea editrice, ISBN: 978-8860553737.
- [19] VAN HEES R. P. J., NALDINI S., DELGADO RODRIGUES J. 2009, *Plasters and renders for salt laden substrates*, in J. M. ADAM (a cura di), *Construction and Building Materials*, Amsterdam: Elsevier, vol. 23 (5), DOI: doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.09.009, pp. 1714-1718.
- [20] ANZANI M., BORGIOLO L., BRUNETTO A., RABBOLINI A., SANSONETTI A., STRIOVA J. 2010, *Sperimentazione di pulitura laser con intermediazione di gel di agar*, in *APLAR 3: Atti del convegno - APPLICAZIONI LASER NEL RESTAURO – Bari 18-19 giugno 2010*, Saonara: il prato casa editrice, pp. 45-58.
- [21] CECCHI R. GASPAROLI P. 2010, *PREVENZIONE E MANUTENZIONE PER I BENI CULTURALI EDIFICATI*, Firenze: Alinea editrice, ISBN: 978-8860555762.
- [22] PINNA D., GALEOTTI M., MAZZEO R. 2010, *Scientific Examination for the Investigation of Paintings: A Handbook for Conservator-Restorers*, Firenze: Centro Di, ISBN: 8870384581.
- [23] SYRELINGER K. 2010, *Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage*, in *Fungal Biology Reviews*, Londra: British Mycological Society, 24, DOI: 10.1016/j.fbr.2010.03.003, pp.47-55.
- [24] BISON P. [et. Al.] 2011, *Limits and Advantages of Different Techniques for Testing Moisture Content in Masonry*, in *Materials evaluation*, Columbus: ASNT, vol 69 (1), pp. 111-116.
- [25] LORENZI P., PINNA D., SORELLA F., TOSINI I., ONESTI G., PASOLINI S. 2011, *Coping with past conservative interventions and biological growth on stone statues located in Boboli Garden, Florence (Italy)*, in *Jardins de Pierres. Conservation of stone in Parks, Gardens and Cemeteries – 14^{es} journées d'étude de la SFIIIC*, Paris: SFIIIC, pp. 234 - 242.
- [26] SALVADORI O., CHAROLA A. E. 2011, *Methods to prevent biocolonization and recolonization: an overview of current research for architectural and archaeological heritage*, in A. E. CHAROLA, C. MCNAMARA, R. J. KOESTLER (a cura di), *Biocolonization of stone: control and preventive methods*, Washington: Smithsonian Institute Scholarly Press, pp. 37-50.
- [27] SANSONETTI A. [et. Al.] 2011, *Moisture damage*, in *Materials Evaluation*, Columbus: ASNT, vol 69 (1), pp. 41-46.
- [28] STRIOVA J., CAMAITI M., CASTELLUCCI E. M., SANSONETTI A. 2011, *Chemical, morphological and chromatic behavior of mural paintings under Er:YAG laser irradiation*, in *Applied Physics A*, Cham: Springer, vol.104, DOI:10.1007/s00339-011-6303-6, pp. 649-660.
- [29] PANGALLO D., KRAKOVÁ L., CHOVANOVÁ K., ŠIMONOVÍČOVÁ A., DE LEO F., URŽI C 2012, *Analysis and comparison of the microflora isolated from fresco surface and from surrounding air environment through molecular and biodegradative assays*, in J. POLAINA, N. QURESHI (a cura di), *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 28, pp. 2015-2027.

- [30] PINNA D., SALVADORI B., GALEOTTI M. 2012, *Monitoring the performance of innovative and traditional biocides mixed with consolidants and water-repellents for the prevention of biological growth on stone*, in D. Barcelò, J. Gan, *The Science of the total environment*, Amsterdam: Elsevier, vol.423, DOI: 10.1016, pp. 132-141.
- [31] REVEZ M. J., RAPOSO M., DELGADO RODRIGUES J. 2012, *The PRODOMEA phasing and compatibility indicators as tools for the planning and design of conservation interventions. Assessment and validation in the Santa Clara-a-Velha Monastery (Coimbra, Portugal)*. Poster session presented at 12th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, United States, Lisbona: Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal.
- [32] SANSONETTI A. [et. Al.] 2012, *The contribute of IR Thermography in evaluating the performances of water-repellent treatments*, in O. CIZER (a cura di), *Restoration of Buildings and Monuments*, Basilea: Birkhäuser Verlag, vol. 18 (1), DOI: 10.1515/rbm-2012-6496, pp. 13-22.
- [33] DIAZ GONÇALVES T., BRITO V., MUSACCHI J., PEL L., SAIDOV T., DELGADO RODRIGUES J., COSTA D., MIMOSO J. M. 2014, *Drying of porous building materials possibly contaminated with soluble salts: summary and findings of the DRYMASS research project*, in *Conference: SWBSS 2014 - 3rd International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures – 14-16 October 2014*, Champs-sur-Marne: Rilem, ISBN: 978-2-900054-24-7.
- [34] PINNA D. 2014, *Biofilms and lichens on stone monuments: do they damage or protect?*, in *Frontiers in Microbiology*, Losanna: Frontiers, vol. 5: 1-3, DOI 10.3389/fmicb.2014.00133.
- [35] URZI' C., DE LEO F., BRUNO F., PANGALLO D. 2014, *New species description, biomineralization processes and biocleaning applications of Roman catacombs-living bacteria*, in C. SAIZ-JIMENEZ, *The Conservation of Subterranean Cultural Heritage*, Londra: CRC Press, DOI: 10.1201/b17570-10, pp. 65-72.
- [36] BERTASA M., BOTTEON A., RIEDO C., CHIANTORE O., POLI T., SANSONETTI A., SCALARONE D. 2015, *Cleaning materials: A preliminary study of different agar powders*, in *Conference: Technart 2015 - Non-destructive and microanalytical techniques in art and cultural heritage at Catania*, Catania:Technart.
- [37] PROIETTI N., CAPITANI D., DI TULLIO V., OLMI R., PRIORI S., RIMINESI C., SANSONETTI A., TASSO F., ROSINA E. 2015, *MOdihMA at Sforza Castle in Milano: Innovative Techniques for MOisture Detection in Historical Masonry*, in L. TONIOLO, M. BORIANI, G. GUIDI, *Built Heritage: Monitoring Conservation Management*, Cham: Springer, pp. 187-197.
- [38] RAIMONDI V. [et. Al.] 2015, *An integrated multi-medial approach to cultural heritage conservation and documentation: from remotely-sensed lidar imaging to historical archive data*, Tolosa: SPIE, DOI:[10.1117/12.2195737](https://doi.org/10.1117/12.2195737).
- [39] REVEZ M. J., DELGADO RODRIGUES J. 2016, *Incompatibility risk assessment procedure for the cleaning of built heritage*, in P. TOMASIN (a cura di), *Journal of Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier, vol. 18, DOI: doi.org/10.1016/j.culher.2015.09.003, pp. 219-228.
- [40] BERTASA M., BOTTEON A., BRAMBILLA L., RIEDO C., CHIANTORE O., POLI T., SANSONETTI A., SCALARONE D. 2017, *Cleaning materials: A compositional multi-analytical characterization of commercial agar powders*, in *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Amsterdam: Elsevier, vol. 125, DOI: 10.1016, pp. 310-317.
- [41] BRIDIER A., PIARD J. C., PANDIN C., LABARTHE S., DUBOIS-BRISSONNET F., BRIANDET R. 2017, *Spatial organization plasticity as an adaptive driver of surface microbial communities* in *Frontiers in Microbiology*, Losanna: Frontiers, vol.8, DOI: 10.3389/fmicb.2017.01364.
- [42] PINNA D. 2017, *La crescita biologica sui materiali lapidei di alcune cappelle del Sacro Monte di Varallo Sesia*, in A. CARPINTERI (a cura di), *Il patrimonio pittorico murale dei Sacri Monti - Monitoraggio, valorizzazione e recupero*, Roma: Aracne Editrice, DOI: 10.4399/97888548975336, pp. 53-59.

- [43] MITTELMANN M. W. 2018, *The importance of microbial biofilms in the deterioration of heritage materials*, in R. MITCHELL, J. CLIFFORD (a cura di), *Biodeterioration and preservation in art, archaeology and architecture*, Londra: Archetype Publications, pp. 3-15.
- [44] PECCHIONI E., FRATINI F., CANTISANI E. 2018, *Le malte antiche e moderne – Tra tradizione ed innovazione*, Bologna: Pàtron Editore, ISBN: 978-88-555-3414-7.
- [45] ROSINA E., SANSONETTI A., LUDWIG N. 2018, *Moisture: The problem that any conservator faced in his professional life*, in P. TOMASIN (a cura di), *Journal of Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier, vol. 31, DOI 10.1016, pp. S1-S2.
- [46] DE JONG I., DEN LEEUW M., MASS J., PINNA D., SHINDELL L., SPAPENS O. 2019, *Technical Art History. A Handbook of Scientific Techniques for the Examination of Works of Art*, L'Aia: AiA Foundation, ISBN: 978-90-9031032-9.
- [47] NANNEI V. M., FARINA P. M., ROBERTI G. M., SANSONETTI A. 2019, *Integrated survey techniques: preliminary studies for the conservation of Villa Galvagnina*, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - GEORES 2019 – 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, 8–10 May 2019, Milan, Italy*, Hannover: ISPRS, volume: XLII-2/W11, DOI: doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-909-2019, pp. 909-916.
- [48] BERTASA M. [et. AL.] 2020, *An in-depth study on the agar gel effectiveness for built heritage cleaning*, in *Journal of Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier, DOI: doi.org/10.1016/j.culher.2020.10.007.
- [49] FRATINI F., MATTONE M., RESCIC S., ROVERO L. 2020, *Analysis of the earthen architectural heritage in Piedmont (northern Italy): typologies, construction techniques and materials*, in *Gremium*, Città del Messico: Editorial Restauro, vol. 7, ISSN: 2518-2943, pp. 41-52.
- [50] BRUNELLO V. [et. AL.] 2021, *Understanding the Microstructure of Mortars for Cultural Heritage Using X-ray CT and MIP*, in *materials*, Basel: MDPI, vol. 14(20), DOI: doi.org/10.3390/ma14205939.
- [51] PINNA D. 2021, *Microbial Growth and its Effects on Inorganic Heritage Materials*, in EDITH J. (a cura di), *Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage*, London: Springer Nature, ISBN: 9783030694111, pp. 3-35.
- [52] RESCIC S., MATTONE M., FRATINI F., LUVIDI L. 2021, *Earthen Plasters Stabilized through Sustainable Additives: An Experimental Campaign*, in *sustainability*, Basel: MDPI, vol. 13, DOI: doi.org/10.3390/su13031090.
- [53] FASSINA V. 2022, *Chimica applicata alla conservazione e al restauro del patrimonio culturale*, Firenze: Nardini Editore, ISBN: 978-8840403380.
- [54] FRATINI F., RESCIC S., LUVIDI L. 2022, *Can Tourism and Natural Parks Coexist? Comparison of Europe, China, and the United States of America*, in *geosciences*, Basel: MDPI, vol. 12(12), DOI: doi.org/10.3390/geosciences12120430.
- [55] MORLOTTI M., FORLANI F., SACCANI I., SANSONETTI A. 2024, *Evaluation of Enzyme Agarose Gels for Cleaning Complex Substrates in Cultural Heritage*, in *Gels*, Basel: MDPI, vol. 10 (1), DOI: doi.org/10.3390/gels10010014.
- [56] PINNA D. 2024, *Physical and Mechanical Methods for the Removal of Lithobionts—A Review*, in J. CARNEIRO (a cura di), *coatings*, Basel: MDPI, vol. 14 (3), DOI 10.3390.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

Al fine di valorizzare, conservare e mantenere un sito patrimonio culturale è essenziale possederne una conoscenza completa di modo che la corretta interpretazione del manufatto può essere trasmessa alle generazioni future, comprendendo aspetti non solo relativi all'evoluzione storico-artistica, ma anche che tengano conto delle attuali condizioni in merito alla posizione, alla composizione e a come questa venga percepita, oltre che alle geometrie e le caratteristiche cromatiche degli elementi che lo definiscono.

Per ottenere una conoscenza completa del manufatto analizzato è essenziale procedere con un rilievo sul campo che permetta di conoscere lo stato di fatto dell'oggetto, divenendo quindi uno strumento essenziale per estrapolare direttamente una grande quantità di informazioni.

L'evoluzione assunta dalle tecniche di rilievo negli ultimi anni ha favorito la gestione di ingenti quantità di dati, rendendo possibile integrare e completare le informazioni ricavabili dagli strumenti di acquisizione digitale, molto sofisticati, con le più tradizionali tecniche di rilievo. La convergenza di queste tecniche è essenziale al fine di ricavare modelli digitali 3D in grado di rappresentare fedelmente la realtà, le cosiddette nuvole di punti.

A queste andranno affiancate tecniche tradizionali di rilevamento del degrado basate sulla schedatura dei manufatti osservati tramite fotografia, per permetterne non soltanto la catalogazione all'interno degli strumenti informativi in via di sviluppo, ma anche la riproducibilità futura adottando la medesima metodologia per avere uno storico del rilevamento a cadenza periodica ben strutturato.

Nel contesto del Sacro Monte di Crea data la varietà di elementi che necessita un accurato rilevamento si possono impiegare tecniche che operino a scala variabile, dall'intero complesso ai dettagli costruttivi, variando il grado di accuratezza richiesto di modo che si garantisca un'ottimizzazione dei tempi e dei costi necessari.

L'utilizzo di strumentazione con precisioni non omogenee comporta certamente una maggiore attenzione in una fase successiva di elaborazione e unione dell'informazione, ma allo stesso tempo la configurazione a più livelli del rilievo garantisce informazioni complementari in un sistema accessibile, visionabile, interrogabile oltre che implementabile in funzioni e applicativi terzi.

I dati ricavati dalle campagne di rilievo svoltesi nel corso dell'anno corrente 2024, grazie alla collaborazione tra il Politecnico di Torino (Dipartimenti DISEG e DIATI) e L'Ente di gestione dei Sacri Monti, sono stati essenziali al fine di ricavare le nuvole di punti dense georeferenziate delle Cappelle 10 e 16. Le ulteriori tre cappelle oggetto di interesse al fine di valutarne il grado di degrado e la successiva manutenzione, le cappelle 11, 13 e 15 non verranno trattate nel lavoro di Tesi, ma subiranno un processo di valutazione del tutto equivalente a quello a seguito indicato.

Considerando le caratteristiche specifiche del luogo sono state adottate tecniche di acquisizione a una scala locale, come riportato nella tabella sottostante in riferimento alle differenti scale di rilievo e tipologie di oggetto da rilevare.

In particolare, per le attività di acquisizione effettuate è stato fatto affidamento su tradizionali tecniche topografiche, tramite stazione totale e GPS/GNSS, rilievi Lidar tramite laser scanner e fotogrammetrici tramite UAV.

Si descrivono a seguito gli aspetti teorici e operativi delle tecniche impiegate e il funzionamento degli strumenti adoperati.

| Rilievo archeologico | Oggetti da rilevare | Dati e tecniche di rilievo |
|----------------------|---|---|
| Scala regionale | Territorio Topografia Sito | Immagini satellitari Immagini aeree piccola scala Radar Lidar GPS |
| Scala locale | Sito Architetture Scavo Strati | Immagini satellitari ad alta risoluzione Immagini aeree a grande scala Radar Lidar Laser scanner TOF/CW Immagini terrestri Stazione totale GPS |
| Scala oggetto | Ritrovamenti Oggetti museali | Immagini terrestri Laser scanner a triangolazione Sistemi a luce strutturata |

Tabella 29: Metodi di rilievo in funzione della scala e dell’oggetto da rilevare (fonte: GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M. 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*).

5.1 TECNICHE DI RILEVAMENTO

Le tecniche di rilevamento possono essere distinte in due principali classi:

- Tecniche dirette: operazioni di misura a diretto contatto con gli oggetti da valutare e con valori metrici immediatamente verificabili;
- Tecniche indirette: operazioni di misura effettuate attraverso strumenti ottici, meccanici o informatici di elevata precisione, in cui i valori osservati vengono tradotti in forma visuale a seguito di elaborazioni computerizzate.

In particolare, in merito a quest’ultime la tipologia di luce impiegata dagli strumenti definisce una discriminante tra due metodi:

- Passivi: si utilizza la luce naturale ed è stato applicato nella tecnica fotogrammetrica;
- Attivi: la radiazione luminosa è codificata durante il processo, è il caso della tecnica LIDAR tramite laser scanner e i metodi di rilievo che adoperano la stazione totale e il GPS/GNSS.

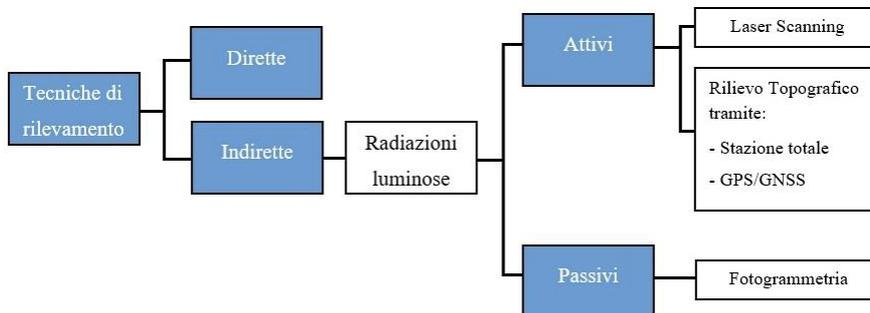


Figura 66: Schema classificazione tecniche di rilevamento (fonte: GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M. 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*).

A seguito verranno presentati gli step svoltisi nella campagna di rilievo di giugno, con primario obiettivo l’acquisizione dei dati relativi alle cappelle 10 e 16.

5.2 ANALISI DEL CONTESTO DI INTERVENTO

Prima di andare a realizzare le operazioni di rilievo è stata svolta una valutazione del sito per individuare i punti maggiormente indicati per l’esecuzione delle operazioni e ipotizzando una primaria predisposizione del marker in funzione della copertura satellitare ipotizzata.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

Il sito oggetto del rilievo, collocandosi sulla sommità di un colle ricco di vegetazione, ha comportato una serie di sfide anche per le più basilari operazioni, rendendo difficoltosa non solo l'accessibilità ma anche la possibilità di ottenere un'adeguata copertura.

Da una primaria valutazione le principali criticità riscontrate sono state:

- Accessibilità ai siti oggetti del rilievo esclusivamente pedonale;
- Fondo irregolare composto da terreno battuto e pietra;
- Pendenze rilevanti a tratti;
- Difficoltà nell'accessibilità al retro delle cappelle a causa della prossimità alla parete rocciosa del colle;
- Accesso agli interni interdetto ai non autorizzati a causa delle precarie condizioni in cui versa l'interno dei manufatti;
- Vegetazione rigogliosa, che rende difficoltose le operazioni di rilievo e la possibilità di raggiungere specifiche aree dei manufatti oltre che comprenderne le geometrie da terra.

Per andare incontro alle difficoltà riscontrate sono stati adottati strumenti idonei all'ottenimento dei dati desiderati, ma allo stesso tempo sufficientemente maneggevoli per garantirne il trasporto a mano.

5.3 RILIEVO TOPOGRAFICO

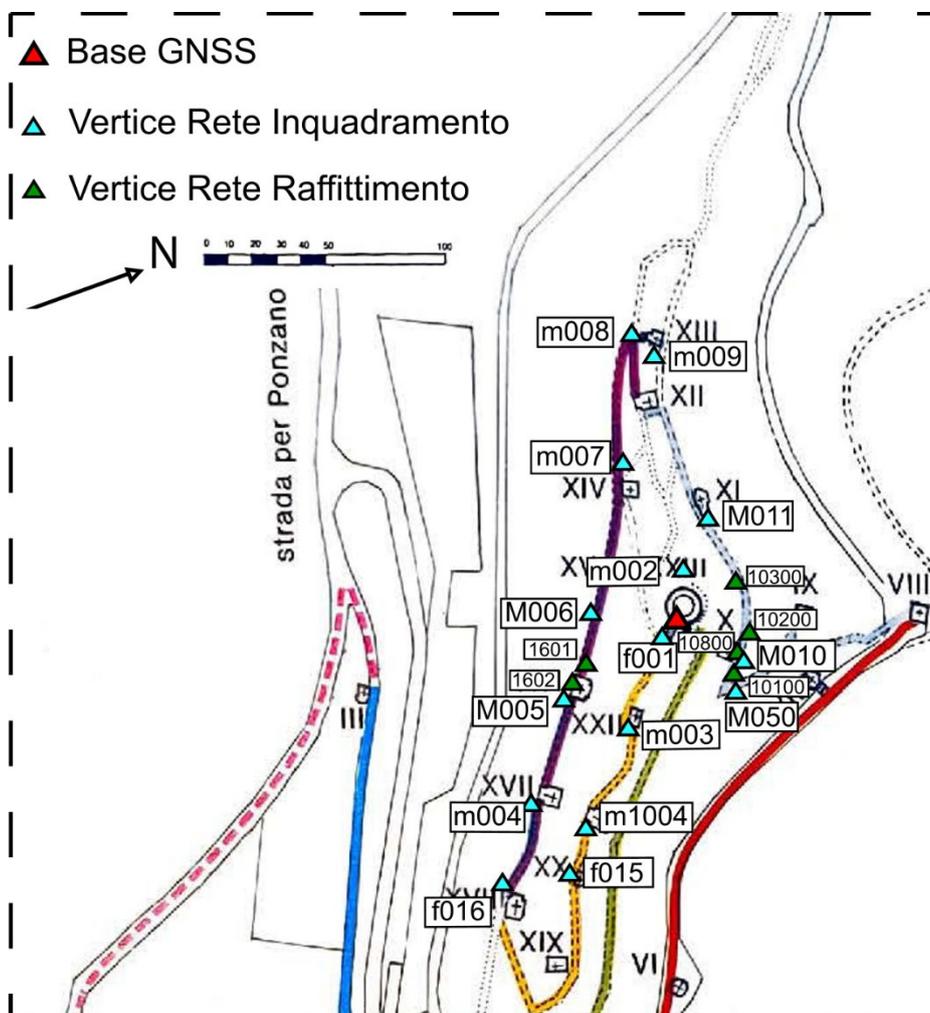


Figura 67: Planimetria dei punti della rete di appoggio utilizzata (fonte: elaborazione di immagine tratta da CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*).

Il rilievo topografico è il complesso delle operazioni di misura e dei procedimenti che occorre effettuare al fine di produrre i fondamenti per la rappresentazione grafica e numerica del territorio ^[05].

Le operazioni di rilievo topografico consentono la determinazione plano-altimetrica di specifici punti rispetto ad altri presi come riferimento, partendo dal generale e arrivando al particolare.

La configurazione gerarchica in particolare prevede:

1. Determinazione della rete di inquadramento (o appoggio);
2. Raffittimento dei punti della rete di inquadramento;
3. Determinazione della rete di dettaglio.

Per prima cosa è necessario realizzare l'inquadramento generale dell'area interessata dal rilievo tramite una serie di punti collegati tra loro che costituiscono l'ossatura, la rete di appoggio per le sottoreti connesse, anche definita come rete di inquadramento.

I punti di questa prima rete, di numero limitato, devono essere muniti di una precisione superiore rispetto a quella prefissata, garantendone una affidabilità adeguata ad andare incontro agli errori di misura accidentali relativi agli stessi punti, i quali hanno la tendenza ad accumularsi durante il rilievo e ne inficiano l'affidabilità.

In seguito, è stata realizzata la rete di raffittimento, un secondo livello di punti subordinato al primo, collegati tra loro e ai vertici della rete di inquadramento, che permette di densificare localmente la rete e di disporre di vertici noti a distanze utili per il conseguente rilievo dei punti di dettaglio.

Per concludere sono stati rilevati i punti di dettaglio, in numero considerevolmente superiore a quelli di inquadramento e raffittimento. Non sono base per alcun altro livello subordinato e per tale ragione eventuali errori di misura nell'individuazione di tali vertici hanno un'influenza esclusivamente locale, fattore che permette di realizzarne un rilievo celerimetrico, necessario a estrarli e condizionato direttamente della scala finale, anche con tecniche meno precise e più rapide.

Mentre in origine il rilievo topografico rappresentava il risultato finale tramite la produzione di elaborati cartografici, oggi è abbinato con le tecniche fotogrammetriche e LIDAR permette di ottenere dati georeferenziati per mezzo della rete.

L'introduzione della tecnologia GPS ha introdotto alla possibilità di ottenere misure altamente precise, eliminando la necessità di garantire l'intervisibilità tra i punti da rilevare, fondamentale in passato, e permettendo la creazione di reti di inquadramento precise e versatili, essenziale per i processi di georeferenziazione effettuati.

La rete di raffittimento e di dettaglio invece può alternativamente essere determinata per mezzo di tecnologia GPS o tramite stazione totale, ricordando però la necessità di garantire visibilità tra i punti in quest'ultimo caso.

Il sistema GPS in funzione delle necessità può essere utilizzato in differenti modalità:

- Modalità statica: i ricevitori rimangono fermi nei vertici per l'intera durata della sessione di misura e acquisiscono i dati contemporaneamente garantendo il massimo livello di precisione raggiungibile.
- Modalità statico-rapida: variante della precedente, considera un minor numero di osservazioni e di conseguenza una riduzione dell'accuratezza e del tempo necessario per l'acquisizione; è raccomandato esclusivamente per i punti di raffittimento e di dettaglio.

[05] CANNAROZZO R., CUCCHIARINI L., MESCHIERI W. 2012, *Misure, rilievo, progetto*.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

- Modalità pseudo-statica: mantenendo fisso uno dei ricevitori (*base*) su un vertice si sposta puntualmente l'altro (*rover*), sostando nei siti da determinare per certo tempo. Si evidenzia una perdita di accuratezza delle osservazioni ma allo stesso tempo una maggiore efficienza e produttività, molto utile per determinare la rete di dettaglio
- Modalità cinematica continua: come per pseudo-statica, ma il ricevitore (*rover*) si muove con continuità lungo la rete da misurare.

Il rilievo svolto presso il Sacro Monte di Crea nel mese di giugno ha previsto, dopo una primaria progettazione delle acquisizioni che ha permesso di individuare i punti più consono alla costituzione delle reti, ha garantito la determinazione dei vertici della rete di inquadramento tramite tecnica GPS/GNSS in modalità statica.

Usufruendo delle stazioni nazionali permanenti GNSS di Cuornè, Crescentino, Biella e Novara è stato fatto uso di un ricevitore posizionato su il punto più in alto del complesso, sulla sommità delle scale della Cappella 23, denominata del Paradiso, deputato alla registrazione del segnale emesso dai satelliti dei sistemi GPS, GLONASS e Galileo.

Le monografie contenenti le coordinate delle stazioni permanenti sono state ricavate dal portale SPIN3 ^[23] relativo al Servizio di Posizionamento Interregionale GNSS Lombardia – Piemonte – Valle d'Aosta. Utilizzando infine il *software Leica Geo Office 8.4* sono state collegate le stazioni con il ricevitore permettendo l'ottenimento delle coordinate del vertice compensate.

La modalità statica di acquisizione si basa sulla triangolazione, considerando la distanza tra il ricevitore e il satellite come base per l'operazione. Si può risalire alla distanza utilizzando la formula:

$$D_s = t \cdot c$$

In cui:

- D_s : distanza ricevitore-satellite;
- T : tempo di propagazione, ovvero il tempo necessario al segnale di velocità nota ed emesso dal satellite a raggiungere l'antenna dello strumento;
- c : velocità della luce nel vuoto ($2,99 \cdot 10^8$ m·s⁻¹).



Figura 68: Messa in stazione del ricevitore GPS/GNSS.

[23] SPIN3 GNSS, *Stazioni permanenti*.

Per determinare le coordinate X, Y, Z del vertice è stata necessaria la ricezione dei segnali di almeno quattro satelliti, di cui tre hanno consentito di misurare l'effettiva distanza tra il ricevitore e gli stessi, mentre l'ultimo è stato utilizzato per ottenere il valore relativo alla differenza tra il tempo del satellite e quello del ricevitore, il cosiddetto *bias* dell'orologio.

A seguito è stato posizionato su ciascuno dei punti da rilevare il rover RTK GNSS Leica *Smart Rover* con Leica GPS1200+, sistema per l'individuazione di precisione della posizione di un punto nello spazio senza necessità di "centrare la bolla", basato sulla tecnologia RTK.

La *Real Time Kinematic* (RTK) è un metodo di misurazione GPS basato su GNSS che permette di fornire precisioni a livello del centimetro in tempo reale sul campo.

Per la sua applicazione è necessario un ricevitore *base* collocato su un punto di appoggio che permetta di fornire in tempo reale la posizione assunta dal *rover* tramite una registrazione continua di quest'ultimo che è collegato via radio al ricevitore *base*.

La presenza del ricevitore *base* fisso garantisce una correzione del segnale acquisito dai *rover RTK*, ma affinché si verifichi ciò è necessario che i dispositivi acquisiscano il segnale di una quantità di satelliti adeguata, preferibilmente cinque.



Figura 69: Schema modalità di rilievo RTK rover (fonte: GPSGEOMETER, *What is GNSS RTK and how does it work?*, <https://gpsgeometer.com/en/blog/what-is-gnss-rtk-and-how-does-it-work>).



Figura 70: Posizionamento sui marker del Leica Smart Rover.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

Purtroppo, la connessione dati RTK dello strumento non risultava sufficiente a garantire precisioni adeguate, raggiungendo valori solo prossimi ai 6 cm, molto lontani dai 5 mm prescritti, per tale ragione il giorno seguente sono state ripetute interamente le misurazioni utilizzando lo Stonex s990A.

Costituito da un ricevitore GNSS a 800 canali, è caratterizzato dall'applicazione del sistema IMU che consente la misurazione inclinata (*TILT*) fino a 60°, questo ne garantisce una rapida inizializzazione, oltre che un rilevamento rapido e preciso.

Inoltre, essendo provvisto di funzionalità aRTK e tramite il servizio di correzione *Atlas*, lo Stonex S990A è maggiormente indicato a lavorare in aree particolarmente difficili, come quelle riscontrate al sito.

Il servizio *Atlas*® fornisce dati di correzione centimetrici a livello mondiale tramite L-Band, garantendo misurazione accurate anche su più rover.



Figura 71: Stonex s990A.

| RICEVITORE | | MODEM INTERNO | |
|---|--|----------------------------|--|
| Segnali Tracciati | GPS: L1 C/A, L1C, L1P, L2C, L2P, L5 GLONASS: L1 C/A, L1P, L2 C/A, L2P, L3 BEIDOU: B1, B2, B3, ACEBOC GALILEO: E1, E5a, E5b, ALTBOC, E6 QZSS: L1 C/A, L1C, L2C, L5, L6 IRNSS: L5 SBAS: L1, L5 | Banda | LTE FDD: B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B12/ B13/B18/B19/B20/B25/B26/B28 LTE TDD: B38/B39/B40/B41 UMTS: B1/B2/B4/B5/B6/B8/B19 GSM: B2/B3/B5/B8 Nano SIM card |
| L-Band | Atlas H10 / H30 / Basic (opzionale) ⁵ | COMUNICAZIONI | |
| Copertura in assenza di RTK | aRTK - fino a 20 minuti | Connettori | 5 pins Lemo, connessione Type-C per alimentazione esterna e radio esterna, per ricevere corrente e scambio dati Porta 1PPS |
| Canali | 800 | Bluetooth | 2.1 + EDR, V4.1 |
| Aggiornamento posizione | 10 Hz (opzionale 20-50Hz) ⁵ | Wi-Fi | 802.11 b/g/n |
| Riacquisizione segnale | < 1 s | Web UI | Per aggiornare il software, gestire lo stato e le impostazioni, scaricare i dati, ecc. Utilizzabile con smartphone, tablet o altri dispositivi elettronici con Wi-Fi |
| Inizializzazione RTK ⁴ | Da 2 a 4 secondi | Protocolli di rete | RTCM 2.3, 3.0, 3.2 CMR, CMR+, DGPS |
| Inizializzazione standard | < 15 s | Dati di navigazione | NMEA 0183 |
| Affidabilità inizializzazione | > 99,9 % | ALIMENTAZIONE | |
| Memoria interna | 32 GB | Batteria | Interna ricaricabile 7.2 V - 10.200 mAh |
| Sensore Tilt | E-Bubble IMU | Voltaggio | 9 to 28 V DC - ingresso esterno con protezione di sovratensione (5 pins Lemo) |
| POSIZIONAMENTO¹ | | Durata batteria | Fino a 10 ore |
| RILIEVO STATICO | | Tempo di ricarica | 4 ore |
| Statico di precisione Orizzontale | 2.5 mm + 0.1 ppm RMS | SPECIFICHE FISICHE | |
| Statico di precisione Verticale | 3.5 mm + 0.4 ppm RMS | Dimensioni | φ 151 mm x 94.5 mm |
| Statico veloce Orizzontale | 3 mm + 0.5 ppm RMS | Peso | 1.40 Kg |
| Statico veloce Verticale | 5 mm + 0.5 ppm RMS | Temperatura di esercizio | -40°C a 65°C (-40°F a 149°F) |
| DIFFERENZIALE SOLO CODICE | | Temperatura di stoccaggio | -40°C a 80°C (-40°F a 176°F) |
| Accuratezza SBAS ² | 0.40 m RMS | Protezione acqua e polvere | IP67 |
| Accuratezza RTK (< 30 Km) - COLLEGAMENTO NETWORK ³ | 0.60 m RMS | MIL-STD | MIL-STD-810H |
| Fixed RTK Orizzontale | 5 mm + 0.5 ppm RMS | Resistenza agli urti | Progettato per resistere a cadute da palina di 2m su superfici in cemento |
| Fixed RTK Verticale | 10 mm + 0.5 ppm RMS | Vibrazioni | Resistente alle vibrazioni |
| ANTENNA GNSS INTEGRATA | | | |
| Antenna interna con quattro costellazioni ad alta precisione, centro di fase zero, scheda interna per riduzione del multipath | | | |
| RADIO INTERNA (opzionale)⁵ | | | |
| Tipo | Tx - Rx (1 watt) | | |
| Frequenze | 410 - 470 MHz | | |
| Larghezza banda | 12.5 KHz / 25 KHz | | |
| Campo massimo | 3-4 Km in ambiente urbano Fino a 10 Km con condizioni ottimali ⁴ | | |

1. Precisione e affidabilità sono generalmente soggette alla geometria del satellite (DOP), al multipath, alle condizioni atmosferiche e agli ostacoli. In modalità statica sono soggetti anche ai tempi di occupazione: più è distante la base, più tempo deve essere il tempo di occupazione.
2. Dipende dalle prestazioni del sistema SBAS.
3. La precisione della rete RTK dipende dalle prestazioni della rete e si riferisce alla stazione base fisica più vicina.
4. Varia in base all'ambiente operativo e all'inquinamento elettromagnetico.
5. Opzionale, può essere attivato tramite codice di attivazione.

Figura 72: Schema tecnica del rover RTK Stonex s990A (fonte: STONEX, s990a, <https://www.stonex.it/project/s990a-ricevitore-gnss/>).

Per ottenere invece la rete di raffittimento è stata impiegata la tecnica topografica tradizionale per mezzo di una stazione totale, la Leica Nova, oltre a una palina con prisma.

La scelta di utilizzare una tecnica simile è dettata dalle condizioni operative e dalla necessità di misurare punti in prossimità di edifici moderatamente alti o al di sotto di alberi con alto fusto, in generale quindi zone non libere da ostacoli entro l'angolo di elevazione necessario al rilevamento tramite GPS/GNSS.

Si dispone quindi la stazione totale in uno dei vertici di inquadramento, le cui coordinate sono note, considerando la visibilità del punto della maglia di raffittimento è possibile, tramite una palina con prisma, identificare la coordinate relative del punto.



Figura 73: Stazione totale Leica Nova (sinistra) e prisma (destra).

Per concludere la realizzazione della rete sono stati definiti i punti di dettaglio, corrispondenti a punti fotografici riconoscibili come spigoli di coperture, punti a terra o punti sulle superfici murarie. Alcuni di quest'ultimi, in preparazione al rilievo, sono stati materializzati tramite *Marker* o *Target*, segnali a scacchiera o in taluni casi a corona circolare, facilmente identificabili anche da elevate distanze.



Figura 74: Marker.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

L'identificazione di tali segnali semplifica le successive operazioni di georeferenziazione delle nuvole fotogrammetriche, o nel caso dei target a corona circolare permette l'utilizzo di strumenti fotogrammetrici per la ricostruzione delle nuvole di punti per via diretta come lo Stonex XVS.

La stazione totale, quindi, una volta posizionata sui vertici della rete di appoggio determina la posizione relativa dei punti da collimare così individuati.

La fase preparatoria al rilievo ha inoltre previsto la realizzazione di *eidotipi*, disegni proporzionalmente corretti degli oggetti rilevati, in cui sono indicati i *marker* oltre ai punti fotografici, parte dei punti di dettaglio, nella propria posizione e con la codifica applicata durante il rilievo.

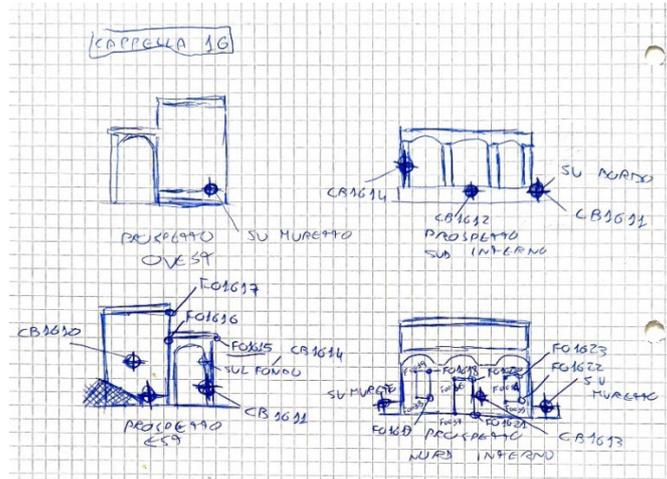


Figura 75: Eidotipo rilievo Cappella 16.

Attraverso questa documentazione è possibile riconoscere i vertici individuati anche nelle future campagne di rilievo, oltre che durante l'elaborazione dei dati.

5.4 IL RILIEVO TRAMITE TECNICA LIDAR

La tecnologia LIDAR (*Light Detection And Ranging*), anche conosciuta come *laser scanning*, è una tecnica di rilievo rapida e dall'elevato livello di precisione. Si basa su appositi strumenti noti come *laser scanner* per ottenere informazioni relative a un elevato numero di punti rappresentativi della superficie esterna di un oggetto.

Alla base del funzionamento dello strumento vi è il *laser*, un fascio di luce coerente monocromatico ad alta direttività che viene inviato verso l'oggetto da rilevare, in cui si garantisce la variazione degli angoli azimutali e zenitali del fascio tramite step progressivi. Il raggio, colpendo la superficie dell'oggetto in questione viene parzialmente riflesso e ritorna alla superficie emettente.

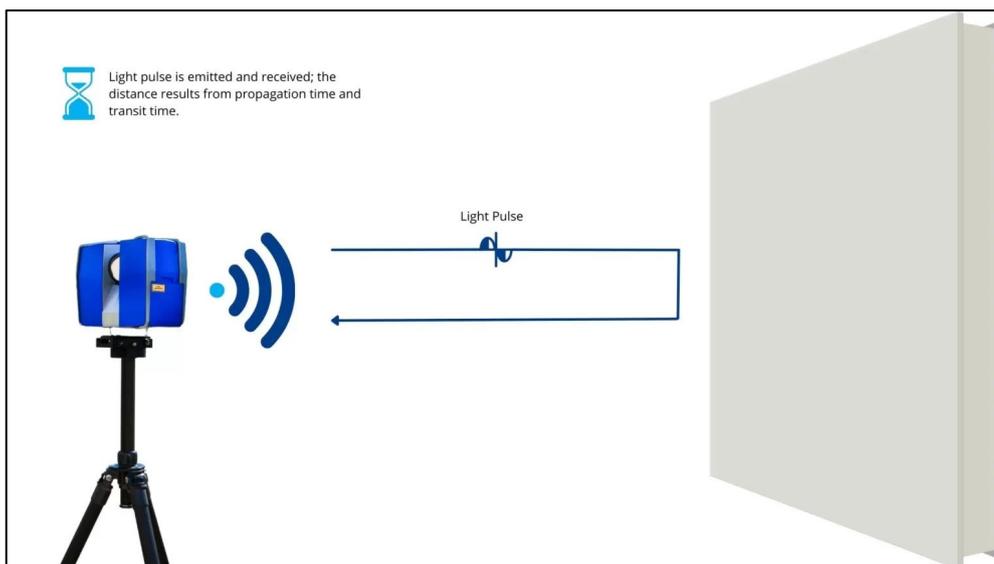


Figura 77: Schema di funzionamento dei laser scanner (fonte: BIMEX, *Laser Scanning and the Different Types of Laser Scanners*, <https://bimexeng.com/blog/technology/laser-scanning-and-the-different-types-of-laser-scanners>).

In funzione della riflessione lo strumento è in grado di determinare la distanza dell'oggetto che, grazie alla conoscenza degli angoli di orientamento dello strumento, fornisce informazioni in merito al posizionamento spaziale di ogni punto dell'oggetto in questione, permettendo di ricostruire un modello tridimensionale digitale sotto forma di nuvola di punti.

Qualora il laser scanner sia munito di fotocamera integrata è possibile durante la fase di elaborazione dati completare l'informazione della nuvola di punti con il colore.

Si possono individuare tre diverse tipologie di laser scanner:

- A triangolazione ottica: la distanza è misurata per mezzo della triangolazione del segnale;
- A comparazione di fase: confronta la fase dell'onda del raggio emesso con quella dell'onda riflessa;
- A misura del tempo di volo: indicati come LIDAR, sfruttano la misura del tempo di volo (TOF, *Time Of Flight*), ovvero la misura del tempo che intercorre tra l'emissione e la ricezione dell'impulso laser, un picco di energia elettromagnetica rilasciata in un breve istante di tempo, impulsiva. Garantisce portate dell'ordine del chilometro.

Nel caso del rilievo in questione è stato fatto uso esclusivamente di tecnologia LIDAR per il rilevamento del Sacro Monte di Crea.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

Per una pianificazione ottimale della scansione si devono tenere in considerazione le caratteristiche dimensionali e formali dell'area di rilievo, per garantire efficienza nella successiva fase di elaborazione, oltre che per evitare mancanza di dati essenziali, schermati da oggetti lungo la traiettoria, o per l'acquisizione di punti falsi, a causa della presenza di superfici ravvicinate a distanze diverse.

Le prese devono essere localizzate e lo spostamento dello strumento lungo la superficie è preferibile avvenga parallelamente alla stessa o attorno all'oggetto che si intende rilevare. La sovrapposizione delle aree di scansione garantisce una più efficiente elaborazione dei dati riducendo, se non addirittura azzerando l'utilizzo di marker, tramite un efficace riconoscimento dei punti fotografici.

I punti di scansione vanno codificati come già anticipato in modo del tutto analogo al rilievo topografico.

I *laser scanner* vanno opportunamente impostati al fine di ottenere risultati adeguati, operando su parametri come la durata delle scansioni, l'ampiezza delle scansioni, la qualità, il numero di scansioni effettuate sulla stessa area oltre che la risoluzione richiesta.

La risoluzione di una scansione è rappresentata dal grado di dettaglio con cui si rappresentano gli oggetti bersaglio, strettamente legata alla densità di punti rappresentativi della superficie. Gli impulsi *laser* azimutali e zenitali che sono emessi dallo strumento generano un reticolato di punti contigui con una predefinita spaziatura.

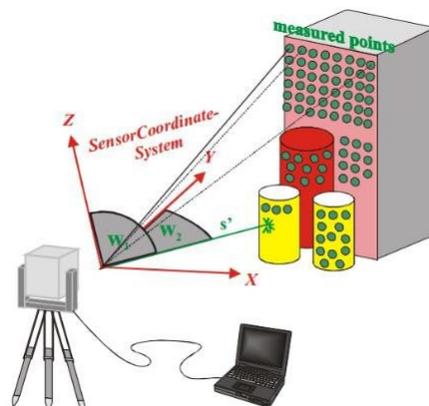


Figura 78: Reticolato emesso dal laser scanner (fonte: KHOMSIN K., PRATOMO D. G., ANJASMARA I.M., FAIZZUDDIN A. 2019, ANALYSIS OF THE VOLUME COMPARATION OF 3'S (TS, GNSS and TLS)).

La densità di punti del reticolato influenza direttamente la risoluzione della scansione e quindi l'accuratezza geometrica. In particolare, la spaziatura dipende dagli angoli azimutali e zenitali degli impulsi *laser*, generati dalla rotazione di specchi rotanti o oscillanti che li direzionano, oltre che dalla distanza dello strumento dall'oggetto da rilevare.

Dopo aver definito il punto di stazione per il *laser scanner* è essenziale scegliere il passo di emissione del *laser* per garantire una risoluzione il più omogeneo possibile per la scansione, progettando la posizione dei punti di presa per garantirne la migliore copertura ed evitare l'acquisizione di punti falsi o la mancanza di dati.

I punti di scansione vanno infine annotati su appositi *eidotipi* di supporto per l'elaborazione, garantendone un riutilizzo futuro.

Per il rilevamento dei punti i sistemi utilizzati sono stati eterogenei e hanno compreso sia apparecchi fissi che mobili, anche denominati SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*), basati sulla localizzazione e la mappatura simultanea.

Lo strumento utilizzato per le scansioni statiche è il Leica RTC 360, Laser Scanner basato su tecnologia LIDAR con funzionalità extra SLAM.

5.4.1 Leica RTC 360



Figura 79: Laser scanner Leica RTC 360.

| CARATTERISTICHE LEICA RTC 360 | |
|--------------------------------|--|
| Range | 0,5-130 m |
| Velocità di misurazione | Fino a 2.000.000 punti/s |
| Risoluzione | 3/6/12 mm a 10 m |
| Accuratezza | 1,9 mm a 10 m |
| Macchina fotografica integrata | Sistema con 3 camere da 36 MP capace di catturare 432 MPx di dati grezzi per 360°x300° |
| Classe laser | 1 |
| Peso | 5,35 kg |
| Sensori di navigazione | GPS, bussola, altimetro, compensatore triassiale basato su IMU, VIS (Visual Inertial System) |
| Dimensioni scanner | 240x230x120 mm |
| Controllo scanner | Touchscreen, WLAN, Leica Cyclone FIELD 360 app |

Tabella 30: Caratteristiche laser scanner Leica RTC 360 (fonte: LEICA, *Leica RTC360 3D Laser Scanner*, <https://leica-geosystems.com/it-it/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>).

Lo strumento permette l'acquisizione di un elevato numero di informazioni spaziali a elevata precisione, permettendo inoltre la cattura del colore dei punti rilevati per mezzo della fotocamera integrata. Inoltre, grazie al sistema inerziale di compensazione su tre assi non è necessario eseguire la livellazione dello strumento.

Le impostazioni con cui è stato impostato in particolare sono state:

- Qualità: Media.
- Doppia scansione: No; questo legato alla mancanza di necessità di un doppio controllo per via della ridotta quantità di persone che potevano occupare lo spazio oggetto della scansione.
- Colore: Attivo.
- *Visual Inertial System*: Attivo (*Virtual SLAM*).

La peculiarità del sistema risiede nella possibilità di verificare sul campo la prosecuzione delle scansioni, oltre alla sovrapposizione attraverso un *Virtual SLAM* gestibile tramite app, per garantire una copertura efficace dell'intero manufatto in funzione della densità di punti rilevati.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

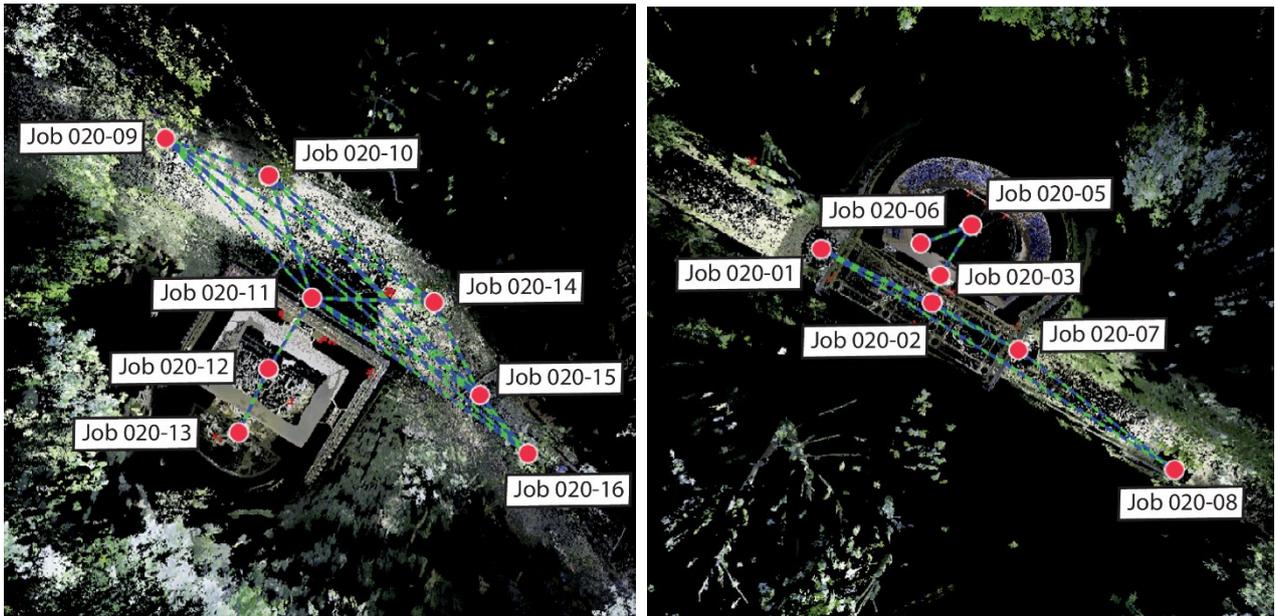


Figura 80: Acquisizioni per Cappella 10 (sinistra) e per Cappella 16 (destra).

5.4.2 Stonex X70GO

La seconda fase di acquisizione tramite *laser scanner* ha previsto l'esecuzione di scansioni con *mobile mapping systems* facendo uso dello Stonex X70GO, un *laser scanner* SLAM a navigazione inerziale con possibilità di eseguire acquisizioni statiche.

Il dispositivo permette la ricostruzione di modelli 3D in tempo reale tramite un modulo di navigazione inerziale. La sfera rotante a 360° combinata con l'algoritmo SLAM permette l'ottenimento di nuvole di precisione, inoltre la camera RGB a 12 MP fornisce colore ai punti del manufatto rilevato.

Il software *GOpost* permette di migliorare l'accuratezza delle scansioni oltre che di georeferenziarle tramite i punti di acquisizione statici ed eventualmente tramite il riconoscimento dei marker posizionati.

La tecnologia alla base non è dissimile dallo *scanner* statico Leica, ma le performance come si può notare dalla scheda tecnica sono differenti.

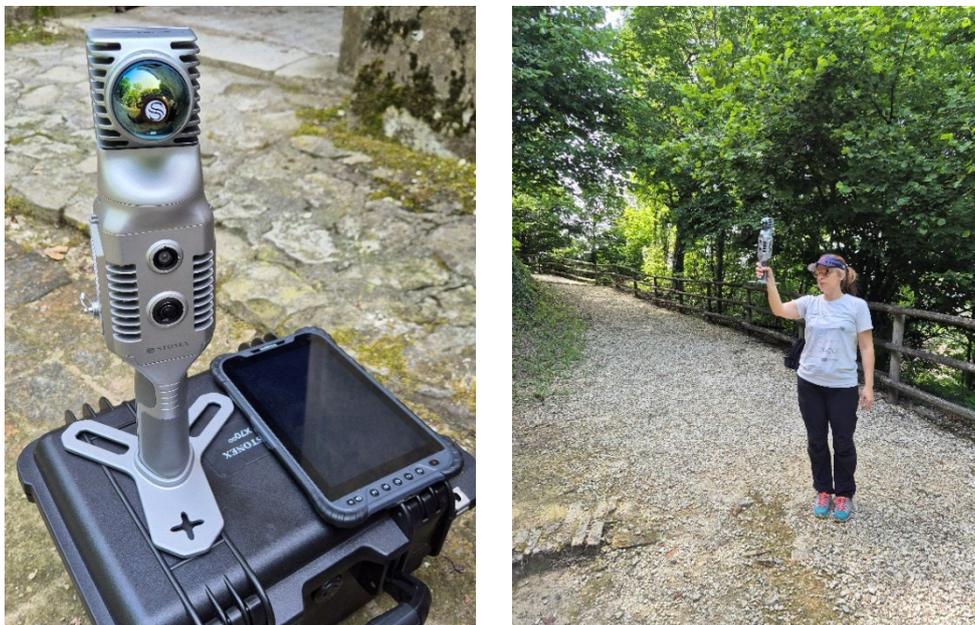


Figura 81: Laser scanner Stonex X70GO.

| CARATTERISTICHE STONEX X70GO | |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Range | 0,1-70 m |
| Velocità di misurazione | Fino a 200.000 punti/s |
| Accuratezza | 6 mm |
| Macchina fotografica integrata | 12 MPx con FOV 210° |
| Classe laser | 1 |
| Peso | 1,45 kg |
| Dimensioni scanner | 364.5x173.8x170 mm |
| Controllo scanner | Funzionamento via app GOapp |

Tabella 31: Caratteristiche laser scanner Stonex X70GO (fonte: STONEX, X70 GO, <https://www.stonex.it/it/project/x70go-slam-laser-scanner/>).

In particolare, si può osservare come il range e la velocità di misurazione siano complessivamente inferiori mentre l'accuratezza presentando valori superiori rende la scansione meno precisa.

5.4.3 ViDoc

Per concludere è stato utilizzato a completamento uno strumento ibrido nato dall'unione di un *laser scanner* e un sistema di acquisizione fotogrammetrico, il *viDoc*.

Si presenta come un modulo aggiuntivo collocabile come *cover* per lo *smartphone*, pensato e integrato ottimamente nell'ecosistema *Apple* tramite cover realizzate su misura per i più recenti modelli di *iPhone*.

Il modulo come si può notare nella figura [82] si compone di un *laser* frontale per misurazioni di precisione e una antenna GNSS per garantire la funzionalità RTK.

Il sistema collegandosi alla fotocamera del dispositivo su cui è allocato permette di ricostruire attraverso una tecnica ibrida una nuvola di punti. Il puntatore laser sottostante invece permette di acquisire punti statici facilmente integrabili nel processo di georeferenziazione.

Il dispositivo è stato utilizzato nel rilievo in questione anche per la produzione di fotogrammi che tramite tecniche fotogrammetriche possano essere elaborati al fine di ricostruire una nuvola di punti con un processo del tutto assimilabile a quello realizzato per la gestione delle immagini ricavate da fotogrammetria aerea da drone.



Figura 82: Modulo viDoc schematicizzato (fonte: VIDOC, *viDoc® Functionality*, <https://vidoc.com/en/vidoc/vidoc-functionality/>).



Figura 83: Interfaccia applicativo *viDoc* sul campo.

5.5 IL RILIEVO FOTOGRAMMETRICO

I rilievi fotogrammetrici hanno rappresentato un'importante svolta nel campo dell'acquisizione dati dei Beni Culturali in quanto, attraverso una tecnica di acquisizione relativamente economica, rapida e affidabile, oltre che controllabile, si possono ottenere grandi quantità di dati senza avere un contatto diretto con l'oggetto.

Le informazioni metriche, morfologiche, cromatiche e spaziali dei manufatti osservati oltre che dell'ambiente circostante vengono tradotte in forma grafica attraverso le nuvole di punti.

Il concetto alla base del funzionamento della tecnica si basa sui fondamenti di fotogrammetria, permettendo la definizione di un modello tridimensionale partendo da un minimo di due fotogrammi bidimensionali, assimilabili a prospettive centrali su cui è possibile effettuare misure di precisione.

Conoscendo l'esatta posizione della proiezione di un oggetto per ognuno dei fotogrammi considerati, oltre alla posizione dei punti di presa, il punto reale è individuabile come l'intersezione tra i raggi proiettati che congiungono i punti omologhi sui fotogrammi in funzione dei relativi centri di presa. Si concretizza quindi nella soluzione delle equazioni di collinearità.

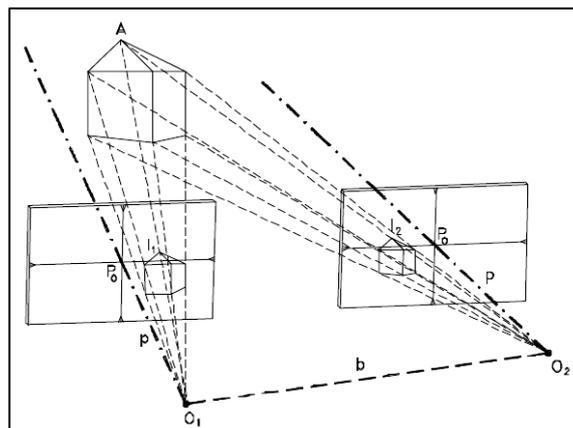


Figura 84: Rappresentazione del principio di collinearità (fonte: RILEVAMENTO FOTOGRAMMETRICO DELL'ARCHITETTURA A CURA DI ANGELO MARZOCCA, *Cenni storici sulla fotogrammetria*, http://rilievo.stereofot.it/studenti/aa04/marzocca/fotog/f_storia.htm).

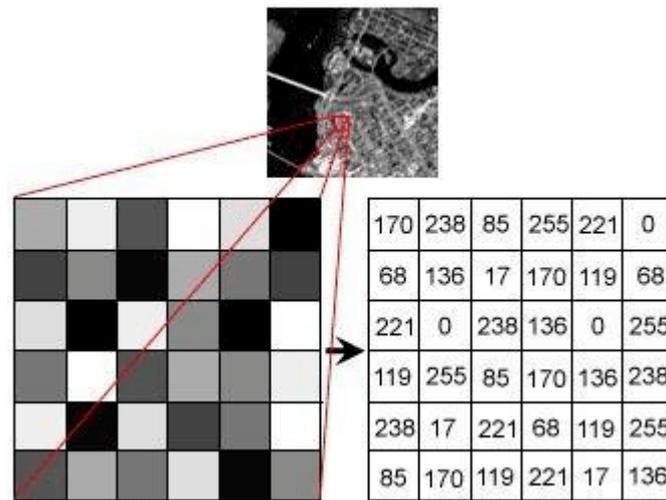


Figura 85: Immagine digitale e quantificazione matrice pixel (fonte: VAN RIELD S. 2016, *Exploring the use of 3D GIS as an analytical tool in archaeological excavation practice*).

Le immagini digitali si differenziano dalle fotografie tradizionali in quanto composte da una matrice di *pixel* che organizza l'informazione attraverso variabili spaziali ben definite basate su valori assegnati a ognuna delle celle della matrice in questione.

L'acquisizione delle immagini in particolare avviene tramite l'adozione di differenti tipologie di fotocamere, partendo dalle compatte fino alle *reflex* professionali, caratterizzate da una maggiore stabilità dell'immagine, oltre che da sensori (CCD o CMOS) e ottiche maggiormente indicate a un uso professionale delle stesse, con il compromesso di un prezzo di partenza superiore.

Gli algoritmi di *Structure from Motion*, tecnica di *range imaging* della *Computer Vision* per la stima di strutture tridimensionali partendo da fotogrammi bidimensionali, combinati a adeguati software in grado di gestire le quantità di dati coinvolte, hanno permesso lo sviluppo della fotogrammetria non convenzionale, non stereoscopica quindi, in grado di rendere più rapide e flessibili le fasi di acquisizione oltre che di automatizzare le fasi di orientamento dei fotogrammi e di restituzione.

Il principale vantaggio risiede proprio nella possibilità di effettuare foto del manufatto liberamente e senza vincoli relativi all'allineamento degli assi in funzione della superficie, garantendo il raddrizzamento delle immagini in funzione della posizione stimata e dei punti comuni. Gli assi delle fotocamere, infatti, possono essere convergenti al contrario della fotogrammetria tradizionale in cui è richiesta la presa normale alla superficie dell'oggetto.

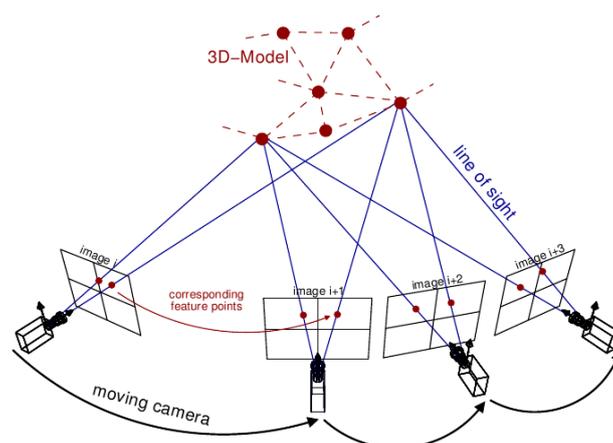


Figura 86: Rappresentazione del principio di funzionamento degli algoritmi di Structure from Motion (fonte: VAN RIELD S. 2016, *Exploring the use of 3D GIS as an analytical tool in archaeological excavation practice*).

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

5.5.1 Rilevamento tramite droni

Il prodotto degli algoritmi di *Structure from Motion*, che fondano le proprie basi sugli stessi principi teorici della fotogrammetria tradizionale, come la collinearità, l'intersezione di raggi proiettivi e la calibrazione delle fotocamere, è rappresentato dalla ricostruzione meccanica della geometria di presa in grado di correlare le immagini scattate tra loro al fine di elaborare la nuvola di punti.

La georeferenziazione della nuvola fotogrammetrica avviene attraverso specifici *software* e necessita, per una primaria localizzazione, di un rilievo topografico su cui basarsi.

La fotogrammetria può però non essere limitata ai mezzi terrestri ma è possibile abbinarla a sistemi aerei per ottenere immagini nadirali o da prospettive difficili da ottenere diversamente. Per ottenerne si può far utilizzo degli UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) anche noti in europa come UAS (*Unmanned Aircraft System*), mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo, comunemente conosciuti come droni.

Tali strumenti permettono di ottenere rilievi altamente affidabili con un costo relativamente contenuto, adoperando camere digitali compatte a elevata risoluzione e riducendo drasticamente la quota di volo in confronto ai rilievi fotogrammetrici tradizionali aerei realizzati attraverso il volo di mezzi aerei con controllo umano a bordo, come aeromobili ad ala fissa o elicotteri.

L'applicazione di tali sistemi è particolarmente indicata nei contesti fragili o in cui la presenza di operatori fisici sul posto sia particolarmente pericolosa, come nei settori archeologici, paesaggistici e architettonici.

La classificazione degli UAS è stata aggiornata a partire dal 01/01/2024 attraverso l'applicazione del Regolamento Delegato (UE) 2019/945 oltre che del Regolamento di Esecuzione (UE) 2019/947, prevedendo due principali macrocategorie di utilizzo:

- Aperto: con applicabilità ristretta da specifiche norme, prevede sempre droni dalla massa inferiore ai 25 kg e comunque non in prossimità di aree popolate.
- Specifico: propone un cambio di paradigma consentendo l'uso di UAS anche considerevolmente variabili, con più ampi casi operativi concessi, che prevedano l'uso di droni con massa superiore ai 25 kg o anche al di sopra di aree densamente popolate; la valutazione del rischio dell'operazione in funzione della metodologia SORA (*Specific Operation Risk Assessment*).

| Categoria | Sottocategoria | Classe Tipo di drone ¹ | Caratteristiche operative | Formazione dei piloti | Registrazione dell'operatore | ID remoto ³ | Regole di volo | Altezza di volo |
|-----------|----------------------|--|--|-------------------------------|--|----------------------------|----------------|-----------------|
| APERTO | A1 | Classe C0 (< 250 gr) | Su persone non coinvolte, ma mai su assemblee di persone | Consigliato, ma non richiesto | Solo quando l'UAS è in grado di catturare dati personali (ad esempio video, audio) | Non richiesto ⁴ | VLOS | Max 120 m |
| | | Legacy ² / costruito privatamente < 250 gr | | | | Non richiesto ⁴ | | |
| | Classe C1 (< 900 gr) | Non sopra persone non coinvolte, ma se accade accidentalmente, il pilota deve allontanarsi dalle persone non appena ragionevolmente possibile. | Richiesto: A1/A3 | Richiesto | | | | |
| A2 | Classe C2 (< 4 kg) | regola 1:1 (altezza di volo verticale - distanza orizzontale minima dalle persone non coinvolte), ma sempre a una distanza orizzontale di almeno 30 metri dalle persone non coinvolte. | Richiesto: A1/A3 + A2 | Richiesto | Richiesto | | | |

| | A3 | Classe C3 (< 25 kg) | A una distanza orizzontale minima di 150 metri da aree residenziali, commerciali, industriali o ricreative | Richiesto: A1/A3 | | Richiesto | | |
|-----------|----------|--|--|--|-----------|----------------------------|-------|--|
| | | Classe C4 (< 25 kg) | | | | Non richiesto ⁴ | | |
| | | Legacy ² / costruito privatamente > 250 gr ma < 25 kg | | | | Non richiesto | | |
| SPECIFICO | STS-01 | Classe 5 (<25 kg) | Su un'area controllata a terra che può essere situata in una zona popolata. | Richiesto: STS-01 | Richiesto | Richiesto ⁵ | VLOS | Max 120 m |
| | STS-02 | Classe 6 (<25 kg) | Su un'area controllata situata interamente in una zona scarsamente popolata e fino a una distanza massima di 1 km dal pilota remoto (2 km con osservatori dello spazio aereo). | Richiesto: STS-02 | | | BVLOS | Max 120 m |
| | PDRA-S01 | Dimensione UA < 3 m | Su un'area controllata a terra che può essere situata in una zona popolata | Richiesto: Equivalente a STS-01 | | | VLOS | Max 120 m (150 m con requisiti aggiuntivi) |
| | PDRA-S02 | Dimensione UA < 3 m UA MTOM < 25 kg | Su un terreno controllato che si trova interamente in un'area scarsamente popolata e fino a una distanza massima di 1 km dal pilota remoto (2 km con gli osservatori dello spazio aereo) | Richiesto: Equivalente a STS-02 | | | BVLOS | Max 120 m (150 m con requisiti aggiuntivi) |
| | PDRA-G01 | Dimensione UA < 3 m Energia d'impatto < 34 kJ | Su un'area scarsamente popolata e fino a una distanza massima di 1 km dal pilota remoto (nessun limite di distanza con l'autorizzazione dello spazio aereo, ma mai più di 1 km dall'osservatore dello spazio aereo più vicino) | Richiesto: In conformità alla norma UAS.SPEC.050 | | | BVLOS | Max 120 m (150 m con requisiti aggiuntivi) |
| | PDRA-G02 | Dimensione UA < 3 m Energia d'impatto < 34 kJ | Su un'area scarsamente popolata e in uno spazio aereo riservato o segregato per l'operazione UAS | Richiesto: In conformità alla norma UAS.SPEC.050 | | | BVLOS | Nello spazio aereo riservato o segregato |
| | PDRA-G03 | Dimensione UA < 3 m Energia d'impatto < 34 kJ | Su un'area scarsamente popolata e in uno spazio aereo atipico (ad esempio, max 30 m sopra gli ostacoli la cui altezza è inferiore a 20 m o max 15 m sopra gli ostacoli la cui altezza è superiore a 20 m) | Richiesto: In conformità alla norma UAS.SPEC.050 | | | BVLOS | Nello spazio aereo atipico |

Tabella 32: Classificazione UAS (fonte: EUDRONE PORT, *Sintesi Drone Open e Specifica per il 2024*, <https://eudroneport.com/it/blog-it/easa-aperto-e-specifico/>).

Nel rilievo in questione è stato fatto uso di due principali tipologie di droni:

- UAS A1-C0 (Micro UAV): dal peso inferiore ai 250 g e dalle ridotte velocità, è solo consentito il volo a vista lontano dalle aree abitate, ma non è richiesto alcun patentino per l'uso.
- UAS A1-C1 (Micro UAV): dal peso inferiore ai 900 g e dalle velocità contenute, è consentito il volo a vista evitando gli assembramenti di persone, ma è richiesto il patentino A1/A3.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

Le acquisizioni al Sacro Monte di Crea sono state svolte a due scale:

1. Scala generale: per l'acquisizione del sacro monte con una scala inferiore, tale da permettere la ricostruzione territoriale del sito e dei suoi dislivelli, è stato adoperato il DJI Mavic 3M, è un drone con fotocamere multispettrali, da noi non utilizzate, ma particolarmente indicate per classificare le immagini acquisite in funzione dello spettro elettromagnetico emesso. A causa dei sensori e dei sistemi a bordo del drone il suo peso supera, seppur di poco la classificazione UAS A1-C1 e rientrerebbe nella classificazione UAS A2-C2, per cui è richiesto il patentino A2.



Figura 87: DJI Mavic 3M con controller.

| | |
|------------------------------|--|
| Tipologia fotocamera | RGB compatta |
| Sensore | CMOS 4/3 |
| Pixel effettivi | 20 MP |
| Sensibilità | ISO 100-6400 |
| Stabilizzatore | Meccanico a 3 assi |
| FOV | 84° |
| Lunghezza focale equivalente | 24 mm |
| Apertura | f/2.8 – f/11 |
| Messa a fuoco | 1 m - ∞ |
| Velocità otturatore | Elettronico: 8-1/8000 s Meccanico: 8-1/2000 s |
| Dimensione massima immagine | 5280x3956 |
| Modalità foto | Scatto singolo: 20 MP Timelapse: 20 MP JPEG: 0.7/1/2/3/5/7/10/15/20/30/60 s JPEG + RAW: 3/5/7/10/15/20/30/60 s Panorama: 20 MP (materiale originale) |
| Risoluzione video | H.264: 4K: 3840×2160 a 30 fps FHD: 1920×1080@ a 30 fps |
| Bit-rate video (max) | 4K: 130 Mb/s Full HD 70 Mb/s |
| File system supportati | ExFAT |
| Formato immagine | JPEG/DNG (RAW) |
| Formato video | MP4 (MPEG-4 AVC/H.264) |
| Peso netto | 951 g (>900 g di classe A1-C1) |
| Batteria | 5000 mAh |
| Dimensioni | Richiuso (senza eliche) 223×96,3×122,2 mm (Lunghezza×Larghezza×Altezza) Aperto (senza eliche) 347,5×283×139,6 mm (Lunghezza×Larghezza×Altezza) |

Tabella 33: Specifiche tecniche DJI Mavic 3M (fonte: DJI AGRICOLTURE, *DJI Mavic 3M*, <https://ag.dji.com/it/mavic-3-m>).



Figura 88: DJI Mavic 3M in volo.

2. Scala locale: per l'acquisizione delle Cappelle, in particolare delle coperture e delle porzioni più elevate delle facciate, è stato fatto uso di droni più compatti, più adeguati all'uso in spazi ristretti e ricchi di vegetazione, sono stati adoperati i **DJI Mini 3 PRO**, classificabili come UAS A1-C0, sono estremamente versatili e dalle adeguate durate di volo.

Figura 89: DJI Mini 3 PRO in volo sul campo (sinistra) e vista di dettaglio (fonte: TECHCRUNCH, *DJI's new Mini 3 Pro drone hits the aerial photography sweet spot*, <https://techcrunch.com/wp-content/uploads/2022/05/DJI-Mini-3-Pro-02.jpg>).

| | |
|------------------------------|---|
| Tipologia fotocamera | RGB compatta |
| Sensore | CMOS 1/1.3" |
| Pixel effettivi | 48 MP |
| Sensibilità | ISO 100-3200 |
| Stabilizzatore | Meccanico a 3 assi |
| FOV | 82,1° |
| Lunghezza focale equivalente | 24 mm |
| Apertura | f/1.7 |
| Messa a fuoco | 1 m - ∞ |
| Velocità otturatore | Elettronico: 2-1/8000 s |
| Dimensione massima immagine | 8064x6048 |
| Modalità foto | Scatto singolo: 12 MP 48 MP: 48 MP A tempo: 12 MP JPEG: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s JPEG + RAW: 5/7/10/15/20/30/60 s Bracketing automatico dell'esposizione (AEB): 12 MP, 3 fotogrammi a 2/3 step EV Panorama: Sfera, 180°, Grandangolo HDR: La modalità Scatto singolo supporta l'output di immagini in HDR. |

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

| | |
|------------------------|---|
| Risoluzione video | 4K: 3840×2160 a 24/25/30 fps 2.7K: 2688×1512 a 24/25/30/48/50/60 fps FHD: 1920×1080 a 24/25/30/48/50/60 fps HDR: La registrazione con frame rate a 24/25/30fps supporta l'esportazione di immagini in HDR. |
| Bit-rate video (max) | Aeromobile + Radiocomando: 18 Mb/s |
| File system supportati | FAT32 (≤ 32 GB) exFAT (> 32 GB) |
| Formato immagine | JPEG/DNG (RAW) |
| Formato video | MP4 (H.264) |
| Peso netto | 249 g |
| Batteria | 2453 o 3850 mAh |
| Dimensioni | Richiuso: 145×90×62 mm Aperto: 171×245×62 mm Aperto (con eliche): 251×362×70 mm |

Tabella 34: Specifiche tecniche DJI Mini 3 PRO (fonte: DJI, *DJI MINI 3 PRO*, https://www.dji-store.it/categoria/droni-con-fotocamera/dji-mini/dji-mini-3-pro/?srsltid=AfmBOorGqIHxlrp1LZ00VOH7bK70UJ4_xnXzeR7IA3zLd5-8f8coR9m9).

Al fine di ottimizzare l'elaborazione successiva dei fotogrammi acquisiti deve essere opportunamente progettata la traiettoria di volo e l'intervallo di scatto attraverso una missione di volo. La variabilità e l'eventuale automazione sono originate dalla differenza nella strumentazione coinvolta oltre che dalle condizioni al sito.

Nel caso del rilievo alla scala generale sono state impostate delle missioni di volo con prese automatizzate tramite strisciate rettilinee definite all'interno di un'area preimpostata.

Sono state programmate in particolare due missioni di volo nadirali con direzioni perpendicolari tra loro e due missioni di volo a fotocamera obliqua, anch'esse perpendicolari tra loro. Questo ha garantito la presa non solo nadirale, ovvero perpendicolare alla superficie terrestre, ma anche obliqua per una più precisa ed efficace ricostruzione del territorio.

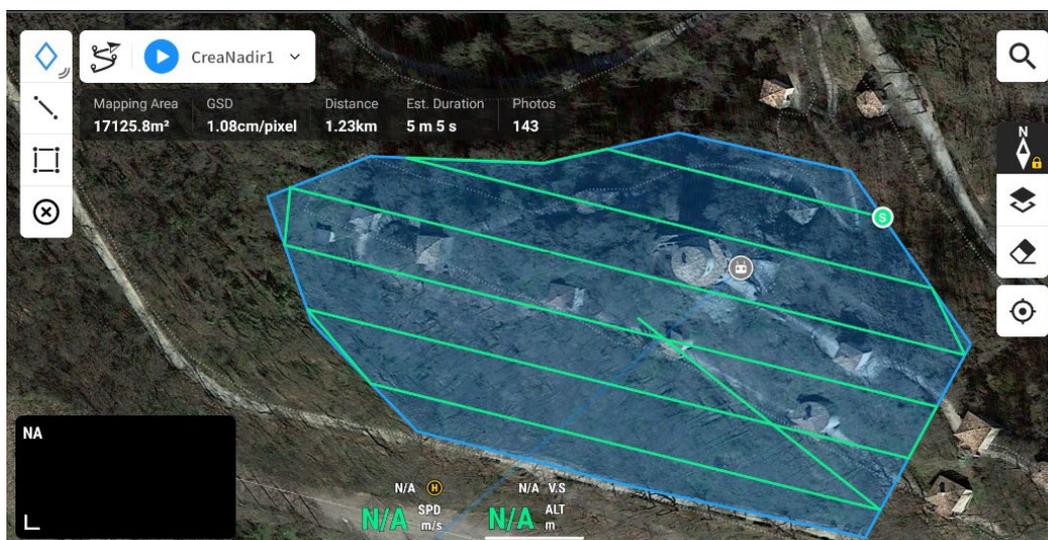


Figura 90: Prima missione di volo nadirale.

Come è possibile osservare dalla figura [90] l'area del tracciato considerato comprende l'area circostante la Cappella 23 del Paradiso includendo le Cappelle 10, a nord, e 16, a sud, per una superficie complessiva coperta pari a 17125,8 m².

La *Ground Sampling Distance*, GSD, ovvero la distanza di campionamento impostata per la presa nadirale del sito è stata portata a 1,08 cm/pixel, mentre l'altezza di volo è stata impostata a 40 m a partire dal punto di decollo, già in posizione sopraelevata a partire proprio dalla Cappella del Paradiso, con un'altitudine di sicurezza da decollo, la *Safe Takeoff Altitude*, pari a 20 m.

La velocità di volo è stata impostata a 4 m/s, mentre sono stati definiti i seguenti parametri per quanto riguarda la sovrapposizione tra i fotogrammi:

- *Target Surface to Takeoff Point*: 0 m;
- *Side Overlap Ratio*, la sovrapposizione laterale tra i fotogrammi: 70%;
- *Frontal Overlap Ratio*, la sovrapposizione frontale tra i fotogrammi: 80%;
- *Margin*: 0 m.

Durante la prima missione il *Course Angle*, l'angolo di rotta, è stato impostato a 284°, mentre durante la seconda missione perpendicolare a 194°.



Figura 91: Seconda missione di volo nadirale.

Le campagne di volo oblique sfruttano la fotocamera obliqua che garantisce una *Oblique GSD* pari a 1,52 cm/pixel, con un'inclinazione della *gimbal*, lo stabilizzatore della fotocamera, pari a 45°.



Figura 92: Prima missione di volo obliquo.

L'elaborazione dei fotogrammi ricavati da questa campagna a scala inferiore è di essenziale importanza per ricavare informazioni topografiche e geomorfologiche sul territorio del Sacro Monte, di considerevole complessità, data la sua conformazione, e difficoltà di accesso alle aree non attrezzate a sentiero da parte dell'Ente Parco.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE



Figura 93: Seconda missione di volo obliquo.

Per la realizzazione della campagna di rilievo alla scala locale invece le condizioni al sito non hanno permesso un'automazione del processo, che è stato svolto tramite volo a vista manuale programmando lo scatto fotografico attraverso la definizione esclusivamente di un intervallo di tempo di riferimento.

In questo modo è stato possibile accedere anche aree difficoltose in cui un volo automatizzato non sarebbe stato in grado di operare.



Figura 94: DJI Mini 3 PRO utilizzato nel rilievo della Cappella 16.

5.5.2 Rilievamento tramite Stonex XVS

Insieme alla fotogrammetria aerea nella campagna di rilievo sono stati applicati anche sistemi innovativi basati sull'identificazione dei punti nello spazio, non dissimile dal *laser scanner*, ma tramite riconoscimento fotogrammetrico.

Lo Stonex XVS è lo strumento in questione, denominato dall'azienda produttrice come "*Visual SLAM*", integra immagini ad alta risoluzione con un sistema inerziale per il riconoscimento della posizione in tempo reale, aggiornata e visualizzabile sull'applicativo connesso. Il sistema fornisce inoltre informazioni in merito alla qualità della scansione e informa l'operatore circa la necessità di tornare su una determinata area per completare la scansione o arricchirla di dettagli.



Figura 95: Stonex XVS.

La sua applicazione in sito è stata parzialmente penalizzata dalle scarse condizioni di luminosità interne, una criticità dell'apparecchio che non è dotato di una torcia installata frontalmente, sufficiente a ovviare al problema.

PERFORMANCE

| | |
|---|-------------------|
| Portata minima | 0,4 m |
| Portata massima | 40 m |
| Accuratezza traiettoria (in postprocessing) | 4 mm ¹ |
| Accuratezza relativa @1m | 3 mm ¹ |
| Accuratezza relativa @20m | 2 cm ¹ |

IMMAGINE

| | |
|---------------------------------|----------------|
| Camera vSLAM - Risoluzione | 640 x 480 px |
| Camera vSLAM - FOV | 65° |
| Camera vSLAM - Freq. fotogrammi | 25 fps |
| Camera RGB - Risoluzione | 2448 x 2048 px |
| Camera RGB - FOV | 89° |
| Camera RGB - Freq. fotogrammi | 10 fps |
| Camera RGB - Sensore otturatore | Globale |

SISTEMA

| | |
|--------------------------------|--|
| IMU | 3x3x3 - Giroscopio, magnetometro e accelerometro |
| Comunicazione ed alimentazione | USB-C 3.0 |

SPECIFICHE ELETTRICHE

| | |
|--------------------|------------------|
| Voltaggio | 5V (tramite USB) |
| Consumo energetico | Max 4W |

SPECIFICHE FISICHE

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Peso | 740 g |
| Peso totale valigia | 5 kg |
| Dimensioni (Lunghezza x Diametro) | 151 mm x 120 mm |
| Temperatura operativa | 0° C to +40° C |

¹ Dipende dall'ambiente. L'ambiente interno deve essere ben illuminato e avere pareti non omogenee. Le superfici riflettenti devono essere evitate.

Tabella 35: Scheda tecnica Stonex XVS (fonte: STONEX, XVS, <https://www.stonex.it/it/project/xvs-vslam-3d-scanner/>).

Lo strumento è stato applicato in campo per rilevare i dettagli degli apparati statuari delle Cappelle 10 e 16, permettendone un'osservazione di dettaglio da vicino e con una migliore resa cromatica del risultato finale.

5.5.3 Rilevamento tramite fotocamera 360°

L'ultimo strumento utilizzato per il rilievo fotogrammetrico è una fotocamera a 360°, la Insta360 ONE RS-1.

La camera in questione è stata utilizzata per campionare l'intero sito da terra realizzando foto e video a 360°, non solo per avere una rappresentazione dei percorsi caratteristici del Sacro Monte per future indagini, ma anche per poter ricostruire tramite elaborazione fotogrammetrica dei fotogrammi sferici ottenuti la geometria dei sentieri. Lo strumento infatti è stato applicato per registrare tutti i percorsi in cui sono stati posizionati marker e target, partendo dalla Cappella 23 del Paradiso fino alla Cappella 10.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE



Figura 96: Insta360 ONE RS-1 (fonte: INSTA360, *Insta360 ONE RS*, <https://www.insta360.com/it/product/insta360-oners/1inch-360>).

5.6 IL RILIEVO FOTOGRAFICO

La valutazione dello stato attuale di conservazione dei manufatti ha previsto inoltre lo svolgimento di una campagna di rilievo fotografico per la catalogazione delle informazioni visivamente osservabili.

La metodologia è stata trattata con accuratezza catalogando le Cappelle e le immagini scattate secondo una convenzione compatibile con la piattaforma *4MAIN10ANCE*, indicando informazioni in merito agli scatti che ne permettano una riproducibilità a condizione di avere medesime condizioni in sito.

Per realizzare ciò è stata utilizzata di una macchina fotografica *reflex* Nikon D5600 con obiettivo AF-S DX NIKKOR 18-140mm f/3.5-5.6G ED VR.



Figura 97: Nikon D5600 (fonte: NIKON, https://www.nikon.it/it_IT/product/cameras/d5600).

| | |
|---------------------------|--|
| Tipo | Fotocamera <i>reflex</i> con ottiche intercambiabili |
| Sensore | CMOS-APS-C (23,5x15,6 mm) |
| Risoluzione | 24 MP |
| Sensibilità | 100-25600 ISO |
| Stabilizzazione | No |
| Tempi di scatto | 30'' – 1/4000 |
| Compensazione esposizione | ±5 EV con passi di 1/3 EV e ½ EV |
| Batteria | EN-EL14a ioni di litio |
| Peso | 465 g |
| Dimensioni | 124 x 97 x 70 mm |

Tabella 36: Caratteristiche fotocamera Nikon D5600 (fonte: NIKON, https://www.nikon.it/it_IT/product/cameras/d5600).

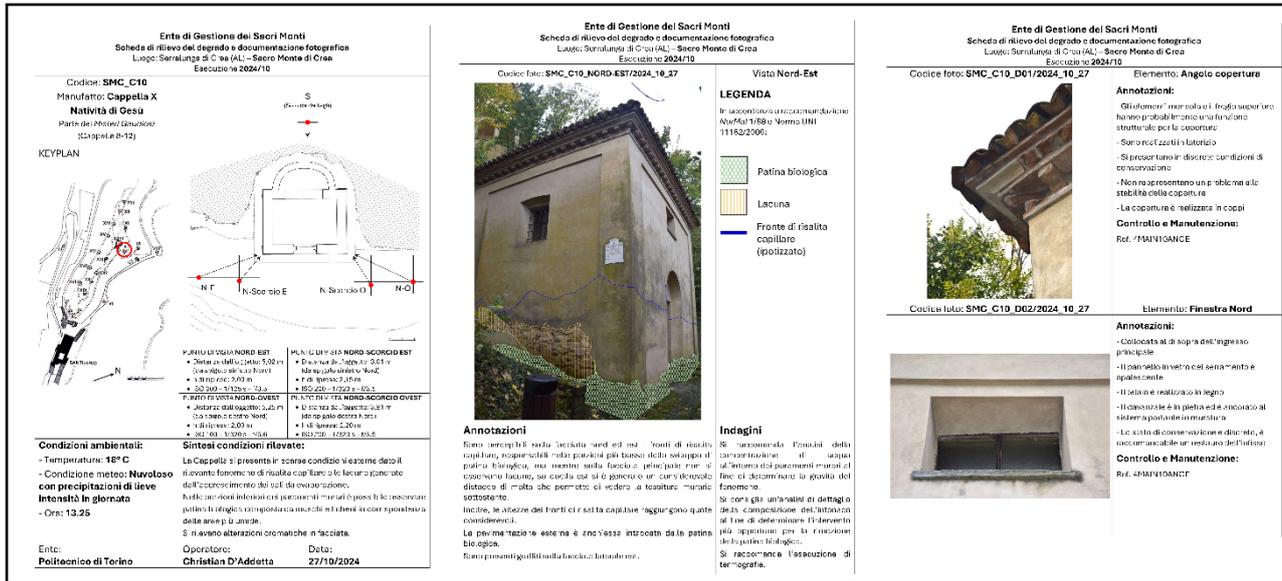


Figura 98: Schede di rilievo fotografico.

Le informazioni sono state raccolte in apposite schede realizzate in modo tale da garantirne l'usabilità, come modello, nei più diversificati contesti di applicazione, con riferimento prettamente al rilievo degli esterni dei manufatti.

5.7 ELABORAZIONE DATI

La campagna di rilievo ha permesso di ottenere i dati necessari alla corretta rappresentazione dei manufatti oggetti dell'analisi attraverso un rilievo topografico, LIDAR, fotogrammetrico oltre che fotografico.

Questi dati così ottenuti però necessitano di una successiva elaborazione al fine di ottenere la rappresentazione idonea al suo utilizzo, composta da nuvole di punti opportunamente georeferenziate relative ai soli elementi di interesse.

L'utilizzo delle tecniche LIDAR e fotogrammetriche permette di ottenere una considerevole quantità di informazioni, la cui attendibilità però risulta variabile in funzione della possibilità dello strumento di rilevare determinate sezioni, oltre che di possibili interferenze dettate dal passaggio di persone o della presenza della vegetazione.

L'elaborazione svolta nella Tesi di Laurea Magistrale è stata focalizzata sulla produzione delle nuvole attraverso strumenti eterogenei per ottenere un prodotto finale relativo ai casi studio di interesse, le Cappelle 10 e 16, corretto e con precisioni tali da poter essere implementato nella modellazione dei manufatti alla scala 1:100.

Si riportano nei seguenti paragrafi le elaborazioni svolte.

5.7.1 ELABORAZIONE DEL RILIEVO TOPOGRAFICO

I vertici rilevati tramite la Stazione Totale e gli strumenti GPS/GNSS e RTK forniscono coordinate relative al datum WGS84, in particolare per il fuso 32N. Sono coordinate ellissoidiche composte quindi da Latitudine, Longitudine e Quota Ellissoidica.

Il dato ellissoidico deve essere convertito in un dato altimetrico con riferimento al geode, la superficie equipotenziale che rappresenta più accuratamente la forma della Terra. Per tale ragione la Quota Ellissoidica è stata trasformata in Quota Ortometrica o Geoidica, indice dell'altezza di un punto rispetto al livello medio del mare.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

Attraverso il *software StarNet* è stata realizzata la compensazione della rete topografica attraverso il metodo statistico dei minimi quadrati, permettendo di ottenere le corrette coordinate dei vertici tenendo conto della propagazione degli errori.

Il *software* restituisce la rete rappresentata attraverso uno schema con le relative ellissi d'errore oltre al *file* contenente le coordinate compensate di tutti i punti acquisiti durante il rilievo topografico, essenziale al fine di realizzare una corretta georeferenziazione delle nuvole di punti.

Si riportano le reti topografiche con le corrispettive ellissi di errore e uno stralcio della tabella contenente le coordinate compensate dei vertici con gli scarti quadratici medi. Le ellissi di errore presentano un *exaggeration factor* di 100, per facilitarne la visualizzazione.

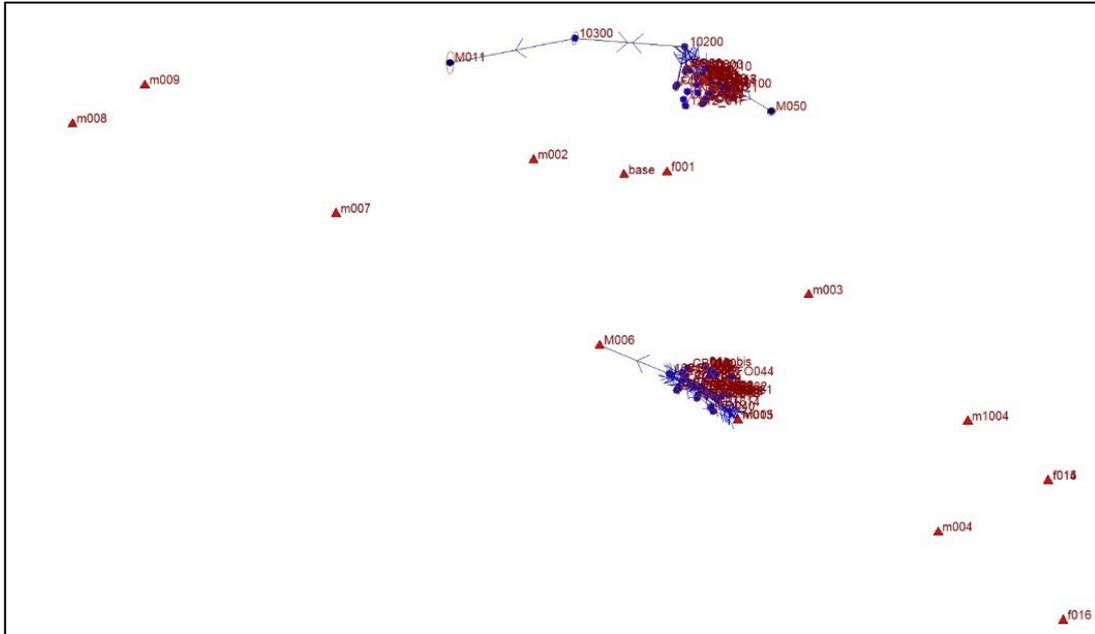


Figura 99: Rete rilievo topografico complessiva.

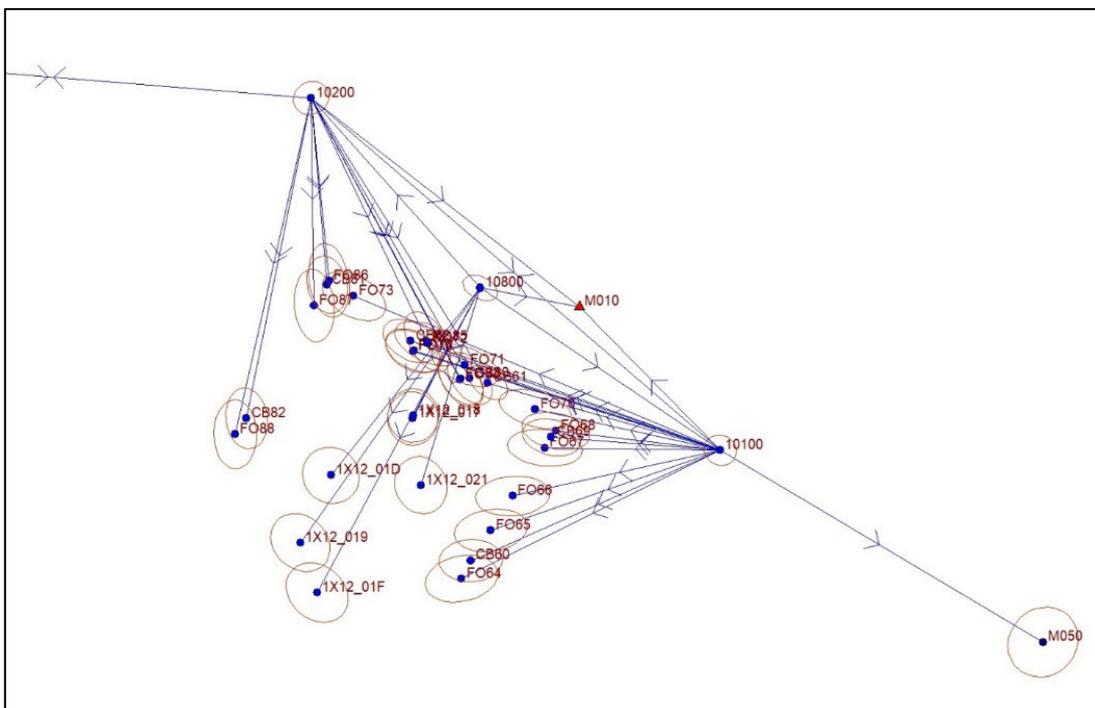


Figura 100: Rete rilievo topografico Cappella 10.

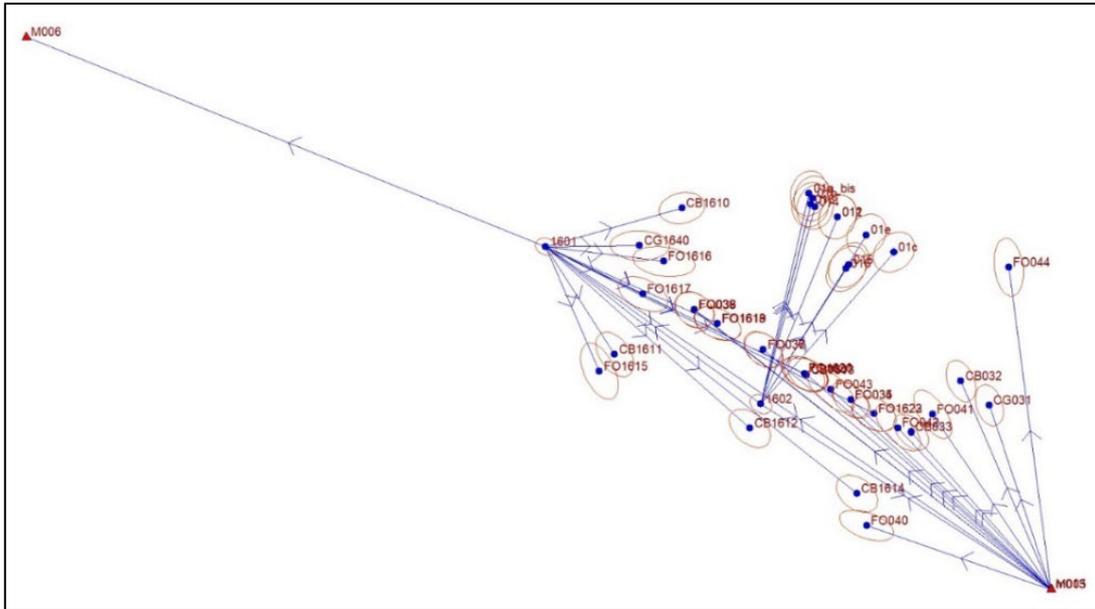


Figura 101: Rete rilievo topografico Cappella 16.

| Punti di stazione | Direzione | Coordinate compensate [m] | S.Q.M. [m] |
|-------------------|-----------|---------------------------|------------|
| base (1000) | N | 4993788.3050 | 0 |
| | E | 442788.1070 | 0 |
| | Elev | 444.5700 | 0 |
| f001 | N | 4993788.8550 | 0 |
| | E | 442797.2440 | 0 |
| | Elev | 440.8210 | 0 |
| m002 | N | 4993791.5130 | 0 |
| | E | 442768.8170 | 0 |
| | Elev | 442.4810 | 0 |
| m003 | N | 4993762.5620 | 0 |
| | E | 442827.4510 | 0 |
| | Elev | 435.3420 | 0 |
| m1004 | N | 4993735.4120 | 0 |
| | E | 442861.3710 | 0 |
| | Elev | 431.2840 | 0 |
| f015 | N | 4993722.6580 | 0 |
| | E | 442878.5180 | 0 |
| | Elev | 432.0740 | 0 |
| f0014 | N | 4993722.6720 | 0 |
| | E | 442878.4880 | 0 |
| | Elev | 432.0750 | 0 |
| m004 | N | 4993711.5790 | 0 |
| | E | 442855.0630 | 0 |
| | Elev | 421.4870 | 0 |
| M005 | N | 4993735.6670 | 0 |
| | E | 442812.3610 | 0 |
| | Elev | 421.6700 | 0 |
| M006 | N | 4993751.6830 | 0 |
| | E | 442782.8719 | 0 |
| | Elev | 424.0742 | 0 |
| m007 | N | 4993779.9590 | 0 |
| | E | 442726.7240 | 0 |
| | Elev | 431.0760 | 0 |

| | | | |
|-------|------|--------------|----------|
| m008 | N | 4993799.2280 | 0 |
| | E | 442670.5150 | 0 |
| | Elev | 435.1660 | 0 |
| m009 | N | 4993807.5370 | 0 |
| | E | 442685.9620 | 0 |
| | Elev | 435.6150 | 0 |
| M010 | N | 4993810.4030 | 0 |
| | E | 442807.8440 | 0 |
| | Elev | 424.1710 | 0 |
| M011 | N | 4993812.3651 | 0.009916 |
| | E | 442751.0471 | 0.003307 |
| | Elev | 431.0401 | 0.005838 |
| M050 | N | 4993801.8930 | 0.003629 |
| | E | 442819.5267 | 0.003616 |
| | Elev | 421.3083 | 0.004618 |
| f016 | N | 4993692.6980 | 0 |
| | E | 442881.6730 | 0 |
| | Elev | 417.4500 | 0 |
| 1601 | N | 4993745.6093 | 0.001033 |
| | E | 442797.8169 | 0.001218 |
| | Elev | 422.5631 | 0.002121 |
| 1602 | N | 4993741.0400 | 0.001134 |
| | E | 442804.0042 | 0.001292 |
| | Elev | 422.3512 | 0.002348 |
| 10100 | N | 4993806.7635 | 0.001567 |
| | E | 442811.3901 | 0.001677 |
| | Elev | 423.8652 | 0.002658 |
| 10200 | N | 4993815.6946 | 0.001718 |
| | E | 442801.0825 | 0.001844 |
| | Elev | 424.7728 | 0.002671 |
| 10300 | N | 4993817.5890 | 0.005444 |
| | E | 442777.6417 | 0.002702 |
| | Elev | 428.0977 | 0.004008 |
| 10800 | N | 4993810.8774 | 0.001333 |
| | E | 442805.3452 | 0.001769 |
| | Elev | 424.2055 | 0.002687 |

Tabella 37: Coordinate compensate e S.Q.M. della campagna di rilievo.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

I valori osservabili in tabella relativi agli scarti quadratici medi sono nulli per i punti di cui si siano determinate le coordinate tramite GPS, non necessitando quindi di una valutazione relativa in funzione di altri punti di coordinate note, in particolare i punti della rete di raffittimento in generale presentano caratteristici valori di S.Q.M.

5.7.2 ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI DAL LASER SCANNER LEICA RTC 360

La generazione della nuvola di punti ottenuta dal *laser scanner* Leica RTC 360 avviene tramite l'utilizzo del software di elaborazione *Leica Cyclone Register 360 PLUS*. La gestione delle scansioni è stata complessivamente facilitata dalla qualità delle scansioni realizzate, sufficiente ma non eccessivamente onerosa in termini di risorse di sistema.

Sono state elaborate le scansioni effettuate per le due Cappelle 10 e 16 al fine di ottenere nuvole di punti dall'elevata precisione e ridotto grado di deformazione.

Per prima cosa sono stati importati i dati relativi alle scansioni nel programma, per la Cappella 10 le scansioni appartenenti al Job 020, in particolare la 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16; mentre per la Cappella 16 le scansioni sempre appartenenti al Job 020, in particolare la 01, 02, 03, 05, 06, 07, 08.

Software Leica Cyclone Register 360 PLUS

Il software *Leica Cyclone Register 360 PLUS* permette la gestione delle scansioni ottenute da Leica BLK 360 (*G1* e *standard*), BLK2GO (*Pulse* e *standard*), BLK2FLY, BLK ARC, FIELD 360.

L'ampio spettro di utilizzo e la facilità di importazione e gestione delle nuvole lo rendono uno strumento prezioso al fine di ottenere velocemente nuvole di punti georeferenziate e a elevata precisione, contribuendo all'allineamento reciproco delle stesse.

Il primo passaggio prevede l'importazione delle scansioni, è sufficiente effettuare un *drag and drop* dei file necessari e questi verranno visualizzati a schermo.

Tipicamente i file tendono a collocarsi nelle vicinanze, ma è difficile il software riconosca autonomamente la contiguità di differenti scansioni, per tale ragione è essenziale effettuare un primo allineamento manuale per verificare la sovrapposizione delle scansioni e la robustezza dei collegamenti tra di esse.

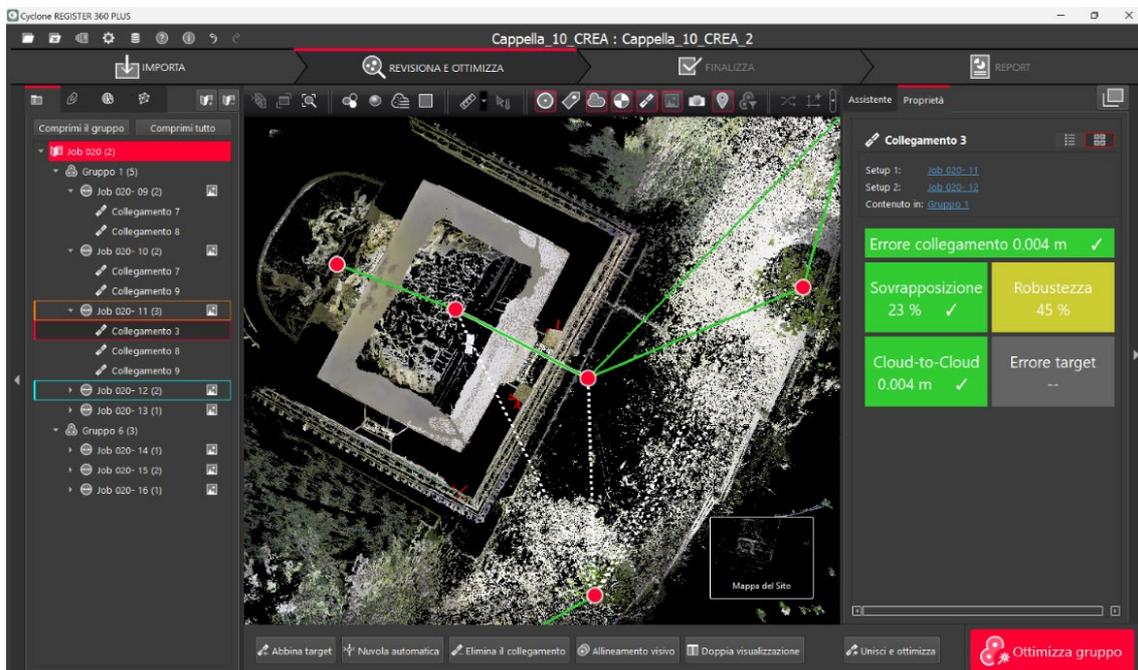


Figura 102: Interfaccia del sistema con l'esecuzione parziale della fase di allineamento.

Com'è possibile notare dalla figura [102] il programma suggerisce possibili collegamenti tra le nuvole in funzione degli elementi comuni, ma è necessario verificarne la robustezza, in quanto, se particolarmente lontani tra loro, si ridurrà così come il grado di sovrapposizione raggiungendo valori non sufficienti.

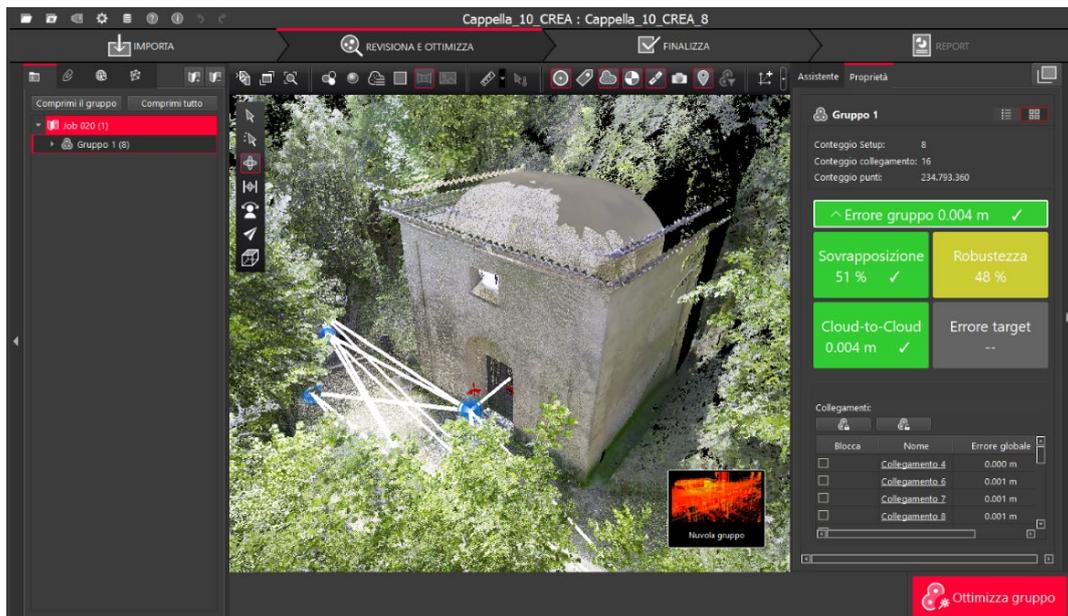


Figura 103: Cappella 10 con scansioni allineate.

Una volta verificata la sovrapposizione è essenziale ottenere valori di errore di collegamento inferiori al centimetro, preferibilmente al di sotto dei 5 mm. Se la condizione media per l'intero gruppo di interesse risulta essere soddisfatta si può procedere all'ottimizzazione, che può eventualmente facilitare la procedura stessa di riduzione dell'errore.

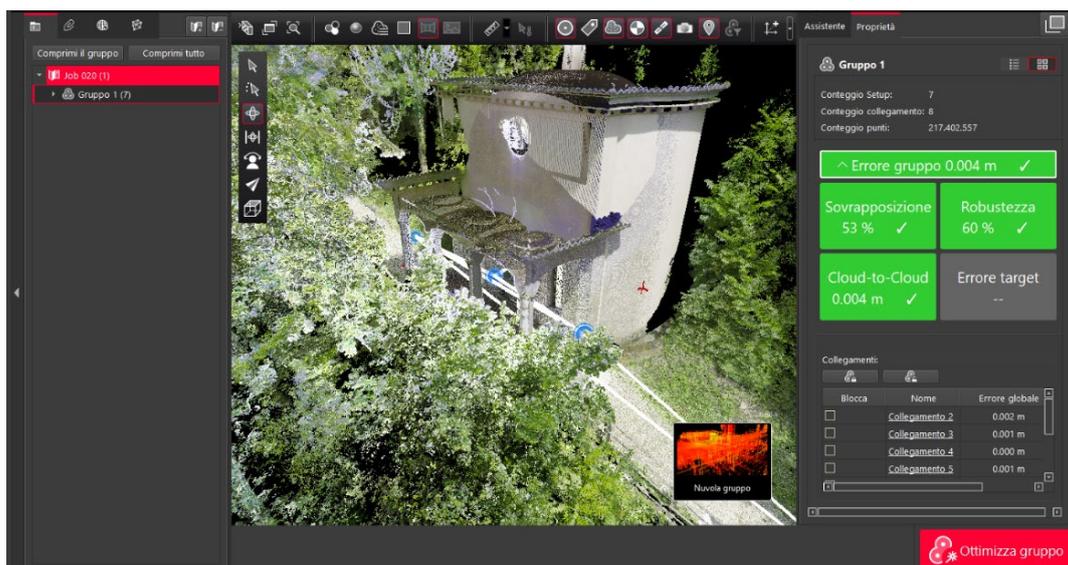


Figura 104: Cappella 16 con scansioni allineate.

Una prima criticità osservata è data dall'inefficacia, saltuariamente, dell'ottimizzazione che porta a un aumento, seppur contenuto, dell'errore del gruppo. Per tale ragione è essenziale una attenta verifica degli effettivi benefici che può comportare.

I collegamenti così ottenuti vanno infine accuratamente bloccati per evitarne la traslazione seppur accidentale, soprattutto nella successiva fase di georeferenziazione.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

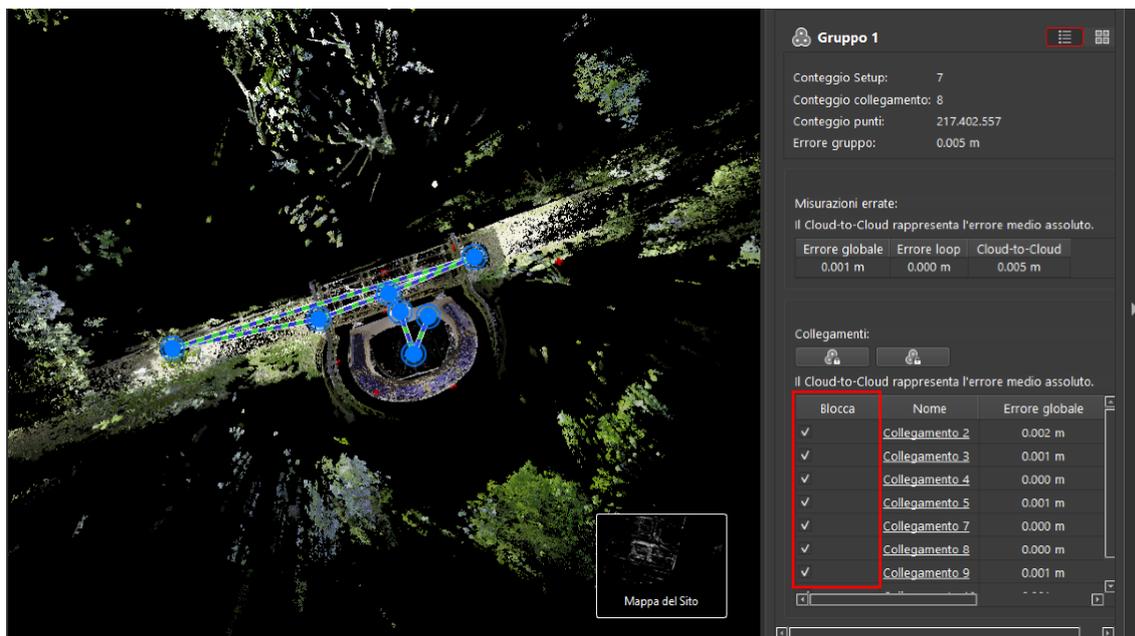


Figura 105: Blocco dei collegamenti.

Dopo aver ottenuto la nuvola di punti correttamente allineata si procede all'importazione dei punti di controllo, definiti attraverso un file .csv, in cui è essenziale i numeri siano rappresentati con il carattere punto come divisore decimale. I punti in questione sono stati ricavati come illustrato precedentemente dal rilievo topografico e rappresentano la rete di punti di inquadramento, raffittimento e dettaglio.

Una volta importati essi appariranno nella scheda di controllo come un insieme di punti senza riferimenti geometrici. Selezionando le singole scansioni e aprendo la visualizzazione del gruppo nuvola è possibile individuare i marker all'interno delle immagini sferiche.

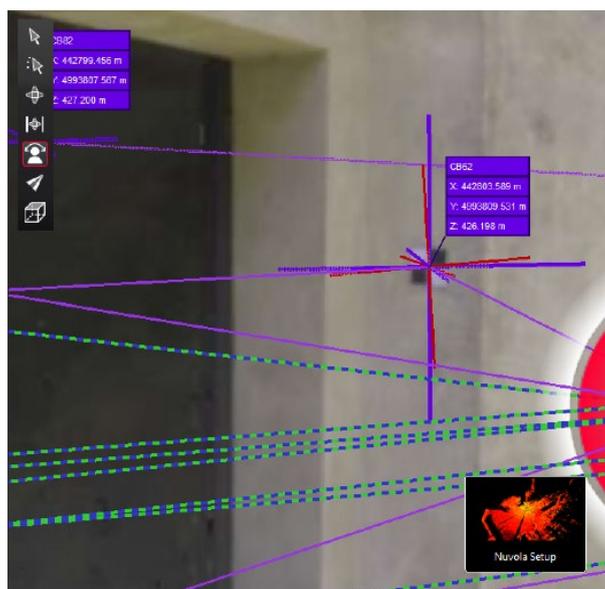


Figura 106: Individuazione e denominazione dei marker nelle immagini.

All'interno del menù è essenziale assegnare come valore di *etichetta smart* il medesimo nome del corrispettivo punto, ripetendo il procedimento per ogni marker visibile su ogni acquisizione.

Si procede poi all'applicazione del controllo nella scheda gruppo, in questo modo il sistema riconosce i punti inseriti e georeferenzia correttamente la nuvola.

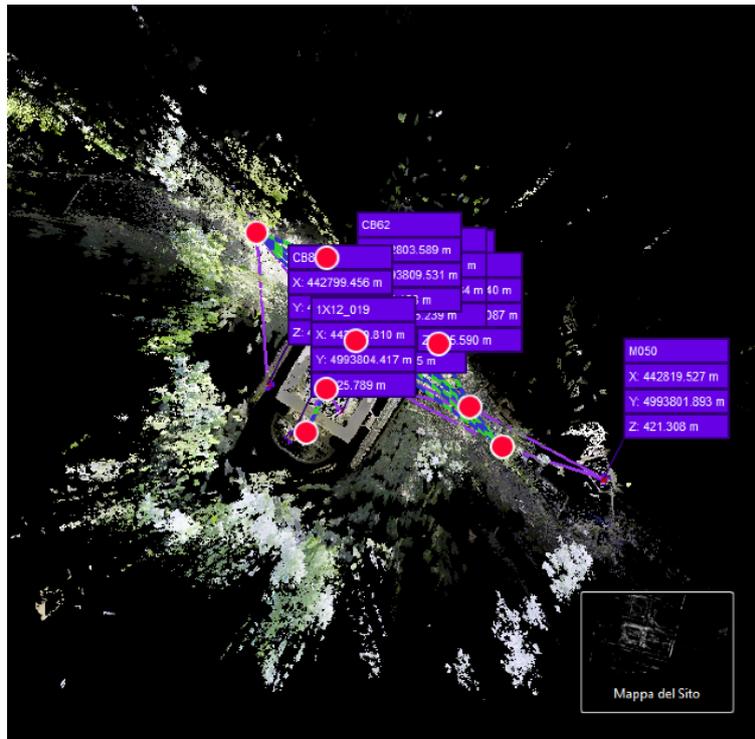


Figura 107: Visualizzazione della nuvola georeferenziata.

Una seconda criticità osservata è dettata dalla difficoltà di far riconoscere tutti i marker disponibili al software, nonostante questi vengano collimati nelle differenti scansioni. Potrebbe essere influenzato dal mancato riconoscimento della geometria del marker, in particolare se posto su una superficie con una inclinazione non favorevole per la presa.

Una volta conclusa l'operazione si seleziona *finalizza* e si pubblica il report con la nuvola, preferita per le successive analisi in formato *.e57*.



Figura 108: Nuvola di punti della Cappella 10 grezza.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE



Figura 109: Nuvola di punti della Cappella 16 grezza.

Il risultato finale dell'elaborazione è certamente completo e ricco di dettagli, ma la rigogliosa vegetazione presente nel sito rende difficile l'utilizzo diretto della nuvola e per tale ragione, in seguito, è stato svolto un processo di pulizia che permette di segmentare la nuvola della Cappella da quella del terreno e di ricavarne una versione applicabile per la modellazione.

La scansione tramite *laser scanner* Leica RTC 360 ha permesso di rilevare le facciate esterne, a eccezione di quella posteriore, e gli interni, mentre la copertura non è stata rilevata a causa della mancanza di visibilità e dell'altezza.

5.7.3 ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI DAL LASER SCANNER STONEX X70GO

L'elaborazione della nuvola di punti derivata dalla scansione tramite Stonex x70go è ottenuta tramite il *software* di elaborazione *GOpost*.

I *file* ottenuti dalle scansioni vengono importati all'interno del *software* che li elabora e restituisce a video la nuvola di punti relativa alla specifica scansione.

Per procedere all'elaborazione dopo aver importato i *file* ottenuti dalle scansioni sul campo all'interno del *software* si provvede alla risoluzione tramite *One-click solve*.

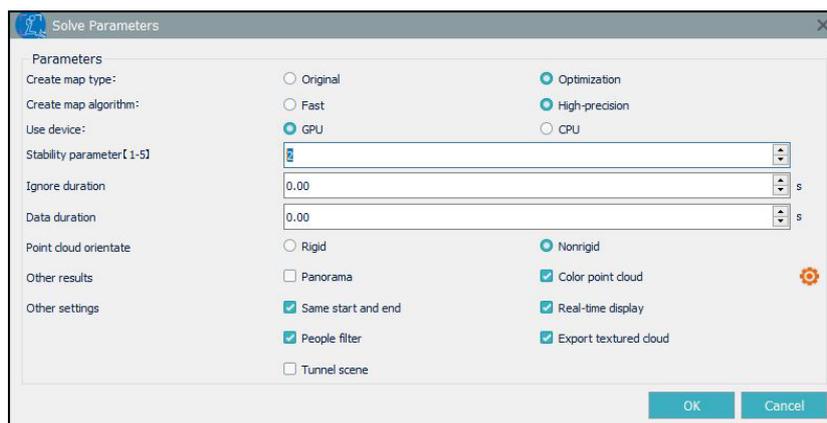


Figura 110: Impostazioni One-click solve.

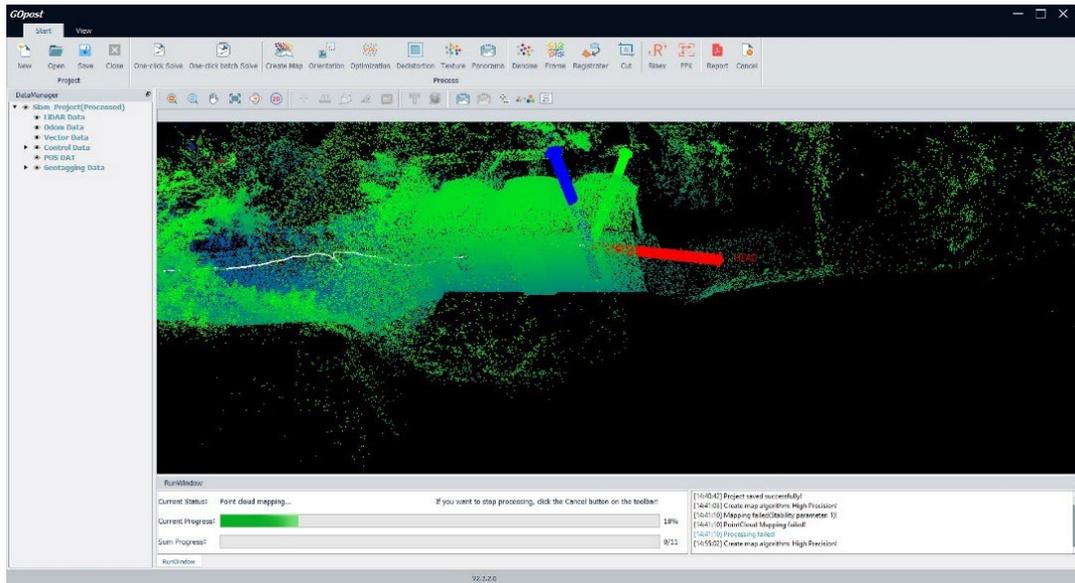


Figura 111: Interfaccia di elaborazione di GOpost.

I parametri utilizzati sono stati riportati nella figura [110], in particolare il parametro discriminante per una buona riuscita dell'elaborazione è lo *stability parameter*, rappresentante il grado di variabilità della scena scansionata. Può essere posto pari a 1 e poi verificato per iterazione quale sia il parametro più indicato per una corretta rappresentazione aumentandolo gradualmente, nel caso in questione è stato osservato essere sufficiente, sia per le scansioni effettuate per le singole Cappelle sia per i percorsi di collegamento, pari a 2.

Dopo aver avviato la risoluzione viene generata la nuvola di punti ripercorrendo il percorso che il *laser scanner SLAM* ha seguito, come è possibile vedere dalla figura [112], in cui sono evidenti, inoltre, i punti statici acquisiti. Nel caso in cui durante il rilievo vengano prelevate delle misure statiche di *GCP (Ground Control Point)*, come nel rilievo in questione, questi possono essere determinati all'interno del *software* assegnandone i corrispettivi valori ricavati da un file *.csv* che ne contiene le coordinate.

Una volta correttamente assegnati la nuvola è georeferenziata e pronta all'esportazione. Per l'esportazione è stato preferito mantenere sempre il formato *.e57* per una più semplice compatibilità con le altre nuvole di punti ottenute.



Figura 112: Visualizzazione nel software della nuvola generata per la Cappella 10 e del percorso seguito (in arancione).

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

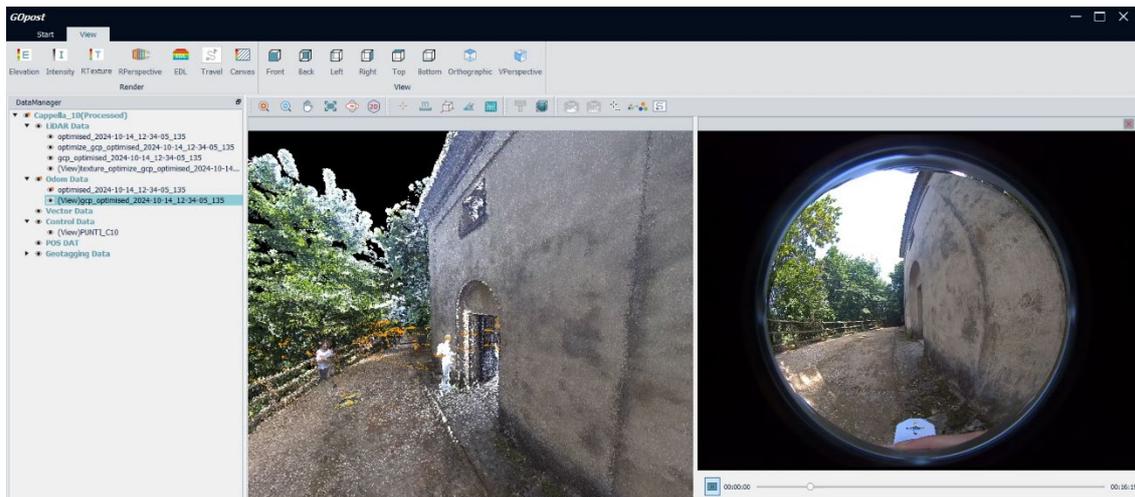


Figura 113: Visualizzazione nel software della nuvola generata sincronizzata con la visualizzazione della camera frontale.

Il *software* permette inoltre sia in fase di elaborazione che in fase successiva di visualizzazione di realizzare una vista della porzione di nuvola inquadrata all'interno della fotocamera frontale dello strumento, sincronizzandosi con il filmato generato dallo strumento durante l'acquisizione, come è possibile osservare nella figura [113].

Nonostante il campo visivo sia limitato e con una distorsione a effetto *fisheye*, la sua disponibilità può risultare particolarmente utile per visionare nuovamente immagini reali del manufatto e permette all'utente elaboratore di comprendere anche le criticità dell'acquisizione nel caso in cui si verifichi perdita di dati o incoerenze.

Il procedimento è stato svolto non soltanto per le scansioni relative alle Cappelle 10 e 16, di cui è stata effettuata l'elaborazione, ma anche per tratti del percorso che caratterizzano il Monte considerati come rilevanti, nonostante non siano stati trattati nel progetto di Tesi a causa della differente scala di operatività, ma vengono qui a seguito riportati.

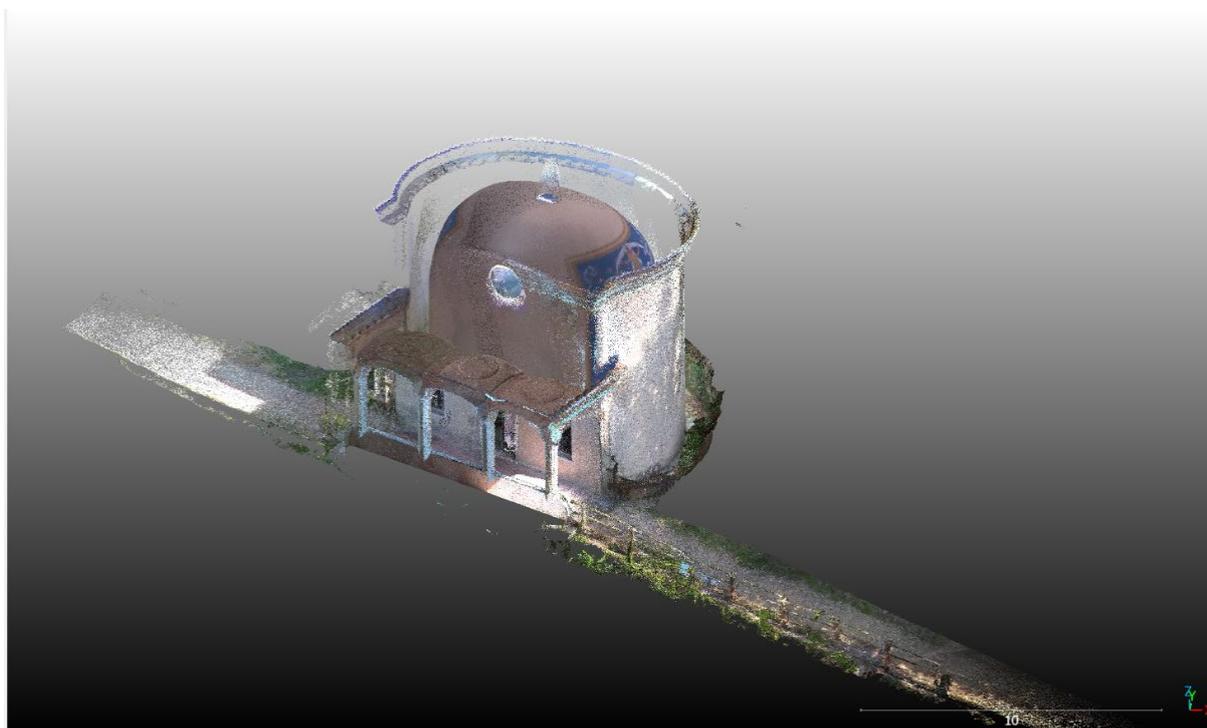


Figura 114: Nuvola di punti della Cappella 16 ripulita dalla vegetazione.



Figura 115: Nuvola di punti della Cappella 10 ripulita dalla vegetazione.



Figura 116: Nuvola di punti del sentiero di collegamento tra le Cappelle (fonte: Politecnico di Torino, Dipartimento DIATI).

La principale criticità osservata è la ridotta densità di punti che è stato possibile ottenere dallo strumento, imputabile in parte alla minore velocità di misurazione, di un ordine di grandezza differente, se paragonato al Leica RTC 360, ma che ha reso in particolare gli apparati statuari poco definiti e molto “smussati”, anche se il vantaggio di poter essere trasportabile a mano ha semplificato le operazioni di rilievo delle aree meno esposte come il retro delle statue o le pareti posteriori delle cappelle, estremamente ravvicinate alla parete rocciosa del colle.

Inoltre, è rilevante come la precisione dello strumento, pur essendo di rapida acquisizione, è dell’ordine del centimetro, fattore estremamente utile da tenere in considerazione quando si elaborano grandi superfici in un ridotto quantitativo di tempo.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

5.7.4 ELABORAZIONE DEI DATI FOTOGRAMMETRICI

La realizzazione delle nuvole di punti attraverso la trasformazione di fotogrammi bidimensionali in elementi tridimensionali si basa, in prima battuta, sugli algoritmi di *Structure from Motion*, che permettono di riconoscere in punti in comune in una serie di fotogrammi per individuare la corrispettiva posizione relativa del punto di presa.

La gestione di tale processo è stata affidata al *software Agisoft Metashape*, specializzato nel processo fotogrammetrico per la restituzione di nuvole di punti, *mesh*, DEM (*Digital Elevation Model*) e ortofoto.

Il procedimento illustrato a seguire è stato applicato usando i *chunk*, scatole virtuali che contengono i fotogrammi da analizzare, che includessero tutti i fotogrammi ottenuti dai droni oltre che dal *viDoc*, e può essere applicato con le opportune variazioni anche per la gestione di fotogrammi sferici ricavati dalla Fotocamera 360°, non trattati nel progetto di Tesi.

Per quanto riguarda invece i dati ricavati dallo Stonex XVS sono stati processati autonomamente tramite un *software* proprietario, *XVS Cloud*, in grado di elaborare i dati grezzi ricavati sul campo per ottenerne una rappresentazione a mezzo di nuvola di punti.

Software Agisoft Metashape

Il processo di elaborazione ha previsto per prima cosa l'importazione dei fotogrammi di interesse e l'esecuzione di un primo allineamento, impostando un'accuratezza media.

Il risultato di questa operazione è risultato essere molto variabile, in alcuni casi tutte le immagini sono state allineate correttamente autonomamente, mentre in altri alcune porzioni non sono state riconosciute e perciò è stata effettuata la collimazione di punti naturali e marker manualmente con il fine di ottenere una nuvola coerente.

La criticità osservata è imputabile all'impossibilità del *software* di riconoscere efficacemente e autonomamente la geometria raffigurata all'interno dei fotogrammi, per via di prese non sempre parallele alle facciate dei manufatti analizzati, ricordando inoltre che gli algoritmi coinvolti nel riconoscimento, a ora, non siano supportati dall'intelligenza artificiale o dal *machine learning*, aspetti che in futuro potrebbero prendere il sopravvento e semplificare considerevolmente le analisi.

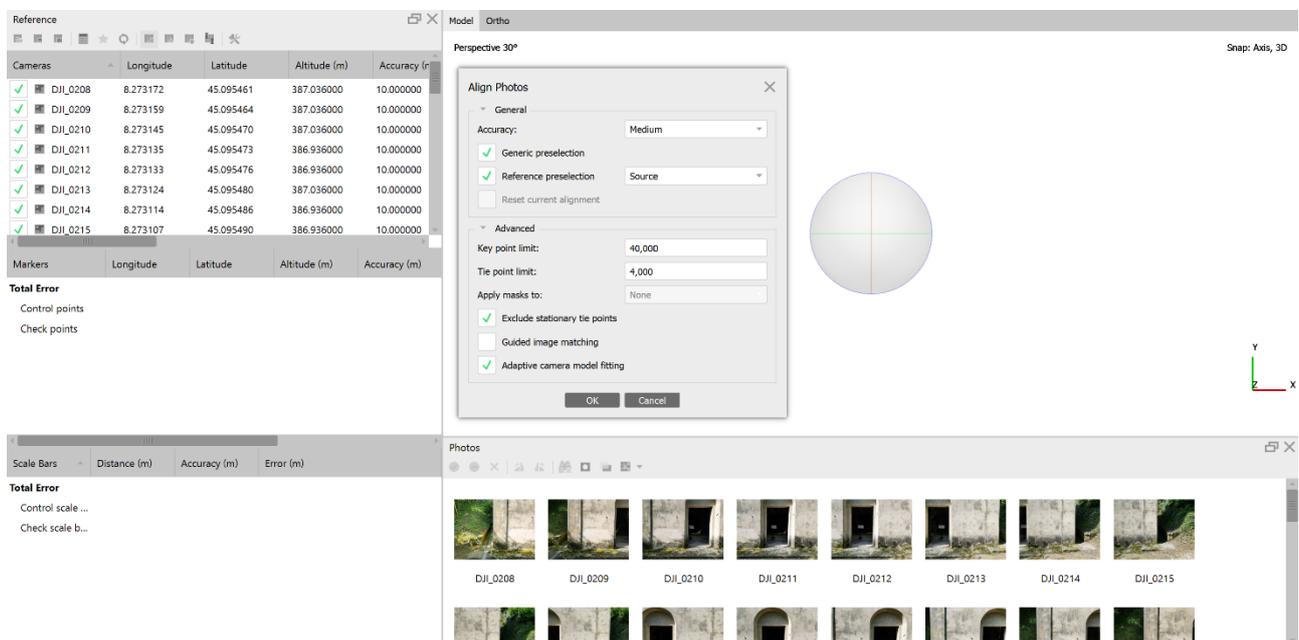


Figura 117: Interfaccia Metashape per importazione fotogrammi.



Figura 118: Nuvola Cappella 10 erroneamente allineata.



Figura 119: Nuvola Cappella 10 correttamente allineata.

In seguito, si provvede all'importazione delle coordinate dei *reference o markes*, i punti di riferimento del rilievo topografico, i quali devono essere associati all'interno dei fotogrammi per poter correttamente georeferenziare la nuvola. Un adeguato numero di proiezioni dei punti di riferimento sui fotogrammi è di almeno cinque, in quanto permette di andare incontro anche a possibili errori, localizzati in specifici fotogrammi, senza inficiare significativamente la precisione complessiva della nuvola, anche se fino a tre fotogrammi risulta comunque applicabile, seppur non affidabile.

| Markers | Easting (m) | Northing (m) | Altitude (m) | Accuracy (m) | Error (m) | Projections | Error (pix) |
|--------------------|---------------|----------------|--------------|--------------|-----------|-------------|-------------|
| ✓ CB60 | 442805.106900 | 4993803.962000 | 426.733670 | 0.005000 | 0.008827 | 18 | 0.682 |
| ✓ FO75 | 442803.652400 | 4993809.267000 | 424.383030 | 0.005000 | 0.006854 | 5 | 2.050 |
| ✓ CB81 | 442801.483100 | 4993810.959000 | 426.361970 | 0.005000 | 0.006148 | 11 | 1.049 |
| ✓ M010 | 442807.844000 | 4993810.403000 | 424.171000 | 0.005000 | 0.005476 | 8 | 0.422 |
| ✓ 10200 | 442801.082600 | 4993815.695000 | 424.772810 | 0.005000 | 0.004834 | 4 | 1.056 |
| ✓ CB62 | 442803.589000 | 4993809.531000 | 426.198130 | 0.005000 | 0.004000 | 8 | 0.772 |
| ✓ CB80 | 442805.080800 | 4993808.584000 | 425.238930 | 0.005000 | 0.003674 | 11 | 1.020 |
| ✓ CB82 | 442799.456400 | 4993807.567000 | 427.200410 | 0.005000 | 0.003118 | 8 | 0.662 |
| ✓ CB61 | 442805.544800 | 4993808.471000 | 426.032430 | 0.005000 | 0.002564 | 16 | 1.205 |
| ✓ FO83 | 442804.849600 | 4993808.565000 | 426.722840 | 0.005000 | 0.002428 | 5 | 1.958 |
| ✓ CB69 | 442807.140000 | 4993807.087000 | 425.589710 | 0.005000 | 0.002229 | 7 | 0.549 |
| ✓ FO88 | 442799.167200 | 4993807.163000 | 429.693340 | 0.005000 | 0.002012 | 4 | 0.689 |
| Total Error | | | | | | | |
| Control points | | | | | 0.004802 | | 1.040 |

Figura 120: Estratto degli errori di collimazione dei markers.

Dopo aver collimato un numero adeguato di *markers* e avendo verificato che l'errore complessivo sui *control points* sia inferiore al centimetro, preferibilmente inferiore ai 5 mm, si procede alla realizzazione della nuvola densa. Attraverso opportuni algoritmi interpolanti la nuvola sparsa viene densificata, realizzando la nuvola in questione, impostando in questo caso la qualità su alta per garantire una adeguata affidabilità dei risultati ottenuti.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE



Figura 121: Nuvola densa Cappella 10 estratta da fotogrammi DJI Mini 3 PRO.



Figura 122: Nuvola densa Cappella 16 estratta da fotogrammi DJI Mini 3 PRO.

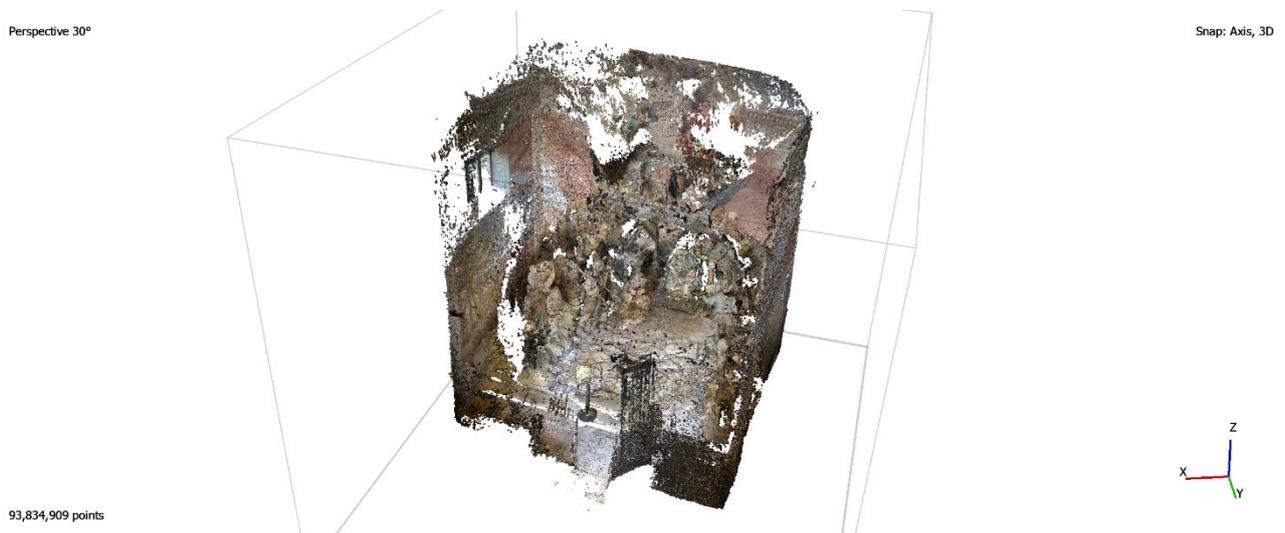


Figura 123: Nuvola densa Cappella 10 estratta da fotogrammi viDoc.



Figura 124: Nuvola densa Cappella 16 estratta da fotogrammi *viDoc*.

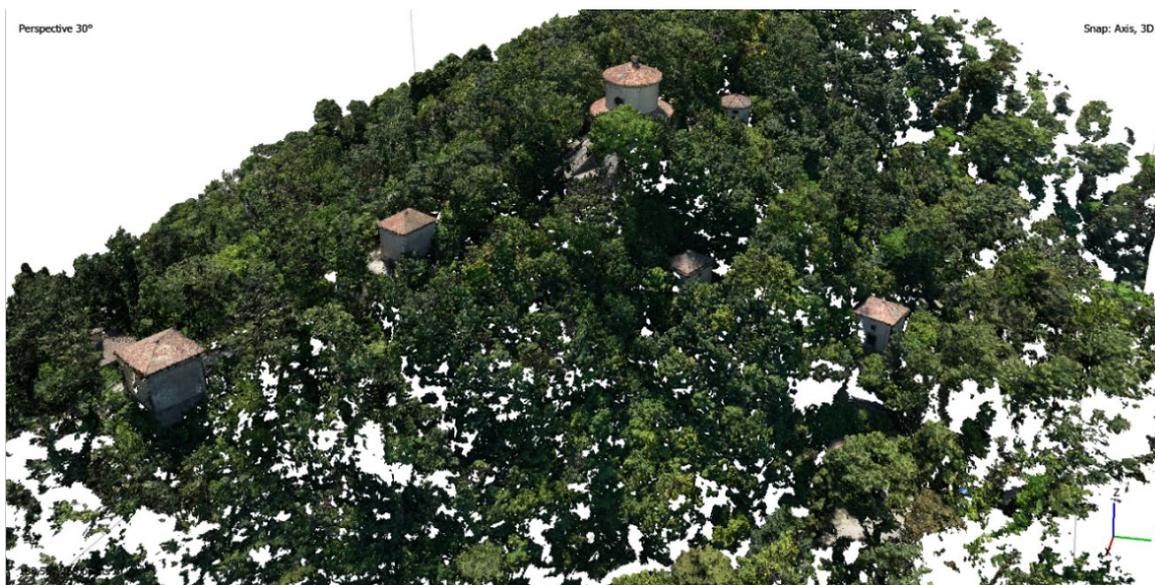


Figura 125: Nuvola densa Sacro Monte estratta dai fotogrammi DJI MAVIC 3M – lato Nord (fonte: Politecnico di Torino, Dipartimento DIATI).

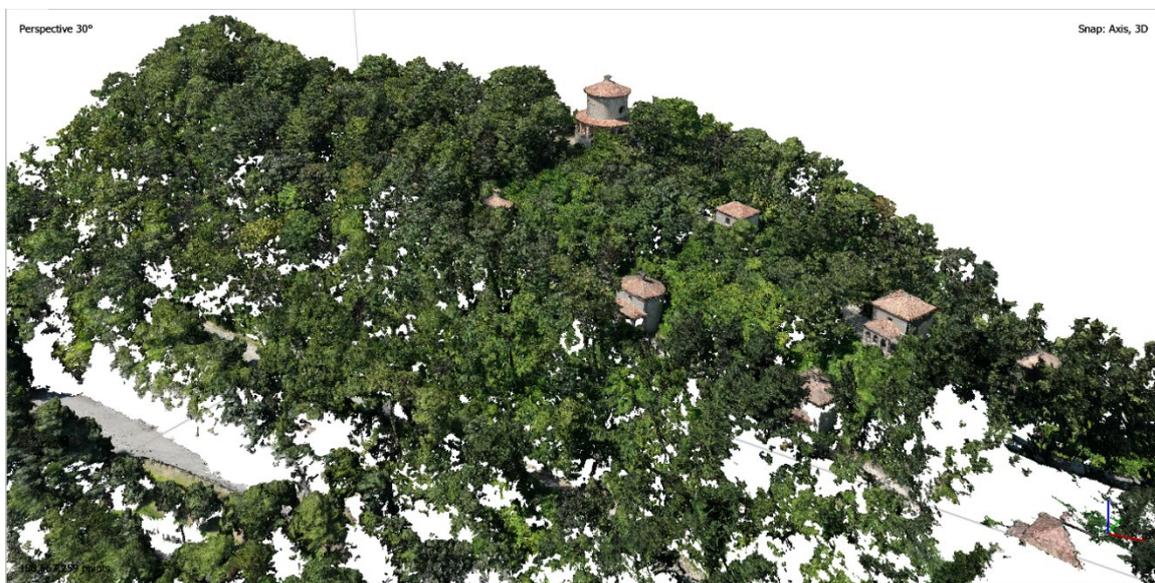


Figura 126: Nuvola densa Sacro Monte estratta dai fotogrammi DJI MAVIC 3M – lato Sud (fonte: Politecnico di Torino, Dipartimento DIATI).

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

I fotogrammi ottenuti dalla fotocamera 360°, per quanto risultasse possibile inserirli all'interno di *Agisoft Metashape* per ricavarne una nuvola di punti dei percorsi di collegamento, non sono stati elaborati nel presente progetto di Tesi in quanto non direttamente collegati con gli obiettivi posti in partenza, ma sono stati di rilevante importanza per ottenere una traccia della composizione e della distribuzione delle Cappelle e dei *Marker* utilizzati il giorno del rilievo. In futuri progetti potrà essere elaborata e integrata con le nuvole ricavate dal *laser scanner Stonex X70GO* per ricostruire la geometria del monte.

Inoltre, si segnala la possibilità di visualizzare l'acquisizione sferica appena citata per la visualizzazione in ambiente virtuale attraverso visori per la realtà virtuale.

Stonex XVS Cloud

L'elaborazione dei dati ricavati dallo strumento di acquisizione fotogrammetrica Stonex XVS è avvenuta, come già anticipato, attraverso l'importazione dei dati grezzi ottenuti dalla strumentazione all'interno del *software Stonex XVS Cloud*. La procedura è complessivamente lineare e simile a quanto necessario svolgere all'interno di un altro *software* della stessa azienda precedentemente introdotta, il *software Stonex GOpst*.

La georeferenziazione della nuvola di punti ottenuta a seguito dell'elaborazione non è stata realizzata all'interno del programma, ma in seguito all'interno del *software CloudCompare*.

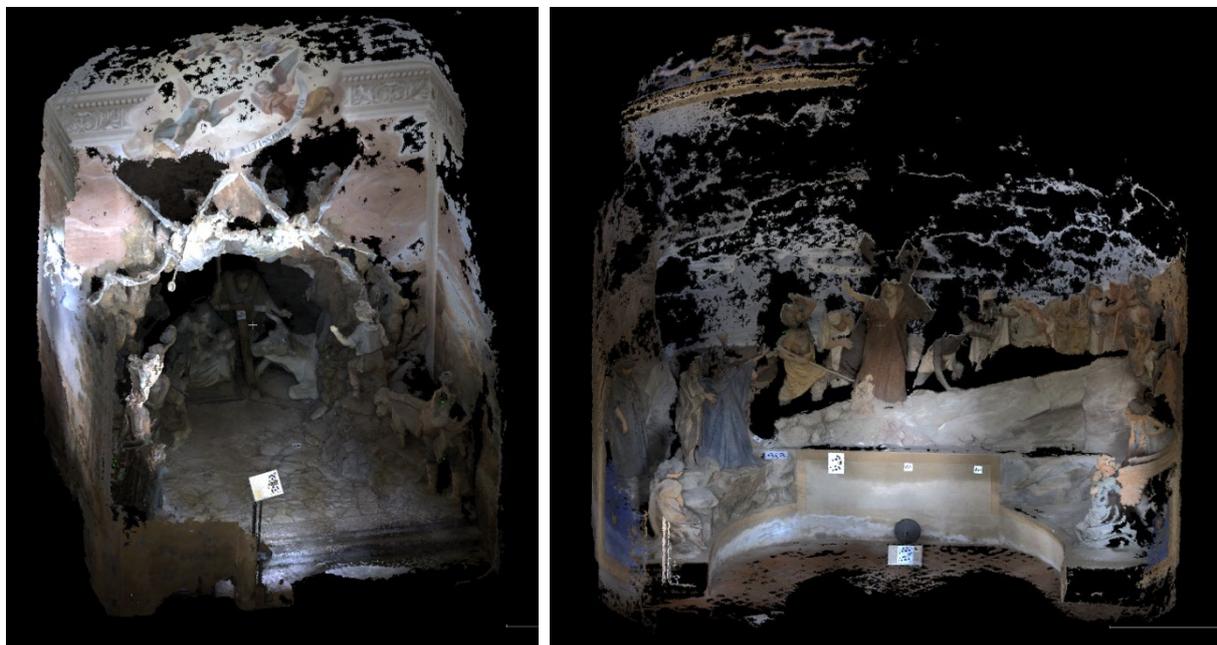


Figura 127: Nuvola densa Cappella 10 (sinistra) e 16 (destra) estratta dall'elaborazione *Stonex XVS*.

5.8 PULIZIA E SEGMENTAZIONE NUVOLE

Il processo di elaborazione fino a qui descritto ha permesso l'elaborazione dei dati ricavati dalla campagna di rilievi permettendo l'ottenimento di nuvole di punti georeferenziate dall'utilità trasversale, idonee cioè a una valutazione che vada dalla scala generale del sito, passando per la scala architettonica, finalizzate alla ricostruzione geometrica delle Cappelle, fino alla scala di dettaglio degli apparati statuari.

I risultati ottenuti però non sono idonei a un immediato utilizzo, e necessitano di segmentare la vegetazione dagli elementi architettonici per facilitarne un suo successivo utilizzo e ridurre la dimensione stessa del *file*, permettendone una più semplice e veloce importazione nei *software* di interesse.

Al fine di effettuare queste operazioni si fa utilizzo di un *software open source* per l'elaborazione e la gestione delle nuvole di punti, *CloudCompare*.

Originariamente sviluppato per confrontare differenti nuvole di punti, è in realtà in grado di estrarre informazioni estremamente precise in merito non solo alla distanza tra differenti nuvole, ma valutandone e variandone la densità, oltre a permettere la proiezione, la registrazione e la segmentazione attraverso appositi algoritmi.

Il *software* in questione è stato utilizzato per sotto-campionare, pulire, segmentare e filtrare le nuvole ottenute dalle precedenti elaborazioni.

5.8.1 Software CloudCompare

Dopo aver importato i *file* in formato *.e57*, al fine di rendere la gestione della nuvola stessa ottimale, è stato effettuato il sotto-campionamento della stessa attraverso la funzione *Subsample* con algoritmo *Space*, con l'obiettivo di eliminare i punti della nuvola al di sotto di una certa distanza reciproca definita dal parametro *Space*, individuando come distanza ottimale per garantire una sufficiente qualità residua della scansione il valore di 0,5 cm.

A seguito ne è stata effettuata la segmentazione, con lo scopo di eliminare dalle nuvole generate la vegetazione insieme a tutti gli elementi di "rumore" per la successiva importazione e modellazione, come artefatti legati al passaggio di persone o elementi in movimento che sono stati campionati solo parzialmente.

La pulizia è avvenuta manualmente, ottenendo una nuvola relativa ai manufatti edilizi e una nuvola ridotta contenente la bassa vegetazione utile alla ricostruzione della topografia del sito.

La segmentazione è stata realizzata attraverso il comando *Tools* → *Segmentation*. Il risultato di ognuna delle operazioni di segmentazione porta alla generazione di due nuvole, una con suffisso *.remaining*, ovvero composta dagli elementi selezionati come da sottrarre, e una con suffisso *.segmented*, composta invece dagli elementi da mantenere.

La procedura è complessivamente lineare, ma necessita una discreta attenzione e dimestichezza con gli strumenti al fine di non eliminare dalla scansione finali componenti essenziali. Tramite un'acquisizione di immagini multispettrali è probabile l'operazione di segmentazione potesse svolgersi più velocemente per effetto del riconoscimento autonomo.

In seguito, le nuvole pulite sono state unite attraverso il comando *Edit* → *Merge* per ottenere singole nuvole valide per la modellazione, in scala 1:100 delle Cappelle in questione.



Figura 128: Nuvola densa Cappella 10.

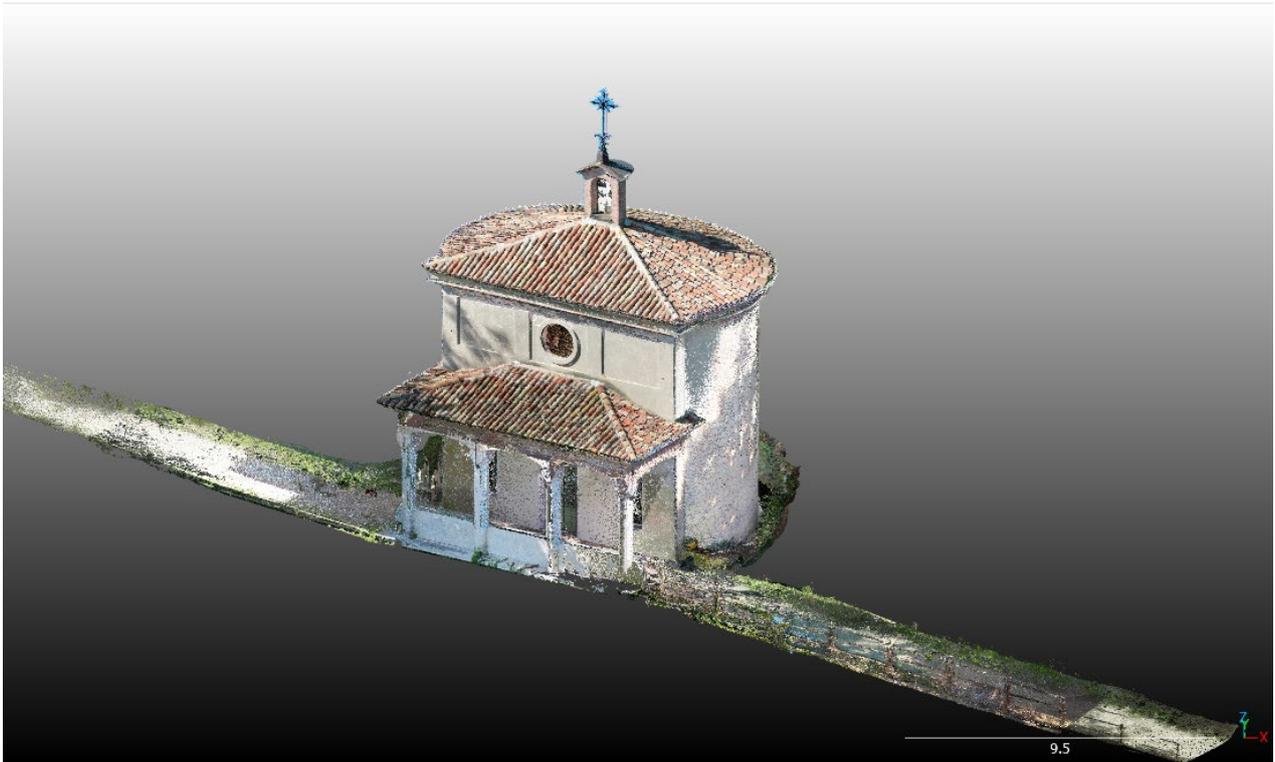


Figura 129: Nuvola densa Cappella 16.



Figura 130: Sezioni nuvole dense cappelle 10 (sinistra) e 16 (destra).

5.9 CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI ATTRAVERSO LE DIFFERENTI TECNICHE DI RILIEVO

Le tecniche utilizzate al fine di rilevare i manufatti edilizi oggetto dell'analisi sono eterogenee e comportano perciò precisioni e densità delle acquisizioni anche considerevolmente differenti, frutto di differenze strumentali ma anche relative al *software* che le ha generate.

Al fine di valutarne l'affidabilità e la possibilità di sovrapposizione sono state svolte delle analisi tramite il *software CloudCompare* per determinare la distanza relativa *Cloud to Cloud* oltre che per valutarne la densità dei punti.

5.9 CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI ATTRAVERSO LE DIFFERENTI TECNICHE DI RILIEVO

Una primaria osservazione da effettuare è in merito alla criticità riscontrata con la nuvola della Cappella 16 ottenuta dall' X70GO; in tale caso la georeferenziazione è stata effettuata utilizzando 3 punti all'incirca allineati e per tale ragione la nuvola è risultata orientata complessivamente correttamente rispetto alle coordinate piane, pur con errori, ma ruotata rispetto all'asse orizzontale tale da variarne l'altezza rilevata come è possibile vedere nella figura [131].

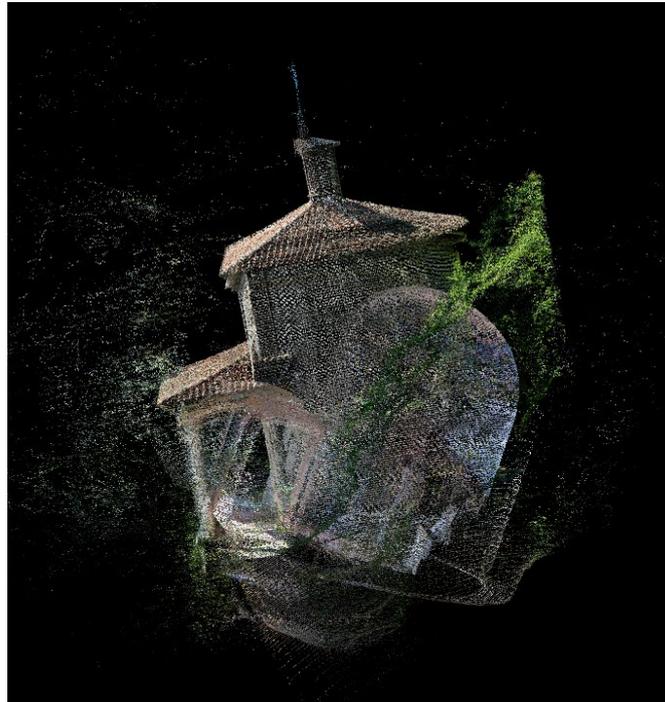


Figura 131: Mancata corretta georeferenziazione della nuvola da Stonex X70GO rispetto a nuvola fotogrammetrica da drone.

Tale nuvola, perciò, è stata manualmente georeferenzziata e non verrà trattata nel confronto *Cloud to Cloud* per la valutazione delle nuvole georeferenziate a priori.

Insieme a essa anche le nuvole derivate dall'elaborazione dello Stonex XVS non sono state valutate rispetto alla distanza *Cloud to Cloud* a causa della mancata georeferenziazione iniziale, essendo state registrate manualmente infatti l'analisi sarebbe poco significativa.

5.9.1 CLOUD TO CLOUD DISTANCE

Per stimare la qualità metrica delle nuvole in relazione alla distanza relativa tra i punti che le definiscono sono state analizzate le nuvole ottenute dal *Laser Scanner* Leica RTC 360, prese come riferimento in quanto giudicate le più corrette da un punto di vista dimensionale in funzione della precisione dello strumento, e è stato valutato il risultato ottenuto dalle nuvole fotogrammetriche originate dall'analisi dei fotogrammi da drone e da viDoc per entrambe le cappelle prese in esame, oltre che per l'acquisizione della Cappella 10 tramite lo Stonex X70GO.

Il comando utilizzato è ottenibile dalla scheda *Tools* → *Distances* → *Cloud/Cloud Dist.* e, come già anticipato, permette di determinare la distanza reciproca tra i punti di due nuvole, una *reference* e una *compared*.

Per le analisi realizzate è stato considerato un valore di distanza massima inferiore rispetto a quello riportato di *default* dal programma dopo un primario calcolo grossolano delle distanze, reputato troppo alto, in favore di una valorizzazione degli scostamenti di minor valore, ponendolo quindi pari a 20 cm.

In tale modo è possibile ricavare una rappresentazione graduata degli scostamenti con valori che vanno da zero (in blu) fino a 20 cm (in rosso).

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

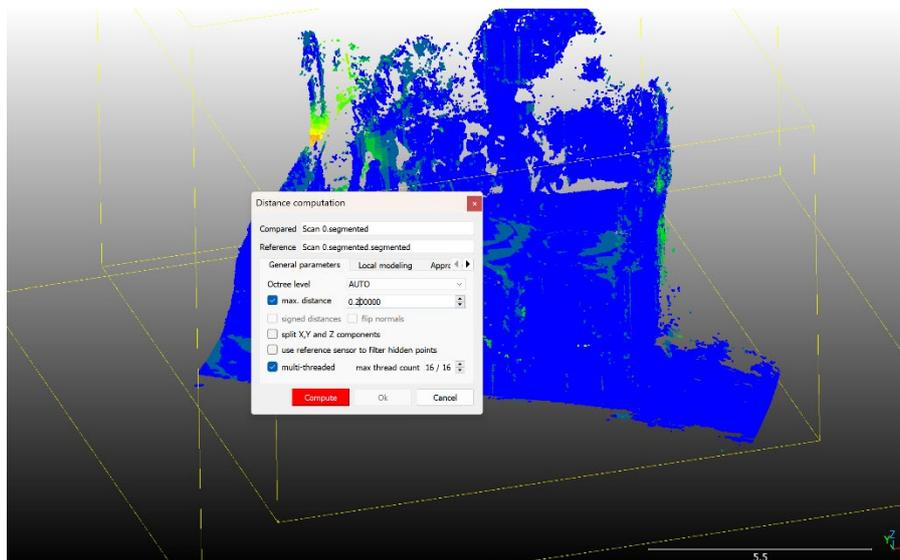


Figura 132: Impostazione del campo *max. distance*.

Alcuni interessanti risultati sono stati ricavati dalla valutazione della Cappella 16 in cui è stato possibile osservare tra la nuvola ottenute tramite *Laser Scanner* RTC e quella fotogrammetrica ottenuta dal viDoc un considerevole scostamento, superiore a tratti ai 20 cm in aree reputate essenziali, come nella porzione inferiore della volta del porticato di accesso, come è possibile vedere in figura [133].

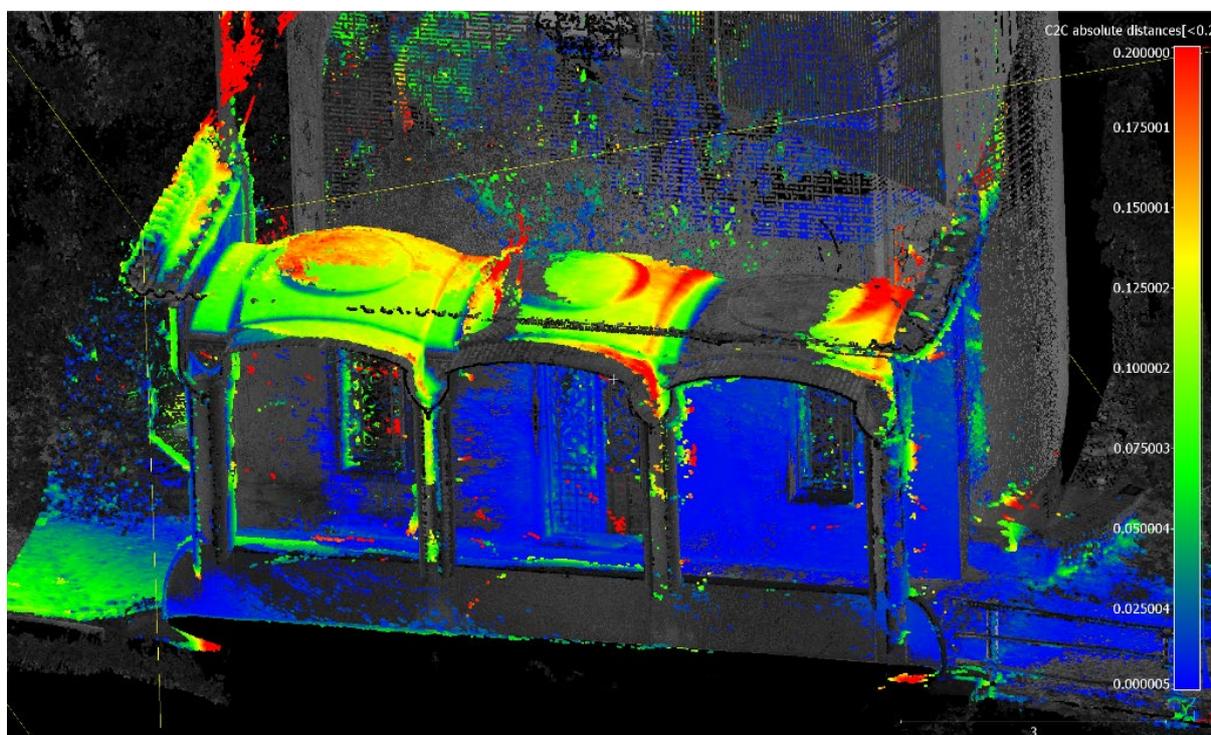


Figura 133: Risultato valutazioni *C2C Distance* tra viDoc e RTC per la cappella 16 esternamente.

In particolare, come riportato nella figura [134] si può osservare uno scostamento nella campata centrale di 21 cm circa, di considerevole entità se rapportato alle precisioni ricercate. Questo può essere certamente imputabile alla tecnica fotogrammetrica stessa, meno precisa dell'acquisizione diretta tramite *Laser Scanner*, ma è probabilmente frutto anche della tecnica di acquisizione dello strumento, che non ha permesso di visualizzare correttamente nei fotogrammi la volta e che spesso si presentava poco definita. Per tale ragione nel processo di ricostruzione su *Agisoft Metashape* è stata generata una deformazione dello spazio rappresentato rispetto a quello reale di notevole entità.

5.9 CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI ATTRAVERSO LE DIFFERENTI TECNICHE DI RILIEVO



Figura 134: Effettiva distanza tra punti omologhi delle nuvole *viDoc* e RTC per la cappella 16 esternamente.

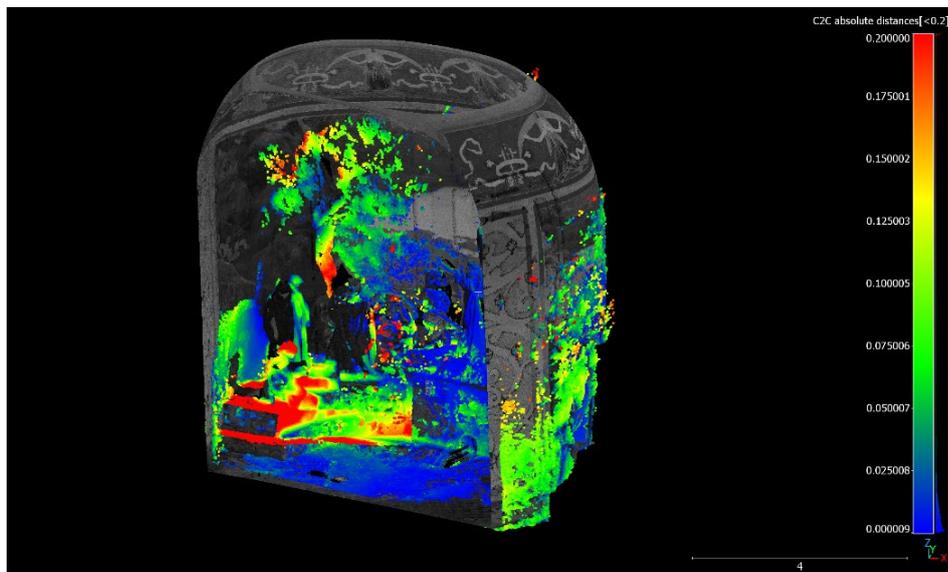


Figura 135: Risultato valutazioni *C2C Distance* tra *viDoc* e RTC per la cappella 16 internamente - stralcio di sinistra.

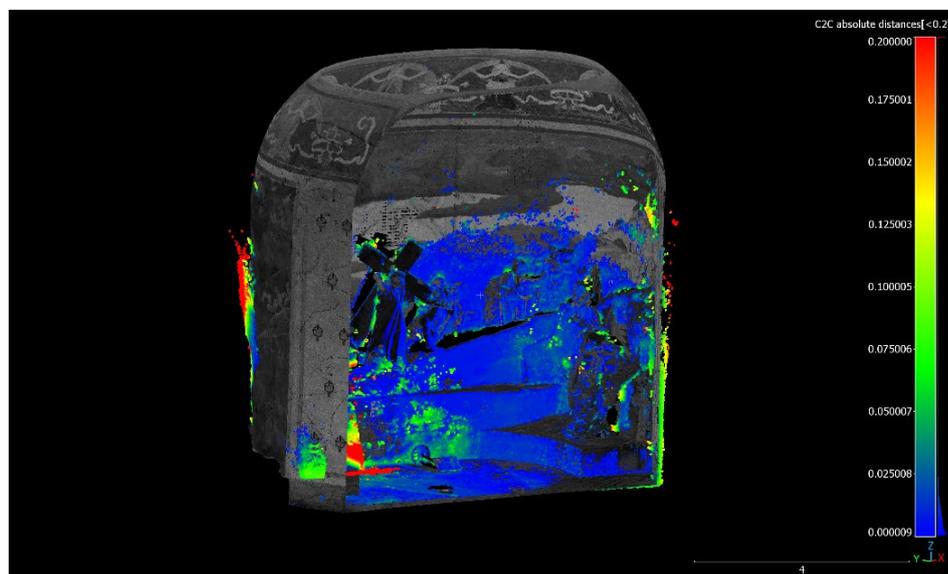


Figura 136: Risultato valutazioni *C2C Distance* tra *viDoc* e RTC per la cappella 16 internamente - stralcio di destra.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

Allo stesso modo internamente si possono osservare scostamenti considerevoli, soprattutto nella porzione di sinistra, nella figura [135], mentre è possibile osservare una discreta precisione nella porzione di destra, nella figura [136], nonostante sia evidente la formazione di artefatti grafici per quanto concerne le murature. La motivazione legata al mancato parallelismo nelle deviazioni è imputabile all'ordine di presa dei fotogrammi analizzati, avendo previsto l'ingresso dal lato sinistro del pronao della Cappella, entrando poi al suo interno, e uscendo dirigendosi verso il lato destro. Proprio quest'ultima fase sarebbe imputabile agli spostamenti maggiori, in cui la densità dei fotogrammi non parrebbe essere risultata sufficiente.

Per quanto concerne invece la valutazione tra le nuvole ottenute tramite *Laser Scanner* e quelle fotogrammetriche da drone, nelle porzioni comuni alle due nuvole, si possono osservare scostamenti considerevolmente ridotti, per quanto non nulli, possibilmente legati alle differenti tecniche di acquisizione. Questi si concentrano in corrispondenza della porzione iniziale delle volte, oltre che nei fregi dei fronti e nella porzione esterna del porticato, come è possibile vedere in figura [137]. La differenza in verde nella porzione esterna al pronao è invece esclusivamente legata alla mancanza di informazione, dato che, mentre il drone ha potuto accedere all'area frontale alla cappella, il *Laser scanner* non è stato posizionato per via della presenza di un pendio scosceso. Le aree non in comune invece appaiono in rosso in quanto vi è assenza di informazione per una delle due nuvole, come si può osservare per le coperture.

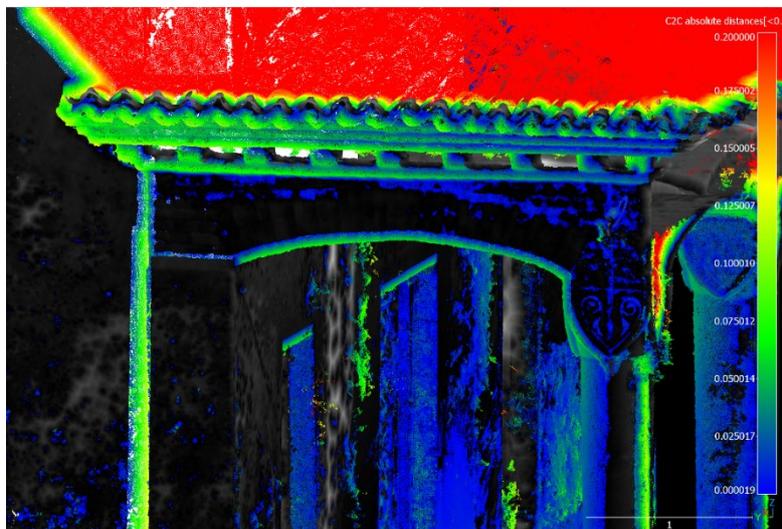


Figura 137: Risultato valutazioni C2C Distance tra drone e RTC per la cappella 16 – stralcio colonne e volte.

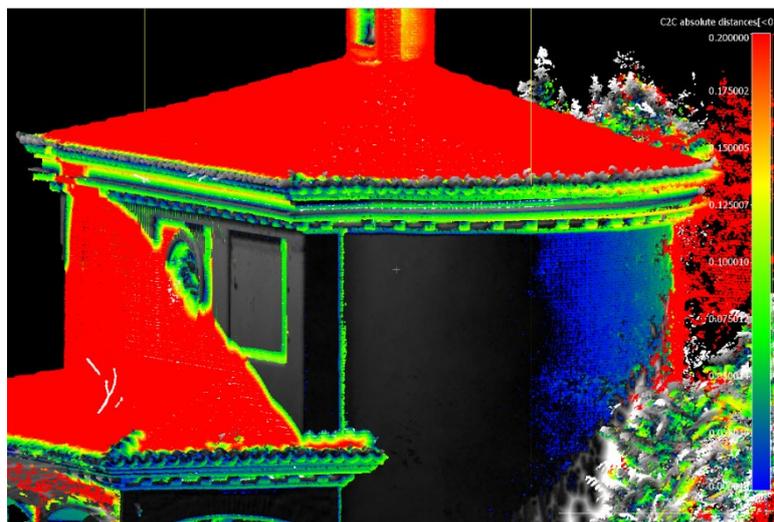


Figura 138: Risultato valutazioni C2C Distance tra drone e RTC per la cappella 16 – stralcio cornice superiore.

5.9 CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI ATTRAVERSO LE DIFFERENTI TECNICHE DI RILIEVO

Per quanto concerne invece la valutazione della distanza reciproca delle nuvole della Cappella 10 i risultati sono stati invece complessivamente più omogenei, dimostrando come la ridotta complessità geometrica del manufatto abbia semplificato le procedure di rilievo in contrapposizione alle incoerenze rilevate nella Cappella 16.

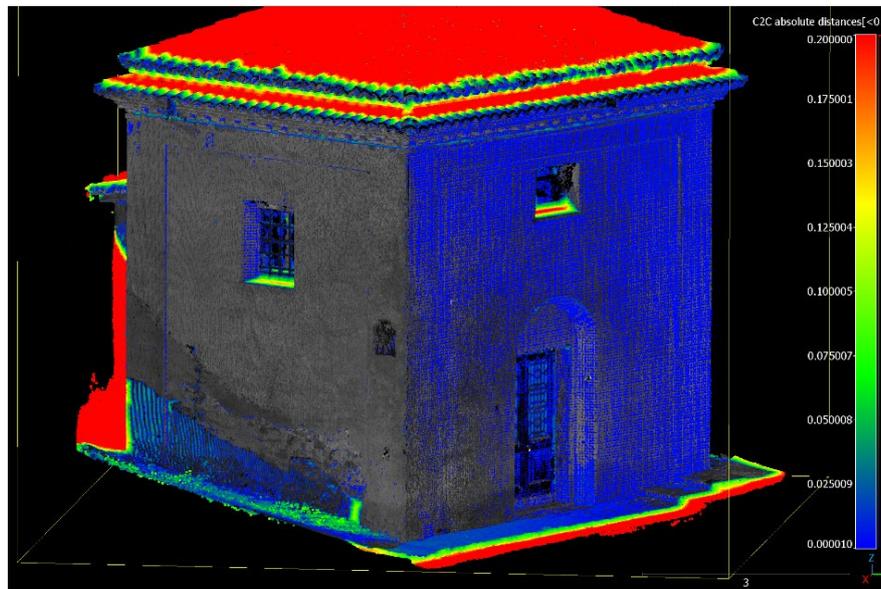


Figura 139: Risultato valutazioni C2C Distance tra drone e RTC per la cappella 10.

Tra il *Laser Scanner RTC* e il drone gli scostamenti si riducono solo alle aree di ritaglio agli estremi, alle coperture o alle aree non campionate in generale, confermandone una buona robustezza generale.

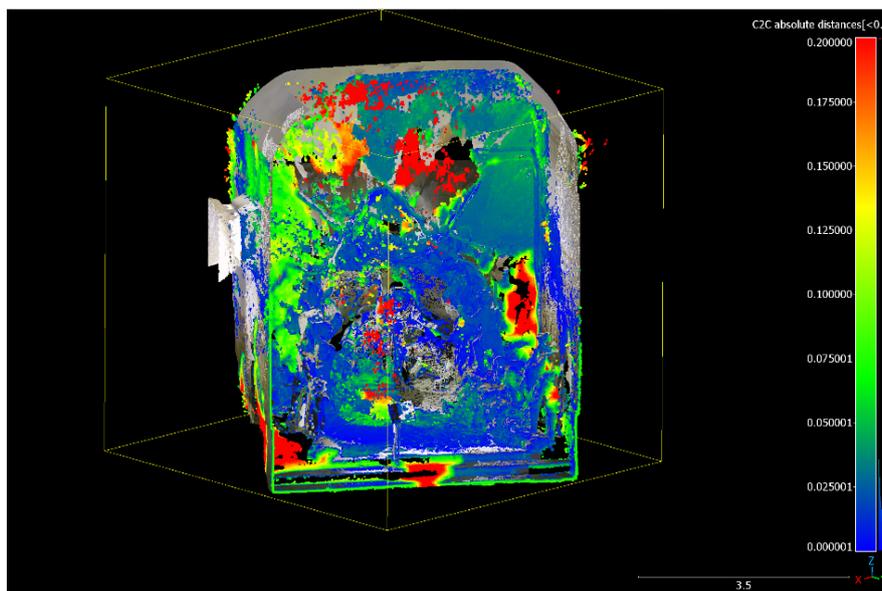


Figura 140: Risultato valutazioni C2C Distance tra viDoc e RTC per la cappella 10.

I risultati del confronto tra il *Laser Scanner RTC* e il *viDoc* hanno dimostrato una maggiore validità di quest'ultimo nel caso in cui la geometria del manufatto si presenti più regolare, come nel caso in questione, pur dimostrando artefatti grafici e aree di elevato scostamento o mancanti per via della specifica metodologia del rilievo.

In generale la validità del sistema è fortemente condizionata dalla metodologia di acquisizione che nel caso del rilievo svolto è stata valutata come scarsamente sufficiente, con ridotte aree rappresentate con scostamenti relativi inferiori al cm (nelle figure di colore blu), e considerevoli aree tra i 5 e i 10 cm.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

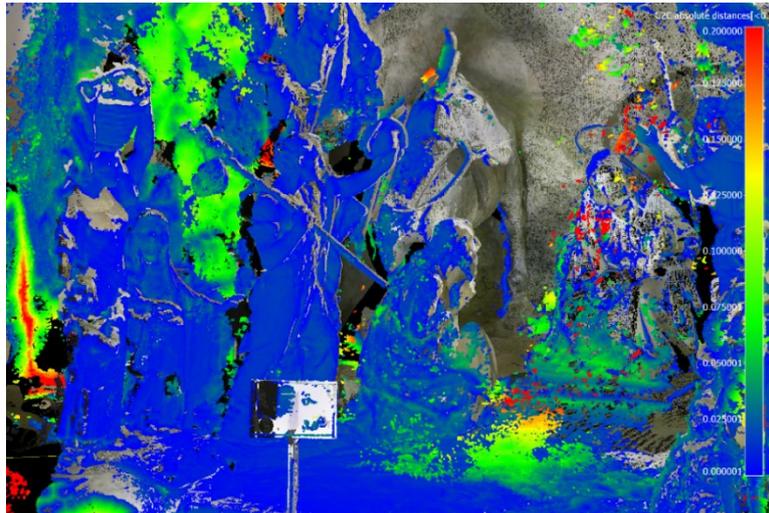


Figura 141: Risultato valutazioni *C2C Distance* tra *viDoc* e *RTC* per la cappella 10 – Dettaglio apparato statuario.

Il *Mobile Mapping System X70GO* è stato osservato come altamente efficace nel confronto, con risultati in larga parte inferiori al centimetro per le aree comuni, fattore certamente da tenere in considerazione in funzione della sua velocità di rilevamento.

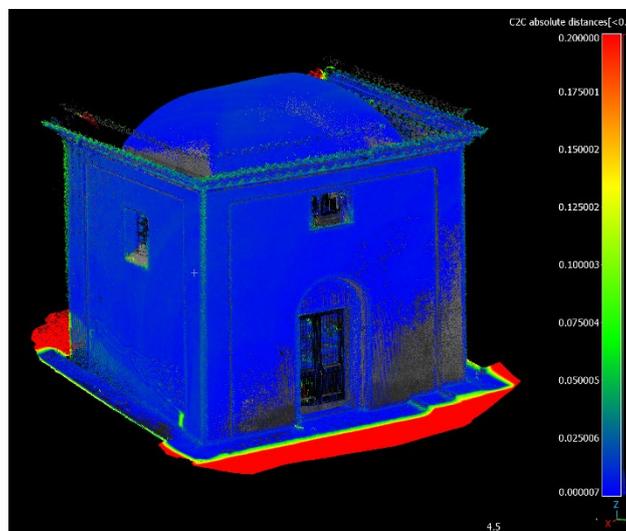


Figura 142: Risultato valutazioni *C2C Distance* tra *X70GO* e *RTC* per la cappella 10 – fronte.

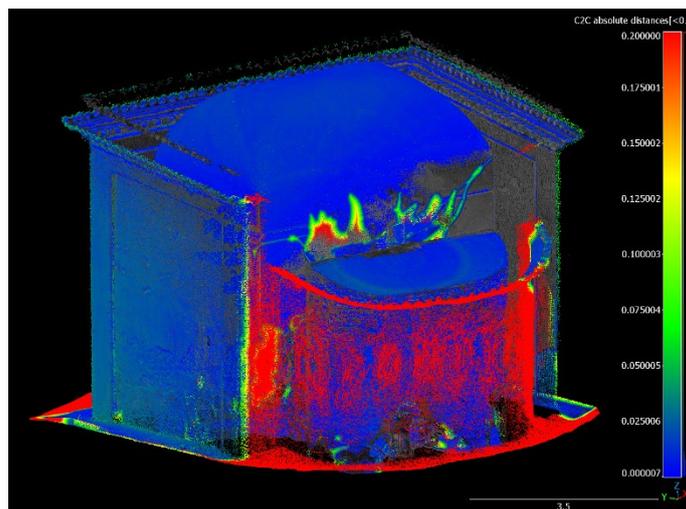


Figura 143: Risultato valutazioni *C2C Distance* tra *X70GO* e *RTC* per la cappella 10 – retro.

5.9.2 VALUTAZIONE DENSITÀ

È stata valutata la densità dei punti delle nuvole ottenute, valutandola sia a una scala complessiva della scansione, con riferimento all'interno manufatto rilevato, sia a una scala più locale, analizzando come le differenti tecniche di rilievo impattino sui risultati finali in porzioni ben delimitate dei manufatti.

Attraverso il comando *Tools* → *Other* → *Compute geometric feature* è possibile calcolare la densità di una specifica nuvola selezionata confrontando, per ogni punto analizzato, il numero di *neighbours*, ovvero i punti vicini racchiusi in una sfera di raggio R impostata pari a 5 cm.

Si esporranno per primi i risultati ottenuti per la Cappella 16 e in seguito quelli relativi alla Cappella 10.

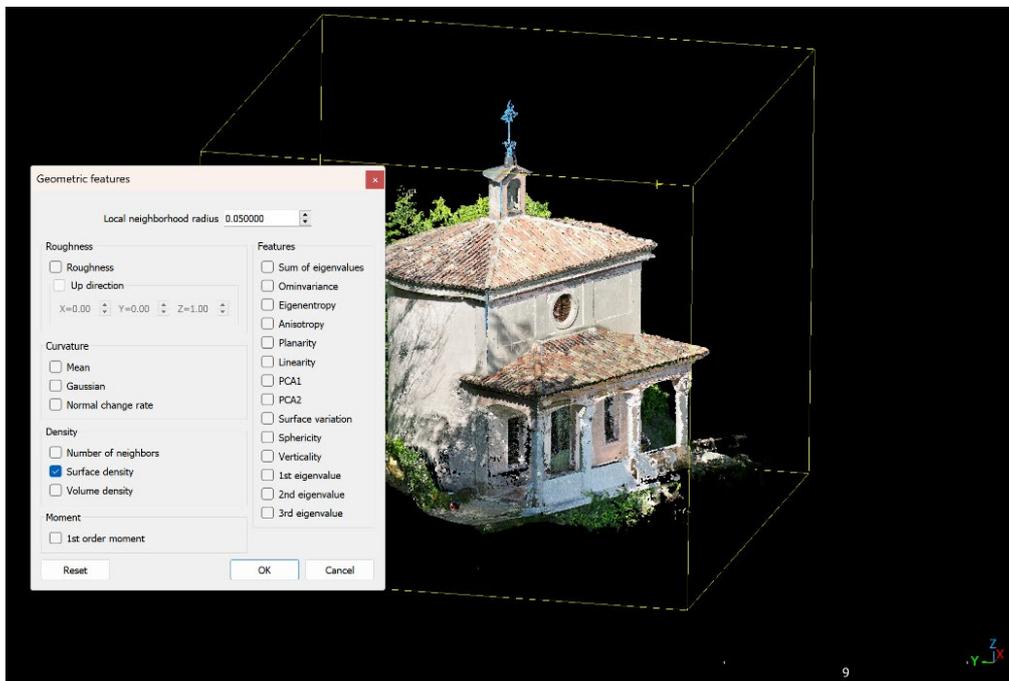


Figura 144: Impostazione del *local neighborhood radius*.

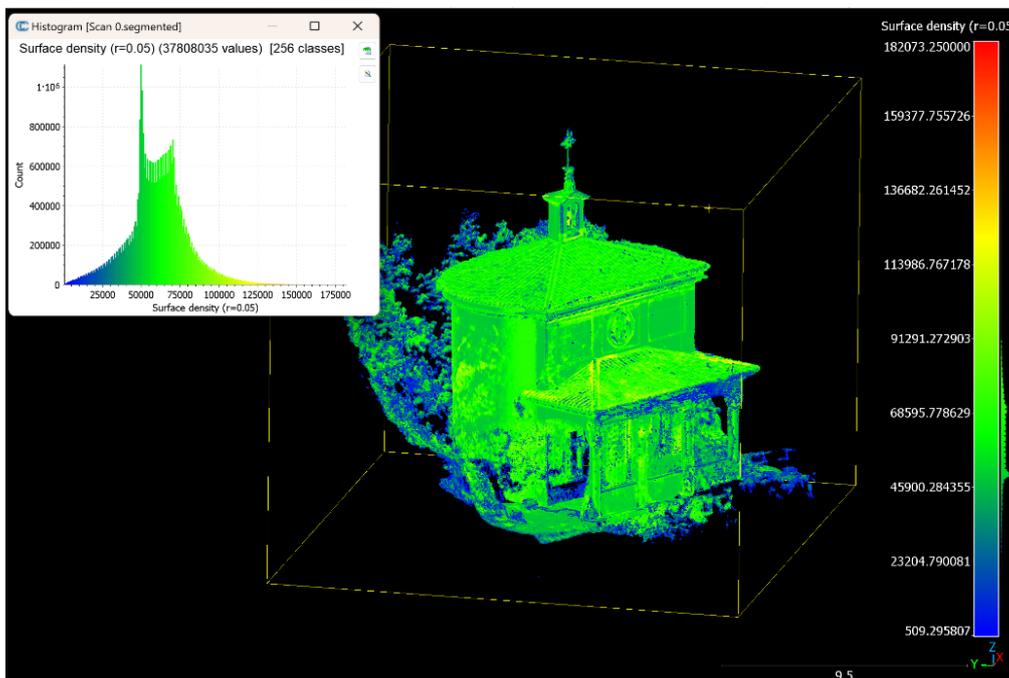


Figura 145: Risultato valutazioni densità nuvola da drone Cappella 16.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

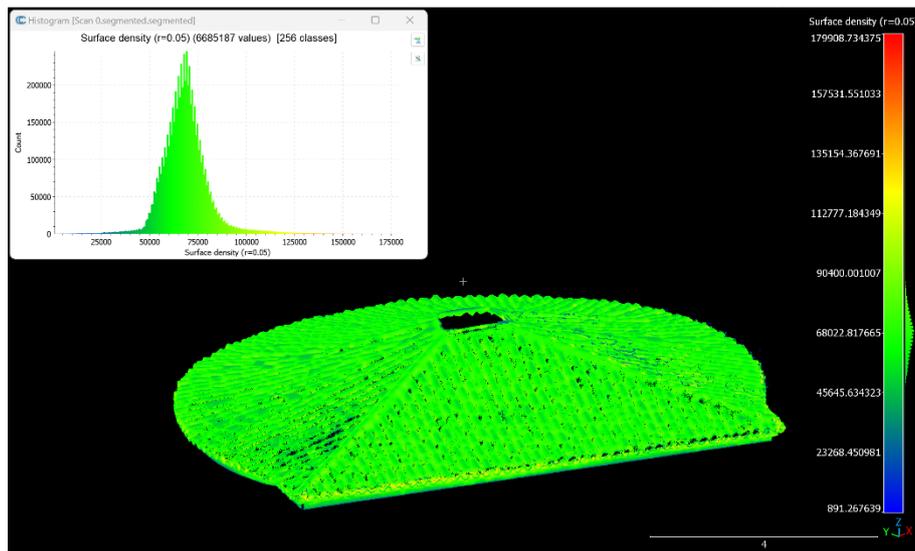


Figura 146: Risultato valutazioni densità nuvola da drone Cappella 16 – dettaglio copertura.

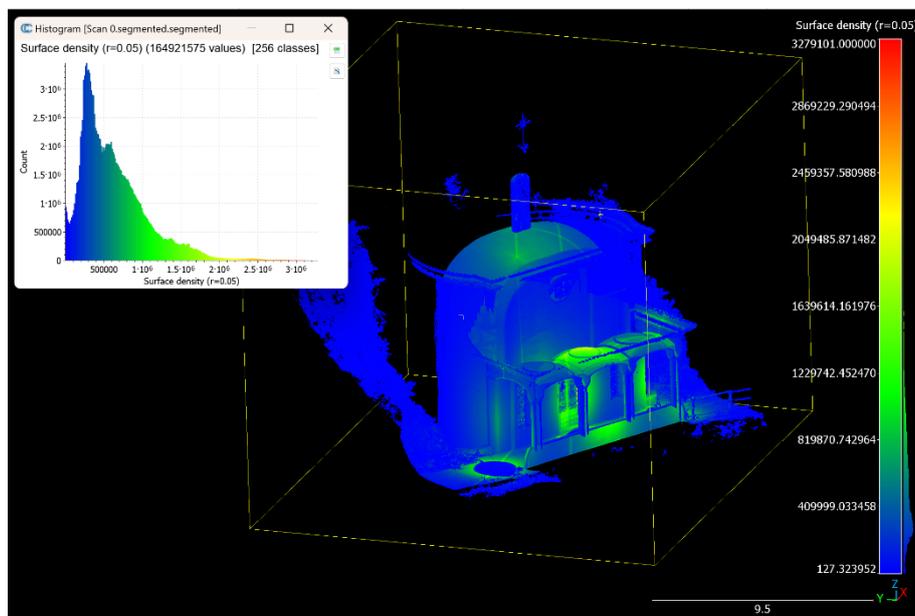


Figura 147: Risultato valutazioni densità nuvola da *Laser Scanner* RTC Cappella 16.

Si può notare come la densità della nuvola da *Laser Scanner* RTC sia complessivamente superiore rispetto alla elaborazione fotogrammetrica da drone, frutto della differenza strumentale e della metodologia di ottenimento.

La nuvola ricavata dall'elaborazione del *Laser Scanner* X70GO, seppure considerevolmente densa, non supera i valori raggiunti dall' RTC. Questo è certamente legato alla tecnologia di acquisizione per cui la velocità di acquisizione è di un ordine di grandezza superiore nel *Laser Scanner* terrestre RTC rispetto al *Mobile Mapping System*.

Un ulteriore aspetto da considerare è anche la distribuzione stessa delle densità, che, mentre per quanto riguarda le nuvole ricavate da *Laser Scanner* segue una distribuzione variabile e non regolare nello spazio, nelle elaborazioni fotogrammetriche si evidenzia una distribuzione “a scatti”, con una maggiore regolarità per aree della densità, aspetto che è legato alla tecnica di ottenimento, tale da ottenere aree a densità superficiale costante in funzione del numero di fotogrammi con intervalli regolari.

5.9 CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI ATTRAVERSO LE DIFFERENTI TECNICHE DI RILIEVO

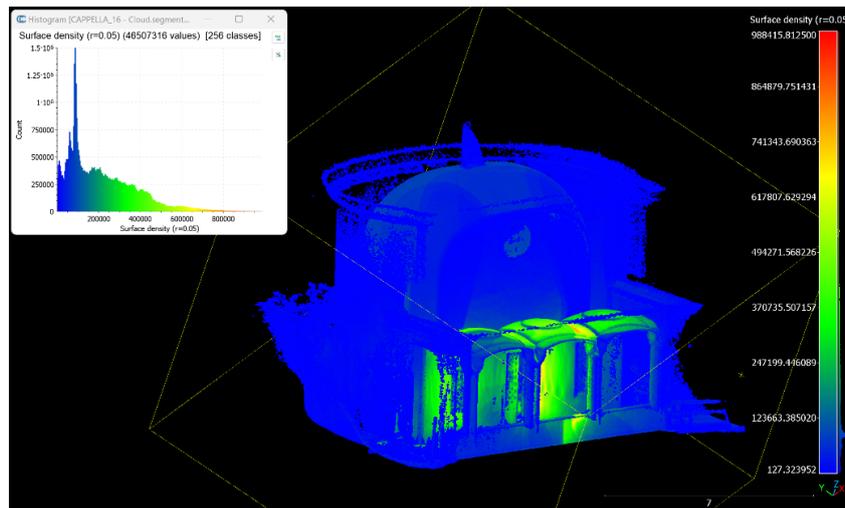


Figura 148: Risultato valutazioni densità nuvola da *Laser Scanner X70GO* Cappella 16.

I valori invece osservabili per la nuvola fotogrammetrica da *viDoc* sono complessivamente piuttosto elevati, a causa dell'elevata ridondanza degli elementi comuni nei fotogrammi, pur osservando alcune aree di criticità

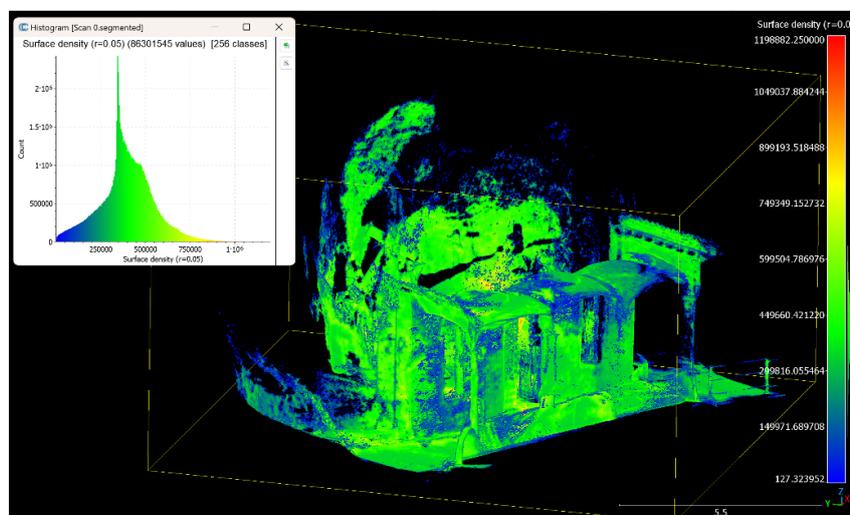


Figura 149: Risultato valutazioni densità nuvola da *viDoc* Cappella 16.

Continuando infatti la valutazione della Cappella 16 è stato valutato, anche a causa delle criticità relative agli scostamenti precedenti, il portico prospiciente l'ingresso.

Quanto è stato possibile osservare ha confermato il precedente dubbio circa la mancanza di fotogrammi intercettati ritenuti idonei, tradotta in una ridotta densità di punti come è possibile osservare nella figura [151].

La porzione ottenuta da *Laser Scanner* Leica RTC 360 prevedibilmente per via della presa statica in corrispondenza dell'ingresso della cappella ha una elevata densità nell'area in questione, mentre nel *Laser Scanner X70GO* la maggiore densità, non a livelli paragonabili al precedente, si concentra in corrispondenza del *Marker 1602*, posto al di sotto della campata centrale del porticato, dove è stata realizzata una presa del punto per la georeferenziazione.

Per quanto riguarda il *viDoc* è evidente la differenza rispetto alle altre due, la scansione è iniziata all'estremità sinistra della Cappella, poi è entrata ed è proseguita all'estremità destra, questo però ha generato una perdita considerevole della ridondanza dei fotogrammi che nella porzione di destra infatti ha generato una riduzione della densità e quindi una deformazione della nuvola.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

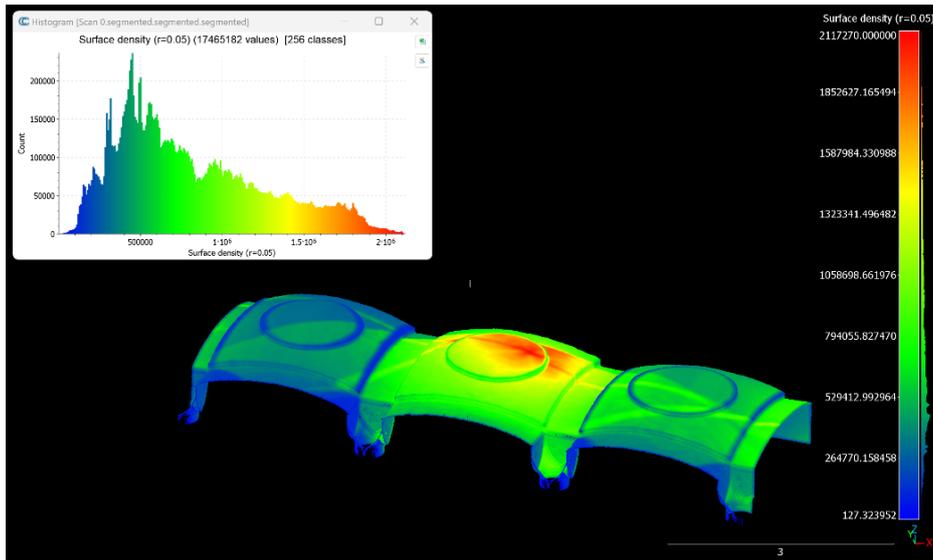


Figura 150: Risultato valutazioni densità nuvola da *Laser Scanner* Leica RTC 360 - Cappella 16: dettaglio volta.

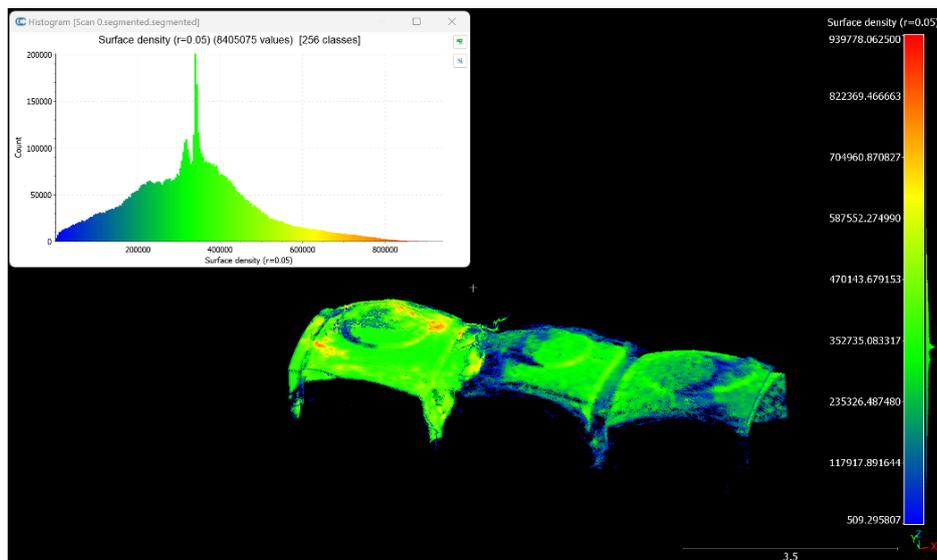


Figura 151: Risultato valutazioni densità nuvola da *viDoc* - Cappella 16: dettaglio volta.

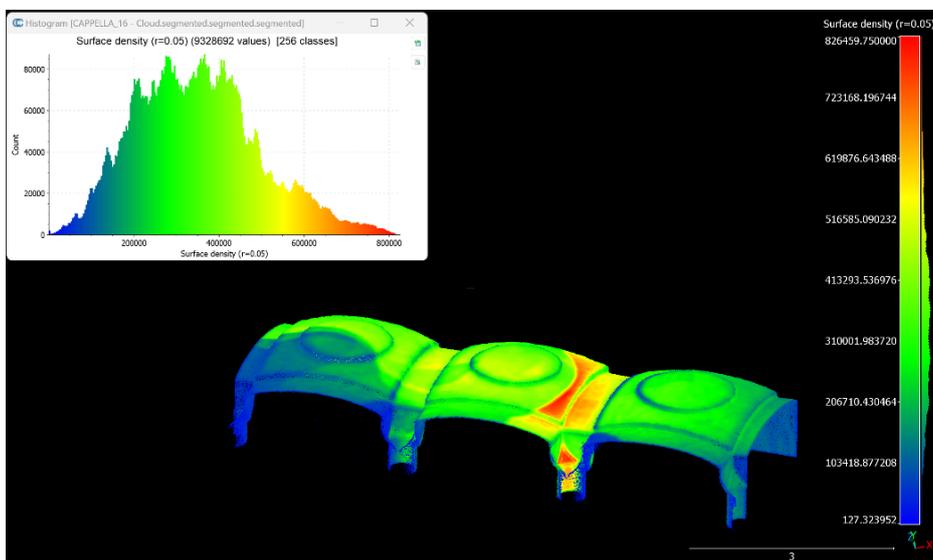


Figura 152: Risultato valutazioni densità nuvola da *Laser Scanner* X70GO - Cappella 16: dettaglio volta.

5.9 CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI ATTRAVERSO LE DIFFERENTI TECNICHE DI RILIEVO

Per quanto riguarda invece l'interno della Cappella in merito all'acquisizione dello Stonex XVS si può osservare come complessivamente la densità si mantenga costante su valori considerabili accettabili, con specifiche aree meglio rappresentate per via della metodologia di rilievo stessa che presumibilmente avrà permesso di racchiudere più volte all'interno dei fotogrammi le zone in questione, osservabili nella figura [153] all'interno delle aree dal verde fino al rosso.

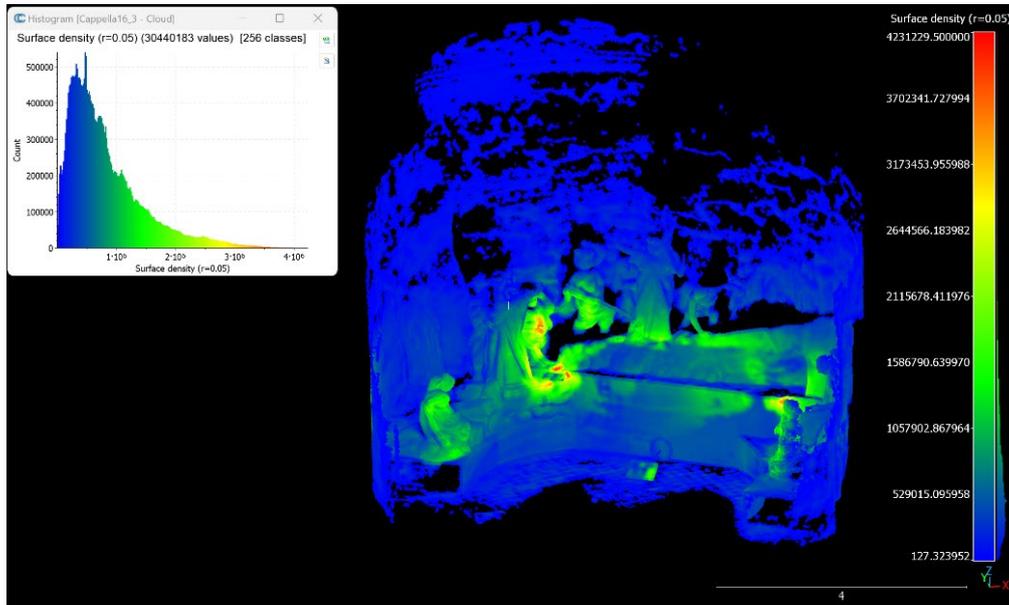


Figura 153: Risultato valutazioni densità nuvola da Stonex XVS Cappella 16.

È stata valutata in modo del tutto analogo anche la Cappella 10 che ha evidenziato quanto già osservato in precedenza.

Le nuvole fotogrammetriche si confermano più omogenee per densità, ma se nel caso dell'elaborazione dei fotogrammi da drone si osservano valori in media inferiori se confrontati al *laser scanner* Leica RTC 360.

Nel caso del *viDoc* si osserva una inversione di tendenza, con una densità in media superiore proprio per quest'ultimo, con anche sporadici picchi localizzati in aree ben definite.

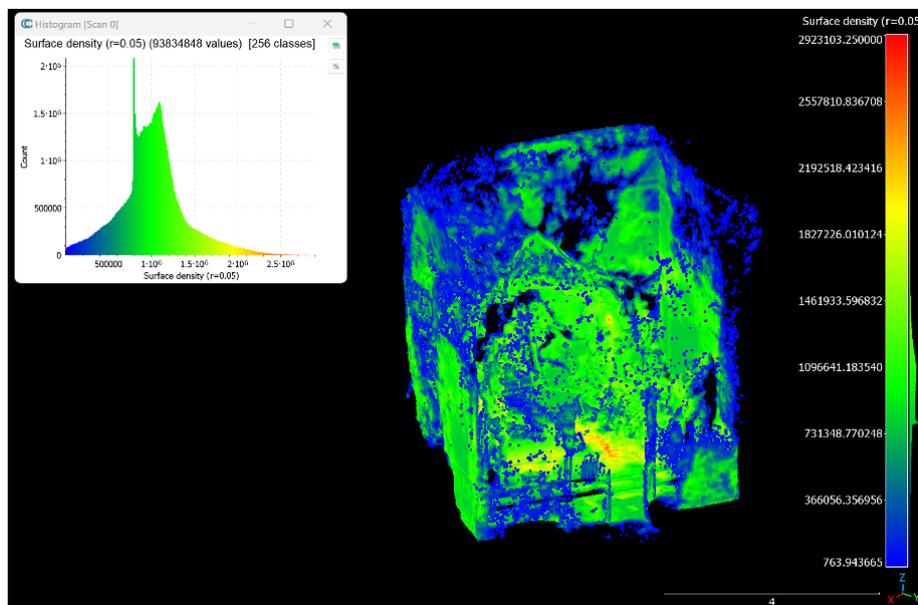


Figura 154: Risultato valutazioni densità nuvola da *viDoc* Cappella 10.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

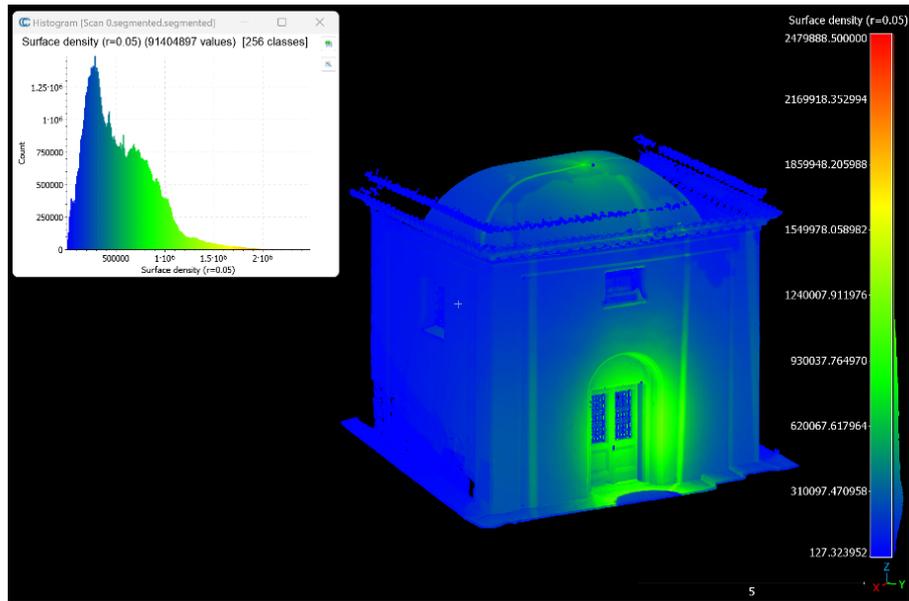


Figura 155: Risultato valutazioni densità nuvola da *Laser Scanner RTC* Cappella 10.

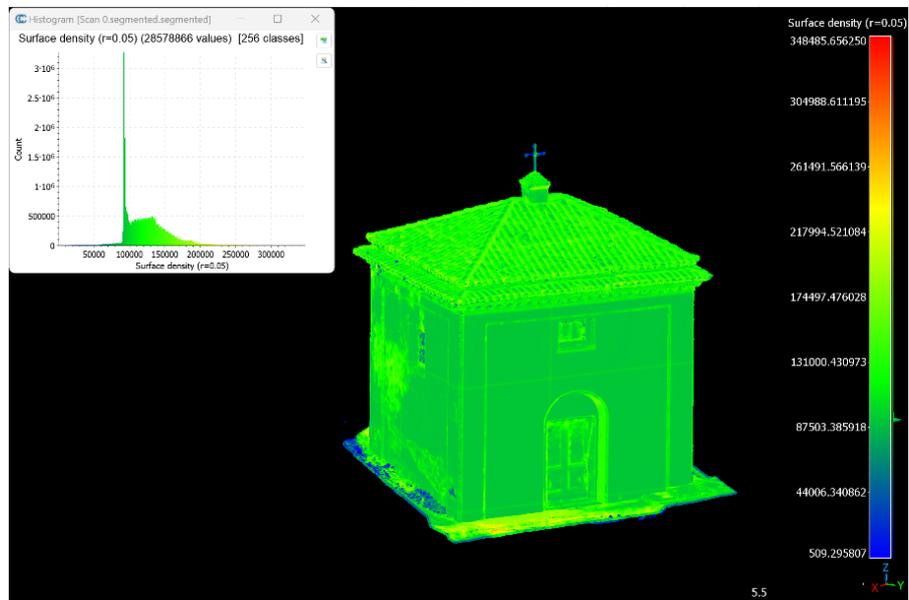


Figura 156: Risultato valutazioni densità nuvola da drone Cappella 10.

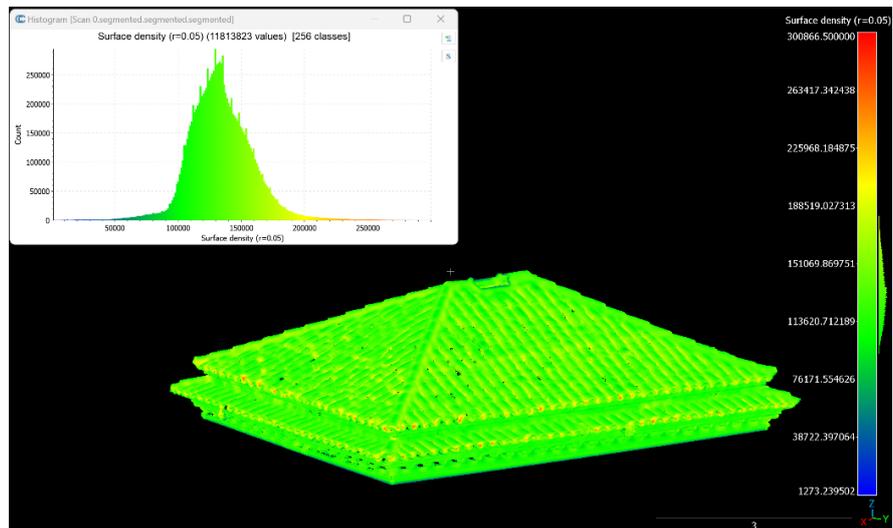


Figura 157: Risultato valutazioni densità nuvola da drone Cappella 10 – dettaglio copertura.

5.9 CONFRONTO TRA I RISULTATI OTTENUTI ATTRAVERSO LE DIFFERENTI TECNICHE DI RILIEVO

Anche rispetto alle facciate si conferma quanto già osservato. Confrontando la facciata nord principale si osserva una densità circa costante nella nuvola da drone e variabile nel *Laser Scanner RTC*, con un maggiore densità vicino al punto di acquisizione affacciato all'interno della Cappella.

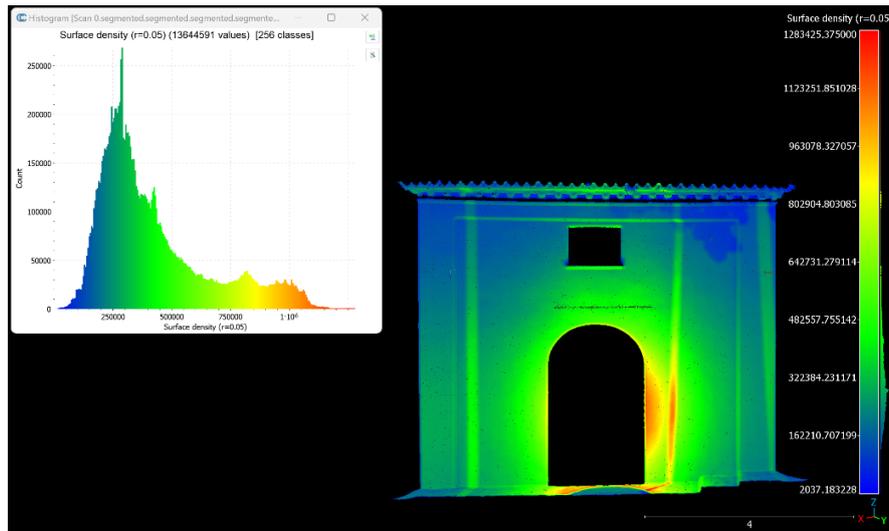


Figura 158: Risultato valutazioni densità nuvola da *Laser Scanner RTC* Cappella 10 – dettaglio facciata.

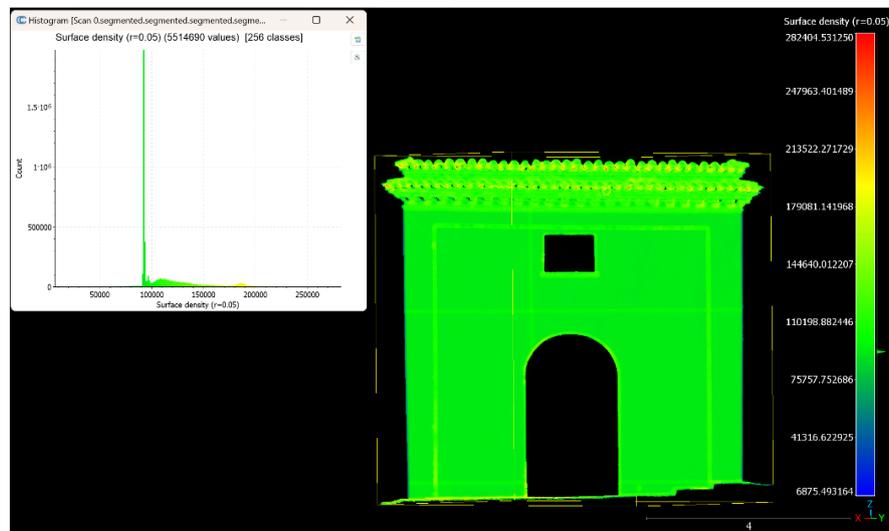


Figura 159: Risultato valutazioni densità nuvola da drone Cappella 10 – dettaglio facciata.

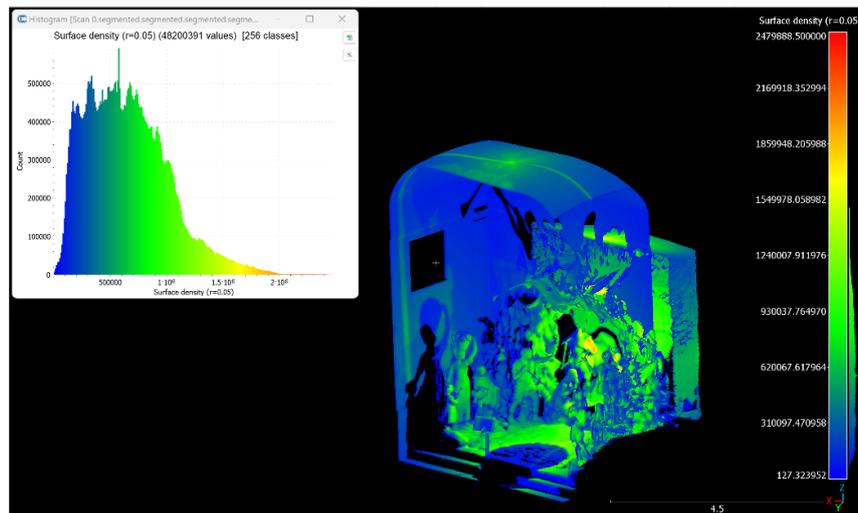


Figura 160: Risultato valutazioni densità nuvola da *Laser Scanner RTC* Cappella 10 – dettaglio interno.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

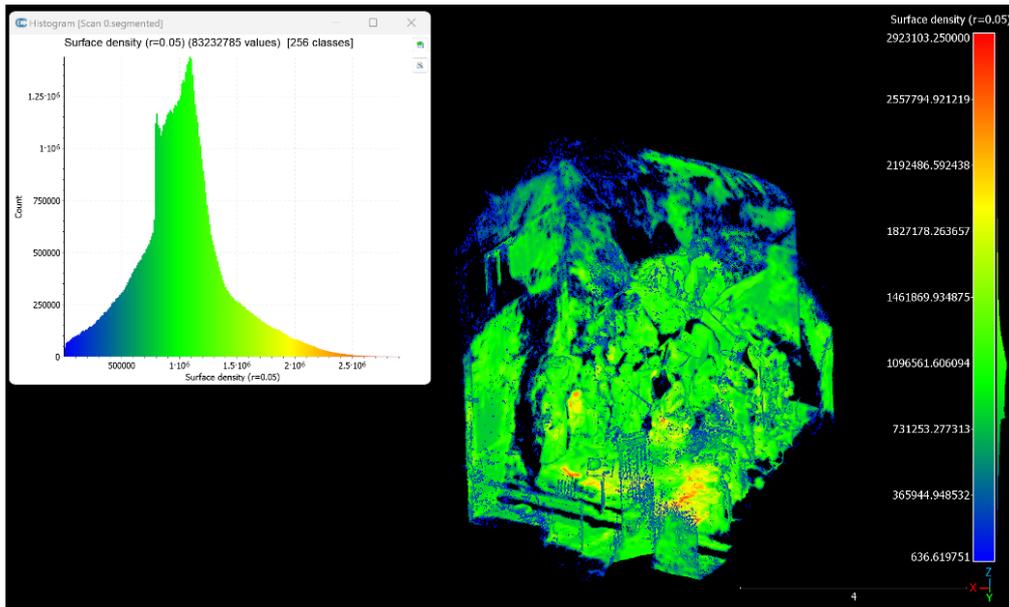


Figura 161: Risultato valutazioni densità nuvola da *viDoc* Cappella 10 – dettaglio interno.

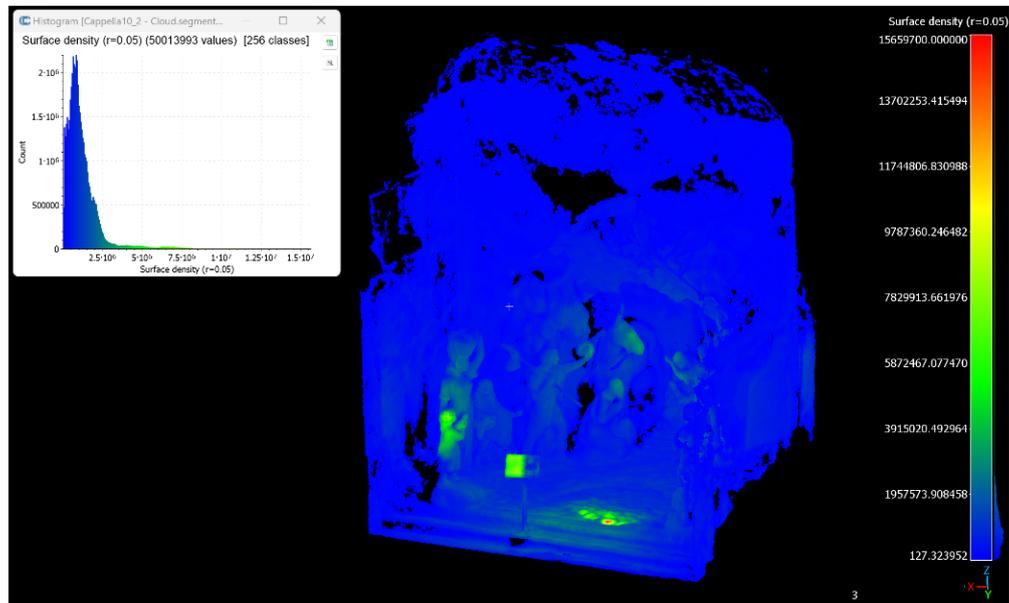


Figura 162: Risultato valutazioni densità nuvola da Stonex XVS Cappella 10.

Per quanto riguarda le nuvole degli interni della Cappella 10 il *Laser Scanner* RTC ha generato maggiore variabilità in corrispondenza del punto di acquisizione, ma in generale la Cappella si presenta più completa nella porzione alta a differenza delle altre due nuvole confrontate, da *viDoc* e da Stonex XVS, frutto della possibilità di direzionare il fascio *laser* di rilevamento anche ad angoli non raggiungibili con le tecniche fotogrammetriche tradizionali.

La densità della nuvola ricavata da Stonex XVS si presenta complessivamente bassa, se paragonata alle altre, con porzioni maggiormente rappresentate in funzione del passaggio su determinate aree del manufatto da parte dello strumento, tali da influenzare la distribuzione dei fotogrammi acquisiti, anche se generalmente dalla densità costante.

La nuvola generata da *viDoc* ha invece una elevata densità, grazie alla ridondanza dei fotogrammi, ma come già osservato in precedenza l'affidabilità spaziale non è sempre garantita e si possono osservare nelle aree a densità minori alcuni artefatti grafici.

5.10 ANALISI CRITICA

Grazie all'analisi sulle nuvole di punti ottenute, si possono ricavare una serie di considerazioni a valle delle valutazioni effettuate durante l'analisi stessa:

1. La nuvola ricavata da *Laser Scanner* Leica RTC 360 è stato dimostrato essere la più completa e affidabile, a conferma della necessità di realizzare campagne di acquisizione tramite strumentazione idonea, in grado di effettuare scansioni *Laser* statiche a elevata precisione e velocità. Una criticità osservata in fase di elaborazione è stata infatti proprio la mancanza di questa tipologia di acquisizione sul retro dei manufatti analizzati, mentre le coperture non essendo accessibili non possono essere rilevate con tale strumentazione, a meno di predisporre di appositi ponteggi o carrelli elevatori.
2. La nuvola ricavata da *Laser Scanner* Stonex X70GO ha dimostrato alcune criticità. Oltre alle difficoltà legate alla sua corretta georeferenziazione, che va eseguita utilizzando specifici punti di appoggio da segnalare durante l'acquisizione stessa, ha una densità complessivamente molto inferiore a uno *scanner* terrestre per via della minor velocità di acquisizione, ma risulta particolarmente indicata per raggiungere aree estese velocemente, come i sentieri del Sacro Monte, o per aree in cui è difficile posizionare strumentazione fissa per via delle condizioni ambientali e geomorfologiche.
3. La nuvola fotogrammetrica ricavata dall'elaborazione dei fotogrammi da drone è essenziale per la rappresentazione delle coperture, inoltre se la campagna di rilievo è correttamente realizzata porta alla generazione di nuvole moderatamente dense ma molto precise e regolari nella distribuzione spaziale dei punti. Risulta essenziale nella fase di rilievo programmare le acquisizioni attraverso strisciate il più regolari possibili e con una sufficiente sovrapposizione. Rientra insieme alla nuvola ricavata da *Laser Scanner* terrestre tra gli strumenti essenziali per una efficiente campagna volta all'ottenimento di una nuvola di punti densa esterna del manufatto.
4. La nuvola fotogrammetrica ricava dall'elaborazione dei fotogrammi da *viDoc* è risultata generalmente poco efficace. Lo scatto automatico dei fotogrammi non è ottimale e genera spesso foto non a fuoco che, una volta inserite nei programmi di analisi fotogrammetrica generano artefatti grafici. Il riconoscimento dei punti in comune nei fotogrammi da parte del *software* è risultato difficoltoso, oltre a comportare la generazione di aree di punti disallineate e scarsamente dense. Per tale ragione l'uso di tale sistema è da consigliare solo in contesti estesi e senza un'elevata precisione richiesta, con obiettivo finale un'acquisizione di massima.
5. La nuvola fotogrammetrica ricava dall'elaborazione dello Stonex XVS è stato osservato essere particolarmente efficace nella rappresentazione degli elementi decorativi interni, come statue, piedistalli e affreschi, e apre nuovi campi di studio in merito alla sua applicabilità nella registrazione cromaticamente attendibile dei manufatti e quindi del degrado garantendo elevati livelli di dettaglio e un'ottima resa grafica. L'impossibilità di generare automaticamente delle *mesh* può complicare il processo di esportazione del risultato, ma permette la georeferenziazione di manufatti di precisione che possono essere allocati all'interno di modelli federati in funzione delle coordinate condivise.
6. L'elaborazione dei fotogrammi e delle riprese ottenute dalla fotocamera 360° non è stata realizzata, ma potenzialmente permette l'ottenimento di nuvole di punti, a ridotta precisione, di aree estese in breve tempo, più efficientemente del *viDoc*, ma presumibilmente con una minore attendibilità.

Non è stata prevista l'applicazione di scansioni volumetriche tramite griglie a infrarossi, come nel caso dello Stonex F6, utilizzato in una seconda campagna di rilievo realizzata al Sacro Monte nel mese di settembre 2024, limitata però alle sole Cappelle 11, 13 e 15, non parte del progetto di Tesi.

5.11 APPLICAZIONI ALLA MANUTENZIONE PROGRAMMATA

La conoscenza approfondita dei manufatti è un prerequisito essenziale per qualunque intervento che debba essere svolto su di essi, la stessa Norma UNI EN 16853:2017 evidenzia la necessità di una fase di analisi approfondita tramite osservazione visuale e indagini scientifiche a seguito.

L'osservazione visuale però potrebbe non essere sufficiente alla corretta rappresentazione e interpretazione del contesto di inserimento nella sua complessità, legata all'interazione con l'ambiente e con le strutture in cui si inserisce o con cui interagisce, ed è soggetto a errori umani legati all'interpretazione dell'oggetto tramite semplificazione.

Questa procedura, quindi, può generare a catena effetti deleteri sull'efficacia dell'intervento, oltre a necessitare una schematizzazione di quelle che sono le criticità e il degrado del manufatto, analizzato peraltro esclusivamente nelle componenti maggiormente visibili e accessibili.

Inoltre, le indagini scientifiche, concentrandosi sulla specificità e su aree localizzate del manufatto, non possono garantire una validità generale dell'osservazione, dovendo semplificare il fenomeno in aree di intervento ben definite.

Solo attraverso la corretta conoscenza della conformazione spaziale e cromatica dei manufatti rende possibile una comprensione dei fenomeni da una prospettiva più organica e globale, analizzando l'interconnessione tra di essi, che in un edificio possono essere legati a fenomeni endogeni o esogeni, ma che portano inevitabilmente a uno specifico degrado osservabile.

La modellazione tridimensionale dei manufatti edilizi storici sta diventando progressivamente più diffusa e applicata, nonostante le difficoltà legate alla sua esecuzione per via dell'irregolarità degli elementi che la compongono, ma la maggior difficoltà a oggi risiede ancora nella possibilità di disporre di una rappresentazione fedele e facilmente consultabile anche degli apparati decorativi di dettaglio, dalle pitture murarie ai dettagli degli apparati statuari.

Una soluzione per i manufatti meno complessi prevede la modellazione di elementi personalizzati importabili all'interno dei modelli, ma non sempre ciò rappresenta l'opzione più semplice, inoltre comporta un notevole dispendio di risorse che possono risultare complessivamente poco utili al fine ultimo ricercato, ovvero la gestione dei manufatti esistenti e la manutenzione programmata.

La codifica degli elementi caratterizzanti l'edificio che si intende gestire è essenziale per un corretto tracciamento delle operazioni, garantendo un'ottimizzazione nell'esecuzione delle pratiche e nell'interoperabilità tra i soggetti coinvolti che possono esclusivamente seguire le indicazioni fornite al fine di tradurre la codifica per ricavare l'oggetto assegnato.

Gli elementi codificati possono essere muniti anche di una rappresentazione grafica tale da facilitarne la comprensione, ma, come già anticipato, mentre per le strutture edilizie è possibile generare modelli affidabili in brevi intervalli di tempo, per gli apparati decorativi questo non è sempre possibile.

Per andare incontro alle problematiche relative alla modellazione di quest'ultimi e per ottenere informazioni anche più attinenti alla realtà stessa del manufatto si può far uso di nuvole di punti a elevata precisione, o più generalmente di ricostruzioni del manufatto attraverso strumentazione di precisione.

Nel panorama professionale sono in aumento gli strumenti in grado di coadiuvare le operazioni di rilievo di dettaglio tramite tecnologie anche molto variegata e dalle peculiarità legate alla tecnica stessa di rilevamento, che sia essa fotogrammetrica, basata su *laser scanner*, o attraverso scomposizione delle geometrie tramite scansione volumetrica.

Una delle tecnologie maggiormente promettenti, applicata inoltre nel rilievo realizzato al Sacro Monte di Crea è quasi certamente lo Stonex XVS, i cui risultati hanno superato le aspettative rivelandosi estremamente validi nella rappresentazione di dettaglio, nonostante le problematiche relative alla difficoltà di acquisizione in condizione di scarsa luminosità.



Figura 163: Confronto tra dettaglio statue Cappella 10 nella nuvola da Stonex XVS (sinistra) e Leica RTC 360 (destra).

Lo strumento di acquisizione fotogrammetrica traduce autonomamente gli elementi osservati in una rappresentazione tridimensionale servendosi di appositi *Marker* che facilitano la ricostruzione spaziale allo strumento.



Figura 164: Confronto tra dettaglio statue Cappella 16 nella nuvola da Stonex XVS (sinistra) e viDoc (destra).

La qualità della rappresentazione ottenuta, pur essendo naturalmente composta da una nuvola di punti, apre alla possibilità di visualizzare nel dettaglio anche aree di difficile accesso degli apparati statuari, potenzialmente rilevante dal punto di vista strutturale, senza comprometterne la stabilità e la sicurezza.

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

Paragonato infatti a tecniche fotogrammetriche speditive, come il *viDoc*, la differenza qualitativa complessiva è notevole, permettendo il raggiungimento di elevate precisioni e fedeltà cromatica con lo stesso quantitativo di tempo.

L'unica criticità che è possibile osservare, oltre alla scarsa luminosità complessiva dell'acquisizione, è il ridotto range di campionamento che non permette di raggiungere efficacemente ad esempio i soffitti, e che quindi dovrebbero essere rilevati con tecniche di *laser scanner* simili al Leica RTC 360 utilizzato.



Figura 165: Confronto tra sezione volta Cappella 10 nella nuvola da Stonex XVS (sinistra) e Leica RTC 360 (destra).

In alternativa ai sistemi fotogrammetrici possono essere applicate anche scansioni volumetriche, come è stato svolto in una seconda campagna di rilievo al Sacro Monte di Crea nel mese di settembre 2024, facendo uso dello Stonex F6.

L'esecuzione di una scansione volumetrica simile sul campo non è dissimile da quanto sia necessario svolgere in un rilevamento fotogrammetrico con strumentazione simile allo Stonex XVS, anche se in generale si può osservare una maggiore velocità di acquisizione, pur conservando problemi analoghi relativi alla luminosità.

Il vantaggio di un sistema di scansione volumetrico è legato alla generazione non soltanto di una nuvola di punti, ma anche di una *mesh* poligonale estraibile e importabile tramite formato *.obj* o *.ply* all'interno di *software* di raccolta e visualizzazione dati, come BIM o GIS.

La generazione invece di *mesh* poligonali facendo uso di nuvole di punti risulta più difficoltosa e meno precisa, ed è fortemente influenzata dalla qualità dell'acquisizione e dalle aree "vuote" in essa.

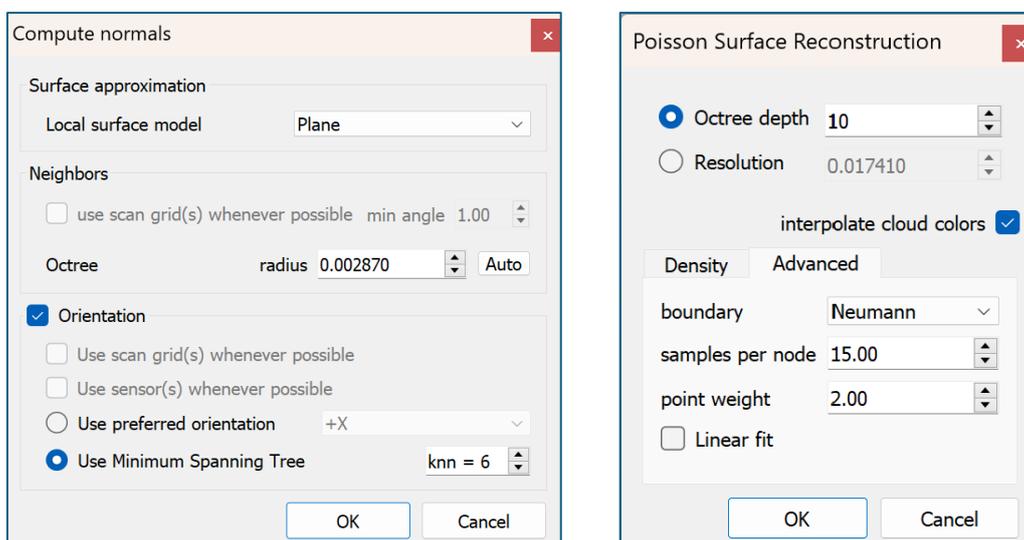


Figura 166: Istruzioni per generazione *mesh* da nuvola di punti su *CloudCompare*.

Dopo aver individuato l'area da convertire è essenziale ripulirla dai punti ritenuti non necessari per evitare la formazione di artefatti grafici nella fase di sviluppo in *mesh*.

Per prima cosa è necessario calcolare le normali in *Edit* → *Normals* → *Compute*, si imposta *Local surface model* come *Plane* e l'*Octree* si imposta da *Auto* in funzione della complessità del sistema.

A questo punto si provvede all'effettiva determinazione delle *mesh* poligonali attraverso il comando *Plugins* → *PoissonRecon*. Si imposta come valore di *Ocree depth* 10, superiore al valore di default 8 ritenuto non sufficiente alla rappresentazione della complessità del modello.

Si imposta poi *boundary* su *Neumann*, i *samples per node* vengono portati a 15 per andar incontro a eventuale rumore e il *point weight* a 2.



Figura 167: Confronto tra nuvola di punti (sinistra) e *mesh* ottenuta (destra).

Il risultato ottenuto risulta piuttosto valido per quanto riguarda gli apparati statuari che risultano essere ben rappresentati, ma il sistema ha creato un completamento delle aree ritenute senza dato con la creazione di un "telo" di congiunzione non necessario, anche per via della scarsa quantità di dati sul retro degli apparati statuari. Tramite segmentazione è stato possibile procedere alla sua rimozione.



Figura 168: La *mesh* ripulita in formato *.ply* (destra).

5. RILIEVO DI UN SITO PATRIMONIO CULTURALE

La potenzialità data dalla generazione di modelli tridimensionali a partire da nuvole di punti di dettaglio permetterebbe di poter progettare interventi manutentivi di dettaglio anche a seguito di un solo rilievo del genere, aprendo alla possibilità di generare uno storico dei risultati degli interventi realizzati tramite la georeferenziazione dei manufatti, selezionando l'anno di interesse per la visualizzazione.

Questo è applicabile esclusivamente a interventi a partire dallo stato attuale, ma permette di ricostruire il passaggio evolutivo del manufatto nel corso degli anni, eventualmente anche attraverso scansioni periodiche per determinarne il grado di conservazione.

L'applicabilità è estendibile naturalmente anche all'esterno dei manufatti, ma la dimensione dei *file* contenenti le nuvole di punti può rappresentare un limite non superabile in tali casi e la realizzazione di *mesh* potrebbe non soddisfare il grado di dettaglio e classificazione richiesto. Per tale ragione in numerosi casi si preferisce realizzare oggetti semplificati ma allo stesso tempo muniti di tutte le informazioni essenziali e quindi interrogabili, considerando però la possibilità di utilizzare le *mesh* per generare texture a elevato livello di dettaglio e comprensive di tutte le informazioni rilevabili sul posto.

Le potenzialità applicative del sistema sono numerose, ma è essenziale garantire la tracciabilità di tutte le informazioni, grafiche e testuali, che si ha intenzione di riportare, al fine di applicare i risultati ottenuti nelle operazioni di manutenzione dei manufatti, non soltanto straordinarie, ma anche programmatiche a intervalli di tempo prestabiliti in accordanza con le caratteristiche dei manufatti coinvolti.

Dopo queste elaborazioni è possibile procedere alla modellazione architettonica di uno dei manufatti oggetti dello studio, la Cappella 10, presentato nel capitolo a seguire, al fine di generare un modello tridimensionale a cui applicare le informazioni ricavate e classificando gli elementi che lo compongono.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 5

- [01] GALETTO R., SPALLA A. 1998, *Capitolo VIII: Fotogrammetria*, in *Lezioni di Topografia*, Pavia: CUSL, pp. 220-288.
- [02] ALBERY E., LINGUA A. M., RINAUDO F. 2000, *Tecniche e strumenti innovativi per il rilievo metrico dei beni culturali*, in *Atti di convegno: Giornata nazionale di studi del CIPA*, pp. 79-87.
- [03] SAGGIO A. 2010, *Architettura e modernità. Dal Bauhaus alla rivoluzione informatica*, Roma: Carocci, ISBN: 978-8843051649.
- [04] GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M. 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in A. CARVALE, *Archeologia e Calcolatori*, Sesto Fiorentino: Edizioni All'Insegna del Giglio, vol. 22, ISSN: 1120-6861, pp. 169-198.
- [05] CANNAROZZO R., CUCCHIARINI L., MESCHIERI W. 2012, *Misure, rilievo, progetto*, Bologna: Zanichelli, ISBN: 978-8808123817.
- [06] CHIABRANDO F., LINGUA A. M., MASCHIO P., RINAUDO F., SPANÒ A. 2012, *Mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo per il rilievo fotogrammetrico in ambito archeologico*, in *Una giornata informale per i 70 anni del Prof. Carlo Monti, 3 maggio 2012*, Milano: Politecnico di Milano, pp. 1-12.
- [07] VAN RIELD S. 2016, *Exploring the use of 3D GIS as an analytical tool in archaeological excavation practice*, Lunds: Lunds Universitet, DOI: 10.13140/RG.2.1.4738.2643.
- [08] PIGATO C. 2017, *TOPOGRAFIA VOL.2*, Milano: Poseidonia scuola, ISBN: 978-8848263481.
- [09] CHIABRANDO F., COLUCCI E., LINGUA A. M., MATRONE F., NOARDO F., SPANÒ A. 2018, *A European Interoperable Database (EID) to increase resilience of cultural heritage*, in *INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, Hannover: ISPRS, DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-151-2018, vol. 42, ISSN: 1682-1750, pp. 151-158.
- [10] SCIANNA A., CASTAGNETTI C., MATRONE F. 2018, *IL BENCHMARK SIFET 2018: Restituzione di modelli 3D/BIM/HBIM da nuvole di punti prodotte da rilievi UAV o laser scanning terrestre*, in *Convegno 22° Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano, 27-29 Novembre 2018*, pp. 901-910.
- [11] KHOMSIN K., PRATOMO D. G., ANJASMARA I.M., FAIZZUDDIN A. 2019, *ANALYSIS OF THE VOLUME COMPARISON OF 3'S (TS, GNSS and TLS)*, in *E3S Web of Conferences*, vol. 94 (1), DOI: 10.1051/e3sconf/20199401014, pp. 1-6.

SITOGRAFIA CAPITOLO 5

- [12] 3D SCANTECH, *Preserving the Sacred: 3D Scanning and Replicating the Sculpture of Sainte Anne d'Auray*, <<https://www.3d-scantech.com/preserving-the-sacred-3d-scanning-and-replicating-the-sculpture-of-sainte-anne-dauray/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [13] 3DMETRICA, *Homepage*, <<https://3dmetrica.it/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [14] BIMEX, *Laser Scanning and the Different Types of Laser Scanners*, <<https://bimexeng.com/blog/technology/laser-scanning-and-the-different-types-of-laser-scanners>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [15] DJI AGRICOLTURE, *DJI Mavic 3M*, <<https://ag.dji.com/it/mavic-3-m>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [16] DJI, *DJI MINI 3 PRO*, <https://www.dji-store.it/categoria/droni-con-fotocamera/dji-mini/dji-mini-3-pro/?srsltid=AfmBOorGqIHxlrp1LZ00VOH7bK70UJ4_xnXzeR7IA3zLd5-8f8coR9m9>. (Ultima consultazione 18/10/2024)

- [17] EUDRONE PORT, *Sintesi Drone Open e Specifica per il 2024*, <<https://eudroneport.com/it/blog-it/easa-aperto-e-specifico/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [18] GECO - LABORATORIO DI GEOMATICA PER L'AMBIENTE E LA CONSERVAZIONE DEI BENI CULTURALI, *i racconti*, <<https://geomaticaeconservazione.it/racconti/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [19] GPSGEOMETER, *What is GNSS RTK and how does it work?*, <<https://gpsgeometer.com/en/blog/what-is-gnss-rtk-and-how-does-it-work>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [20] INSTA360, *Insta360 ONE RS*, <<https://www.insta360.com/it/product/insta360-oners/1inch-360>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [21] LEICA, *Leica RTC360 3D Laser Scanner*, <<https://leica-geosystems.com/it-it/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [22] RILEVAMENTO FOTOGRAMMETRICO DELL'ARCHITETTURA A CURA DI ANGELO MARZOCCA, *Cenni storici sulla fotogrammetria*, <http://rilievo.stereofot.it/studenti/aa04/marzoCCA/fotog/f_storia.htm>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [23] SPIN3 GNSS, *Stazioni permanenti*, <<https://www.spingnss.it/stazioni/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [24] STONEX, *s990a*, <<https://www.stonex.it/it/project/s990a-ricevitore-gnss/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [25] STONEX, *X70 GO*, <<https://www.stonex.it/it/project/x70go-slam-laser-scanner/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [26] STONEX, *XVS*, <<https://www.stonex.it/it/project/xvs-vslam-3d-scanner/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [27] TECHCRUNCH, *DJI's new Mini 3 Pro drone hits the aerial photography sweet spot*, <<https://techcrunch.com/wp-content/uploads/2022/05/DJI-Mini-3-Pro-02.jpg>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
- [28] VIDOC, *viDoc® Functionality*, <<https://vidoc.com/en/vidoc/vidoc-functionality/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)

6. LA MODELLAZIONE DELL'ESISTENTE

La metodologia di rilievo esplicita in precedenza è di essenziale importanza al fine di ottenere una nuvola densa di punti adeguata al suo utilizzo come fonte di informazioni geometriche e spaziali. Tramite esse è possibile realizzare rappresentazioni tridimensionali del manufatto in questione che, una volta integrate con le informazioni ricavate dall'analisi storica e sul campo, permettono di ottenere modelli informativi idonei alla valutazione del degrado e degli interventi a cui debbano essere soggetti.

La metodologia di modellazione adottata è l'HBIM, *Historical Building Information Modeling*, sottocategoria della più ampia definizione di BIM.

6.1 BIM: SIGNIFICATO E CAMPO DI APPLICAZIONE

L'acronimo BIM va inteso come metodologia per la generazione di un modello virtuale informato contenente tutte le informazioni sul manufatto, comprendendone l'intero ciclo di vita.

Nel dettaglio è possibile attribuirne tre definizioni complementari tra loro legate alle *Building Information*, le informazioni sui manufatti edilizi:

- *Building Information Model*: rappresentazione di un manufatto tramite un modello informativo costituito da oggetti digitali corrispondenti agli elementi tecnici reali e contenenti tutte le informazioni inerenti all'intero ciclo di vita del manufatto;
- *Building Information Modeling*: metodologia integrata e condivisa che prevede la programmazione, progettazione, realizzazione, gestione e manutenzione di una costruzione che faccia uso di un modello informativo a più dimensioni;
- *Building Information Management*: metodologia di *Project Management* per l'organizzazione e il controllo dei processi, utile a semplificare i flussi di lavori e le procedure affinché i differenti attori coinvolti attingano informazioni verificabili e interrogabili in ogni fase.

Le definizioni qui proposte non sono esclusive l'una rispetto all'altra, ma anzi lo specifico utilizzo di un modello realizzato può essere afferente a differenti dimensioni, nonostante la classificazione più generale, *Building Information Modeling* rimanga la più pratica e comunemente utilizzata.

Grazie alla collaborazione delle differenti figure coinvolte è possibile arricchire il modello attraverso l'inserimento, l'estrazione, l'aggiornamento e la modifica di informazioni associate a specifiche categorie univoche, gli oggetti, ognuna munita di una precisa identità e corredata da informazioni geometriche oltre che da una serie di dati alfanumerici relativi alla posizione, al materiale, alle caratteristiche tecniche, dello stato manutentivo, etc...

Le informazioni che possono essere contenute all'interno del modello virtuale sono variegata e includono ma non si limitano a:

- Geometria;
- Materiali;
- Struttura portante;
- Caratteristiche termiche e prestazioni energetiche;
- Impianti;
- Costi;
- Sicurezza;
- Manutenzione;
- Ciclo di vita;
- Demolizione;
- Dismissione;

6. LA MODELLAZIONE DELL'ESISTENTE



Figura 169: BIM e il ciclo di vita di una costruzione (ACCA, Guida al BIM 2 La rivoluzione digitale dell'edilizia – Prima edizione).

La metodologia rende il procedimento fluido e integrato tra i diversi professionisti coinvolti, attraverso un approccio basato sulla collaborazione, il coordinamento, la condivisione e il confronto, permettendo la “costruzione” e la gestione di un edificio ancor prima della sua effettiva realizzazione fisica. Il progetto è infatti visualizzabile tramite *BIM Viewer* dai soggetti coinvolti al fine di analizzarlo ed estrarne le caratteristiche ricercate.

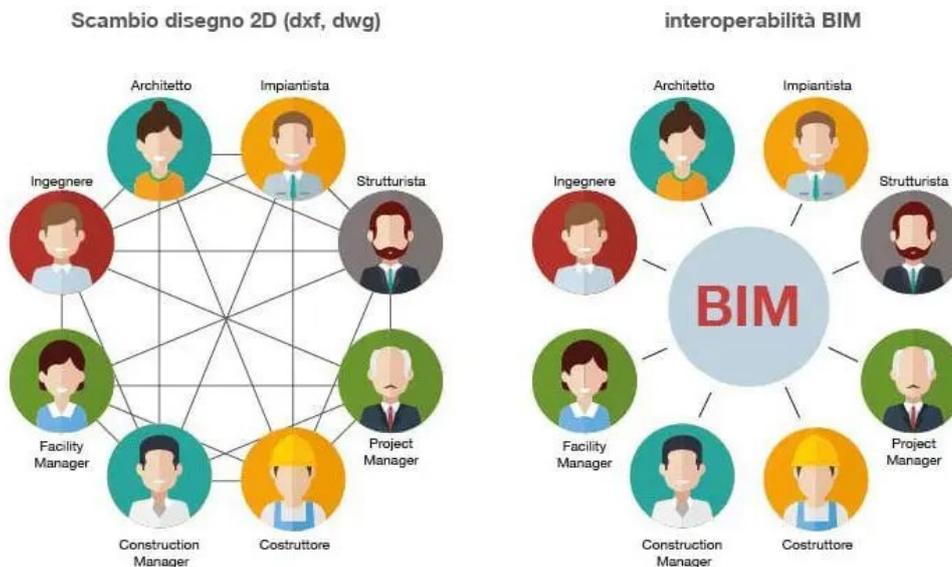


Figura 170: Interoperabilità (ACCA, Guida al BIM 2 La rivoluzione digitale dell'edilizia – Prima edizione).

I vantaggi legati all'adozione di tale metodologia in merito al processo di progettazione, in confronto a un sistema tradizionale, possono essere infine così sintetizzati:

- risparmio di tempo e costi: il progettista modella esclusivamente gli elementi di interesse dotandoli delle proprietà e delle informazioni ricercate;
- riduzione degli errori: gli elaborati sono coerenti in quanto ricavati da un singolo manufatto modellato, ripercuotendo eventuali modifiche su tutte le viste considerate;
- maggiore semplicità: possibilità di generare modelli anche molto complessi, difficilmente realizzabili attraverso la metodologia tradizionale, anche attraverso l'astrazione delle forme.

6.2 METODOLOGIA HBIM

Il concetto di *Historical Building Information Modeling*, abbreviato in HBIM, è stato coniato nel 2009 in un articolo scientifico del Professor Maurice Murphy del *Dublin Insitute of Technology*. Il termine denota un processo applicato agli edifici storici che si rifà alla metodologia BIM tradizionale ma con l'obiettivo di conservare, gestire e documentare le opere storiche.

L'applicazione di tale disciplina a oggi è ancora poco diffusa in Italia, nonostante più del 60% degli edifici abbia un'età superiore ai 40 anni. Risulta essenziale comprenderne le potenzialità al fine di salvaguardare i manufatti storici per valutarne l'evoluzione nel tempo, lo stato di conservazione e l'integrità funzionale attraverso un processo integrato tra i professionisti coinvolti.

La normativa italiana UNI 11337-4:2017 è stata la prima a introdurre una classificazione di livello di dettaglio, *Level of Detail*, appunto LOD, specifica per gli oggetti eseguiti, LOD F, e aggiornati o mantenuti, LOD G.

Il processo HBIM ripercorre quanto già precedentemente enunciato per il processo BIM, ma si affiancano in questo caso informazioni legate alla storicità del manufatto e agli interventi che sono stati eseguiti su di esso e che dovranno essere eseguiti, oltre alle campagne di rilievo eseguite e le alterazioni dovute al degrado che è stato possibile riscontrare.

L'eterogeneità delle informazioni richiede specifici *software* in grado di garantire l'interoperabilità tra i diversi attori coinvolti non dissimile dalla metodologia BIM. Quanto invece è differente è il *workflow*, che prevede a monte di predisporre di accurata documentazione grafica digitalizzata o non, tale da rappresentare una base spaziale per la modellazione del manufatto.

Le nuvole di punti, rappresentazione a elevata precisione della porzione superficiale dei manufatti, sono ottenibili attraverso tecnologie fotogrammetriche e di *laser scanner*. Attraverso il loro impiego è possibile ricostruire il modello tridimensionale BIM.

La realizzazione geometrica di un modello HBIM può richiedere anche molto tempo in quanto gli strumenti di modellazione BIM non sono stati pensati per la gestione delle irregolarità e unicità che caratterizzano questi manufatti e rende necessaria la realizzazione di componenti e librerie personalizzate, modellate tramite la combinazione di elementi semplici lungo tracciati irregolari o tramite rotazione di profili complessi.

Per tale ragione l'interoperabilità nel processo HBIM è a tratti ancor più complessa dell'originario metodo BIM, con una maggiore rappresentazione di dettaglio degli elementi.

Viene ora evidenziata la metodologia seguita al fine di ricavare il modello HBIM partendo dalle nuvole di punti dense elaborate precedentemente solo per la Cappella 10, ma è possibile realizzare il medesimo processo anche per la Cappella 16.

6.3 MODELLAZIONE CAPPELLA 10

La modellazione della Cappella 10 è avvenuta tramite il *software Autodesk Revit 2022.1.7*.

L'elaborazione dei dati relativi alla campagna di rilievo ha permesso di raggiungere precisioni inferiori al centimetro, idonee alla rappresentazione in scala 1:100 dei manufatti, limitandosi inoltre alla sola superficie dei manufatti, senza informazioni in merito alla stratigrafia.

Autodesk Revit è uno dei *software* BIM più noti internazionalmente permettendo un flusso di lavoro multidisciplinare attraverso l'interscambio di informazioni tra le discipline coinvolte. La metodologia è *object-based*, avvalendosi di oggetti parametrici, detti Famiglie, con reciproche interrelazioni al fine di rappresentare i componenti edilizi. Gli oggetti appartengono inoltre a specifiche categorie in base alla funzionalità di questi all'interno del progetto.

L'organizzazione in Famiglie è strutturata in tre differenti tipologie:

- Famiglie di sistema: elementi primari utilizzati per rappresentare gli edifici, comprendono ad esempio muri, tetti, pavimenti, scale oltre che livelli, griglie strutturali e quote. Salvate direttamente all'interno dell'ambiente di progetto, sono scarsamente personalizzabili, solo attraverso parametri geometrici predefiniti, ma possono essere definiti ulteriori parametri per una più efficace caratterizzazione delle informazioni;
- Famiglie caricabili: elementi dall'elevato grado di personalizzazione per cui la creazione avviene attraverso l'*Editor* delle Famiglie. Vengono caricate all'interno dell'ambiente di progetto all'occorrenza;
- Famiglie locali: elementi specifici e unici, simili alle famiglie caricabili, ma la cui creazione avviene all'interno del progetto, è possibile sfruttare categorie di oggetti già presenti all'interno del progetto, ma gravano sulle prestazioni del *software* incrementando la dimensione del *file*.

Il nome *Revit* stesso deriva dall'abbreviazione "*Revise instantly*", "revisione istantanea", e rappresenta la possibilità di aggiornare contemporaneamente in tutte le viste associate al modello tutte le informazioni, oltre alla generazione automatica di un abaco, un database contenente tutti i dati inseriti all'interno del modello. Il *software* garantisce inoltre piena interoperabilità con il pacchetto *Autodesk* e garantisce l'esportazione e l'importazione di dati nel formato di interscambio *standard IFC*.

6.3.1 Importazione nuvola di punti e definizione del punto base di progetto

La generazione del modello all'interno del *software Revit* ha previsto in primo luogo la conversione della nuvola di punti unificata per la Cappella 10 all'interno del *software Autodesk Recap*, che ha permesso non solo di convertire il file in un formato importabile da *Revit*, con estensione *.rcp*, ma anche di superare la difficoltà incontrata con l'elevato numero di caratteri di precisione del punto base di importazione. È stato individuato un punto con un ridotto numero di caratteri di precisione per favorire il riconoscimento da parte di *Revit* che, in precedenza forniva *alert* in merito al numero di cifre significative: "*Le coordinate dei punti nei file delle nuvole di punti che si sta tentando di importare sono maggiori di 30000. L'importazione dei file potrebbe determinare comportamenti grafici indesiderati*".

Provveduto alla conversione del file in formato *.rcp* è stato realizzato un nuovo file di progetto *Revit* impostando le coordinate del punto base di progetto pari a quelle attese nel suddetto punto corrispondente, considerate secondo il sistema di riferimento WGS84:

- N/S = 4993805.2030
- E/O = 442804.3150
- Quota altimetrica = 423.9504

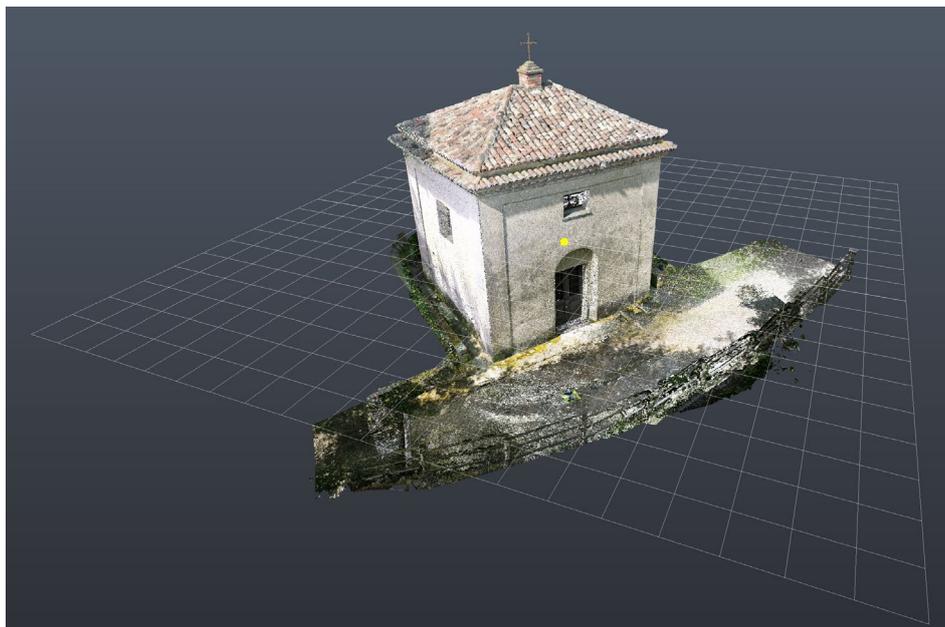


Figura 171: Nuvola Cappella 10 visualizzata all'interno di Autodesk Recap.

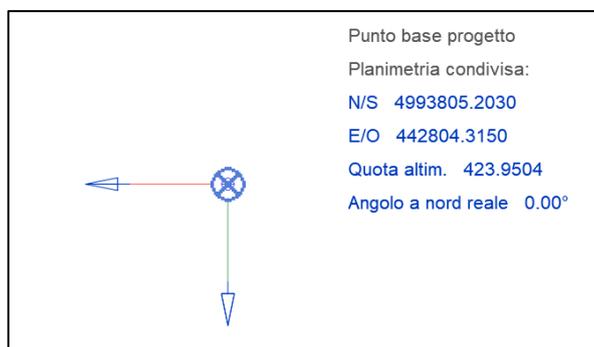


Figura 172: Coordinate punto base di progetto.

A seguito la nuvola realizzata è stata inserita all'interno del progetto appena creato avendo cura di selezionare all'interno della voce *Posizionamento* l'opzione *Automatico: da origine a origine*.



Figura 173: Visualizzazione della nuvola di punti nella vista 3D.

6. LA MODELLAZIONE DELL'ESISTENTE

Si procede quindi alla definizione dei principali livelli di lavoro, che diverranno la base per la successiva modellazione.



Figura 174: Definizione dei principali livelli per la modellazione.

Nonostante appositi *plug-in* di *Revit* siano in grado di convertire automaticamente elementi di nuvole di punti in oggetti del modello, l'approccio è di difficile attuazione quando si opera su edifici storici, non permettendo di ottenere risultati giudicati soddisfacenti. Per tale ragione la modellazione è stata eseguita con gli strumenti base offerti dal *software Revit*, permettendo di ottenere una adeguata rappresentazione dimensionale del manufatto.

Gli elementi architettonici rappresentabili con famiglie di sistema sono stati modellati come tali, ma a causa dell'elevato grado di irregolarità della copertura e più in generale della porzione superiore della facciata sono state adoperate in tali casi delle famiglie locali generate dalla modellazione di componenti locali.

La modellazione delle lesene angolari, dei fregi superiori della facciata e delle aperture strombate caratterizzanti le porte e le finestre sono state modellate proprio tramite componenti locali, questo anche in virtù della singolarità degli elementi, difficilmente utilizzabili in progetti simili.

La modellazione invece dei muri, delle coperture e della pavimentazione interna ha fatto uso delle famiglie di sistema, modificando opportunamente i vincoli e l'altezza dei punti di manipolazione al fine di permettere la rappresentazione delle irregolarità rilevate.

6.3.2 Modellazione con famiglie di sistema

In primo luogo, è stata effettuata la modellazione della muratura. Lo spessore è stato ricavato attraverso osservazione della nuvola di punti, in grado di fornire informazioni sulla posizione della superficie interna ed esterna. Dalla differenza si ricava il valore dello spessore murario, riconfermandosi piuttosto elevato, mediamente intorno ai 75 cm, e dall'esame della composizione muraria sul campo è stato possibile dedurre i muri siano composti in pietra con intonaco da ambo i lati. La parete di fondo del portale di accesso invece, pur essendo realizzata con la medesima composizione muraria è considerevolmente più sottile, pari a circa 30 cm.

La stratigrafia della pavimentazione interna ed esterna è stata ipotizzata in quanto non noto lo spessore reale o la composizione materica, inoltre non sono stati tenuti in considerazione gli apparati statuari nella modellazione in questione. Per l'esecuzione è stato fatto uso del comando *Pavimentazione*, procedendo a disegnare il perimetro dell'area interessata, suddividendo la pavimentazione interna da quella esterna e operando sui punti di manipolazione per garantire il rispetto delle altezze dei punti reali corrispettivi.

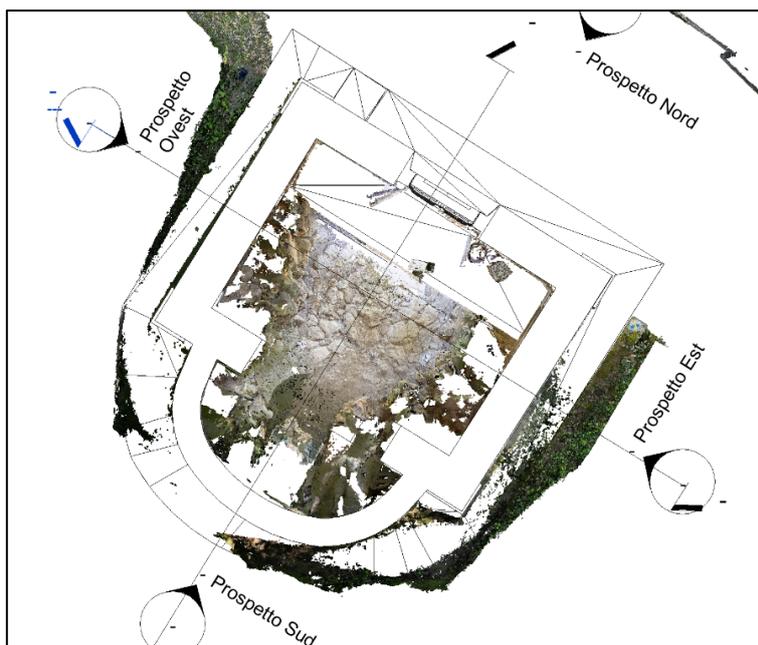


Figura 175: Modellazione muri tramite l'osservazione in pianta della nuvola di punti.

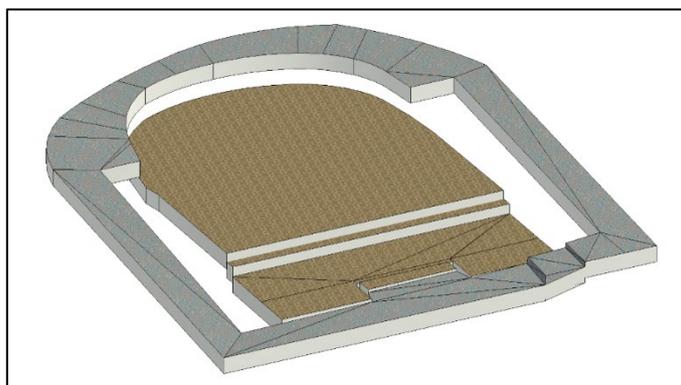


Figura 176: Pavimentazione Cappella 10.

Le coperture sono note dal rilievo essere composte da coppi e sorrette da una sottostruttura in calcestruzzo e legno, ma nel caso in questione sono state esclusivamente rappresentate le coperture in coppi a eccezione dell'abside in cui la soletta in calcestruzzo appena citata risulta visibile dall'interno, e della volta interna a doppia curvatura, la cui modellazione è stata infine realizzata nella medesima tecnica.

La modellazione è avvenuta attraverso il comando *Tetto da perimetro*, disegnando in pianta in base alla visualizzazione della nuvola di punti la copertura e modificandone i punti di manipolazione in funzione dell'altezza rilevata.

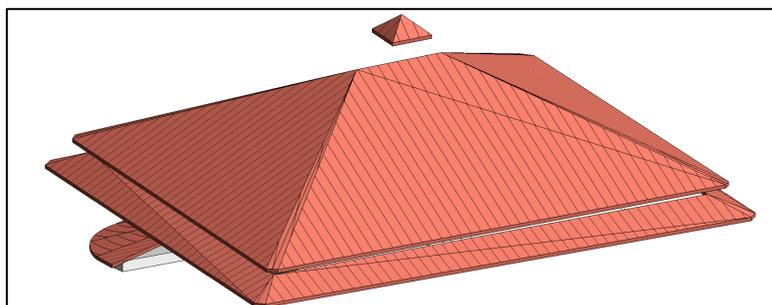


Figura 177: Coperture Cappella 10.

6.3.3 Modellazione della Famiglie locali

Per la modellazione delle sopracitate lesene, così come dei fregi, delle mensole e le strombature delle porte e finestre è stata effettuata generando dei modelli locali tramite estrusione lungo un percorso. Questo ha permesso non solo di poter rappresentare gli elementi correttamente inclinati, ma di eseguire raccordi angolari tra di essi con elevata precisione e semplicità.

Tramite il comando *Costruisci* → *Componente* → *Modello locale* → *Estrusione* è possibile estrarre elementi perpendicolari ai piani, questo è stato eseguito per realizzare le lesene angolari esterne.



Figura 178: Visualizzazione in pianta del profilo delle lesene.

Per la generazione invece degli elementi lineari ma non perpendicolari ai piani come i fregi e le strombature delle finestre oltre che del portale di accesso è stato fatto uso del comando *Costruisci* → *Componente* → *Modello locale* → *Estrusione su percorso*.

In questo caso è essenziale definire oltre al piano di lavoro anche il percorso di estrusione che verrà seguito dal profilo disegnato.

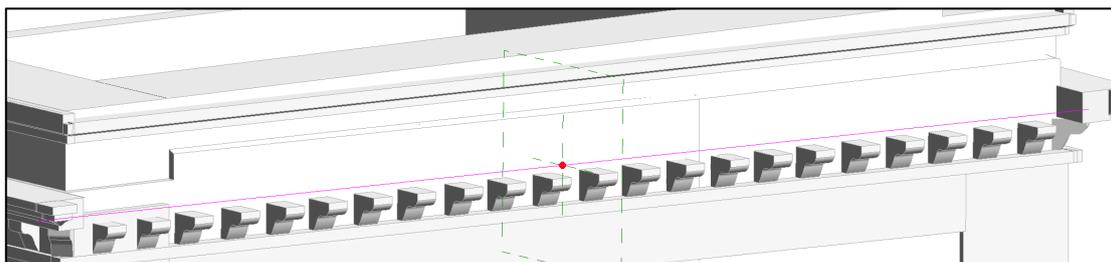


Figura 179: Percorso di estrusione.

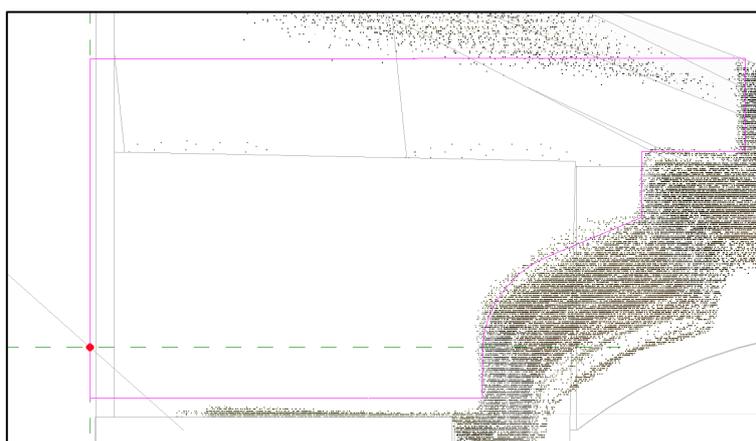


Figura 180: Visualizzazione in sezione del profilo di estrusione.

Per la realizzazione delle mensole il procedimento è simile in quanto si adopera sempre il comando *Costruisci* → *Componente* → *Modello locale* → *Estrusione su percorso*, ma si vincola il percorso alla lunghezza della mensola.

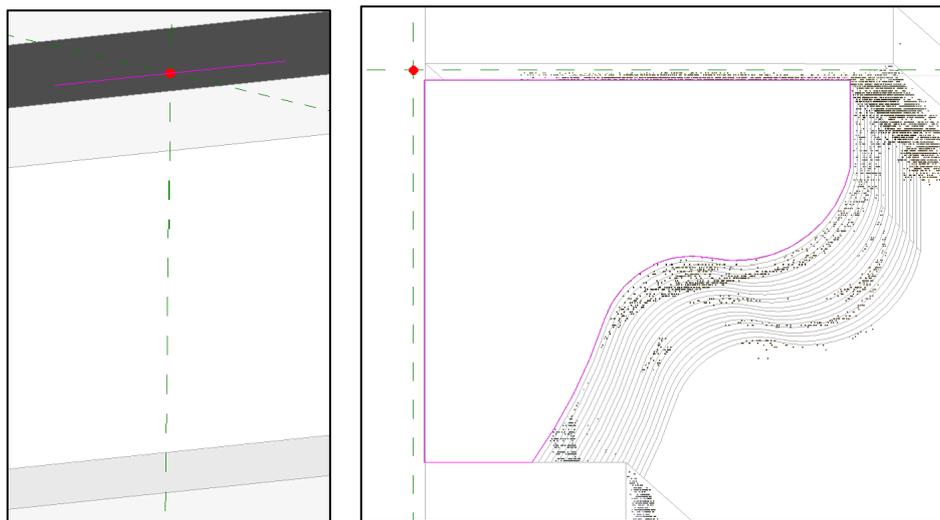


Figura 181: Percorso di estrusione (sinistra) e visualizzazione in sezione del profilo di estrusione (destra).



Figura 182: Mensole e fregio della facciata.

Si riporta nelle figure [183] e [184] il modello filtrato in funzione delle famiglie *Muro* in cui sono state inserite anche le Famiglie locali appena realizzate.

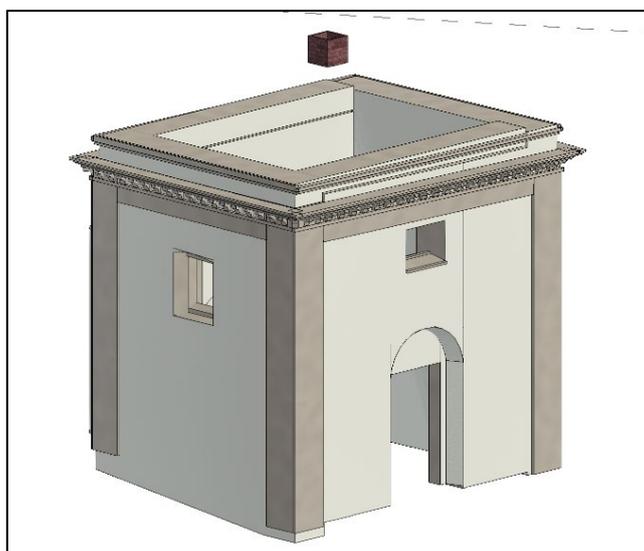


Figura 183: Muri Cappella 10 (fronte).

6. LA MODELLAZIONE DELL'ESISTENTE

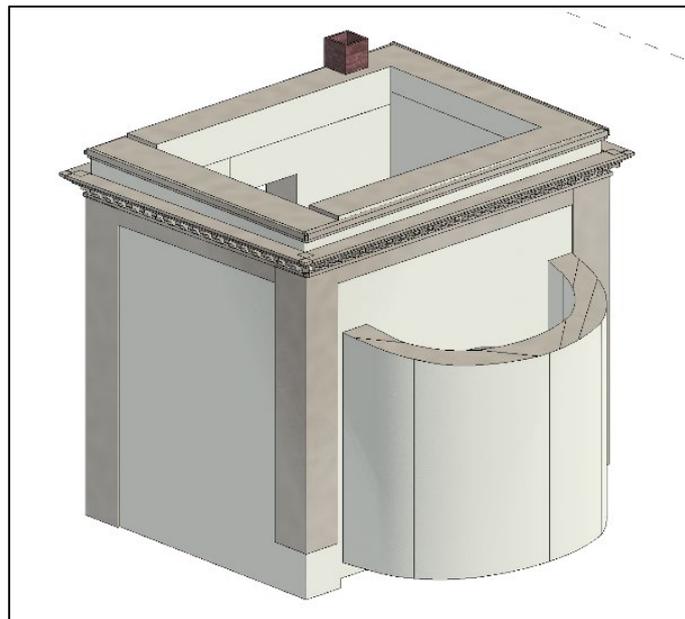


Figura 184: Muri Cappella 10 (retro).

6.3.4 Modellazione delle finestre e delle grate di protezione

Per la modellazione delle finestre e delle grate non è stato fatto uso di Famiglie differenti da quelle di sistema, utilizzando delle Facciate Continue, una sottocategoria dei *Muri*, per quanto i profili dei montanti e i pannelli di facciata sono stati opportunamente modificati per seguire la conformazione e le geometrie della nuvola di punti.

Le finestre sono state realizzate impostando il numero di griglie verticali pari a 1, collocato in mezzeria e sono stati utilizzati dei profili rettangolari di sistema per via delle scarse informazioni disponibili sull'effettiva geometria, la cui valutazione necessiterebbe di analisi in sito più approfondite

Per la realizzazione della grata della finestra lato est è stata impostata una Famiglia caricabile di *Profilo per Montanti* circolare di raggio 1.5 cm, mentre il numero di griglie è stato impostato su 3 verticali e 4 orizzontali, modificate rispetto alla posizione di default per andare incontro alle irregolarità dell'elemento.

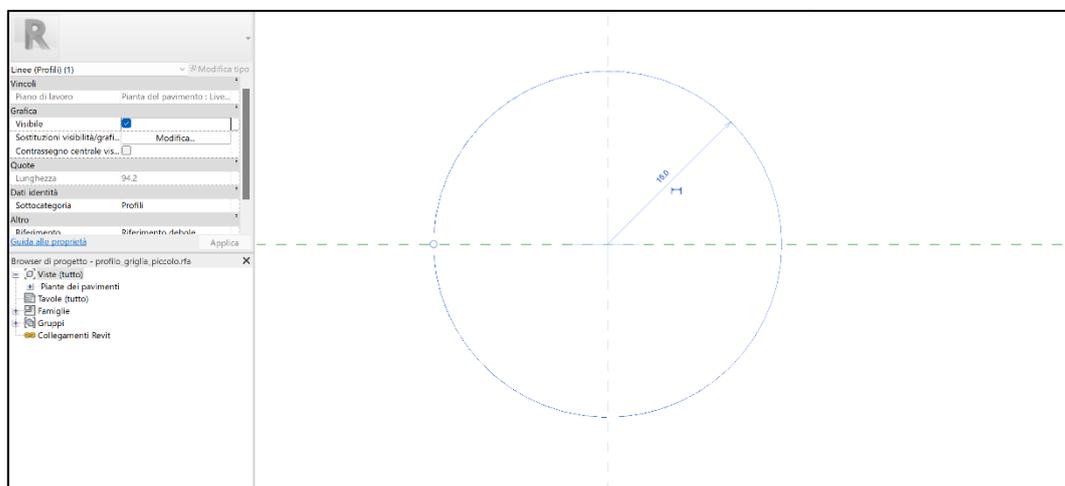


Figura 185: Famiglia caricabile del *Profilo per Montante*.

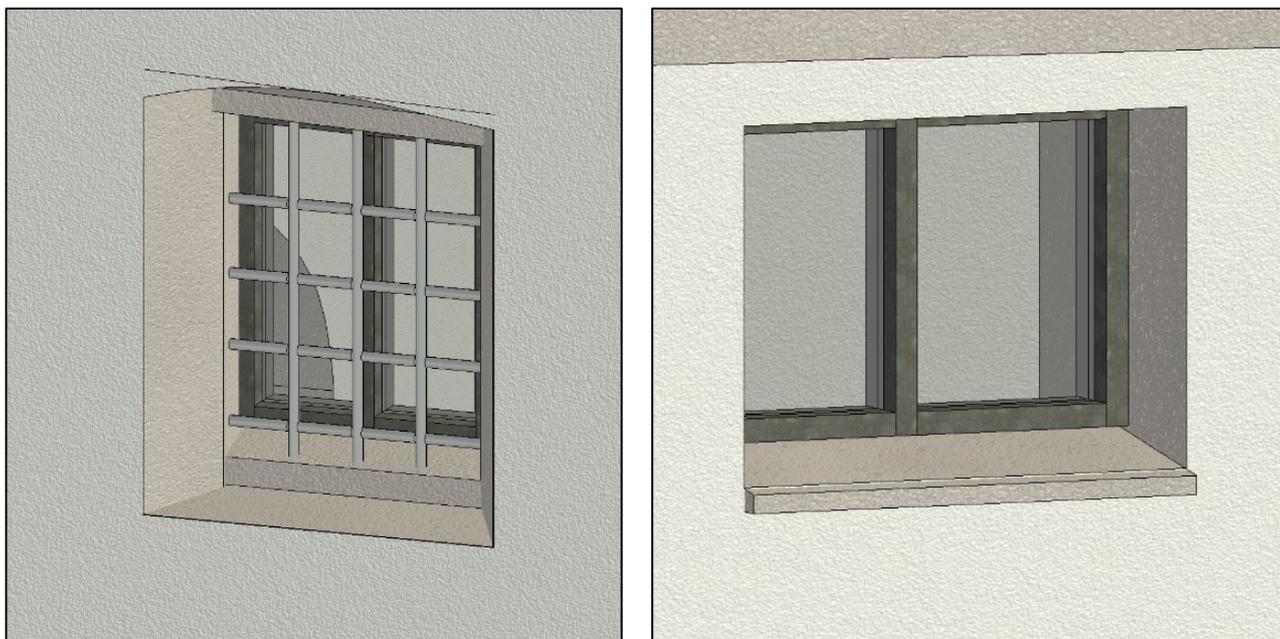


Figura 186: Finestra lato est (sinistra) e lato nord (destra).

6.3.5 Modellazione della Famiglia caricabile Porta

Per la realizzazione del portale di ingresso è stata adoperata una famiglia caricabile realizzata appositamente per riprendere le geometrie specifiche che la caratterizzano, essendo composto da una coppia di ante con apertura cava nella porzione alta e munite di grata di protezione per evitare intrusioni.

La modellazione ha previsto l'uso di una Famiglia base caricabile *porta* che è stata successivamente modificata per adattarsi alle misure del portale di ingresso.

Per realizzare le geometrie è stato esclusivamente fatto uso del comando estrudi in funzione del profilo ricercato disegnato. La geometria della grata è stata semplificata per via della sua complessità geometrica.

La porta è di dimensioni maggiorate rispetto alle dimensioni standard, con un'altezza di 2.3 m e una larghezza di 1.3 m, mentre l'altezza della soglia è situata a 3 cm dal livello di calpestio.



Figura 187: Famiglia caricabile – porta ingresso.

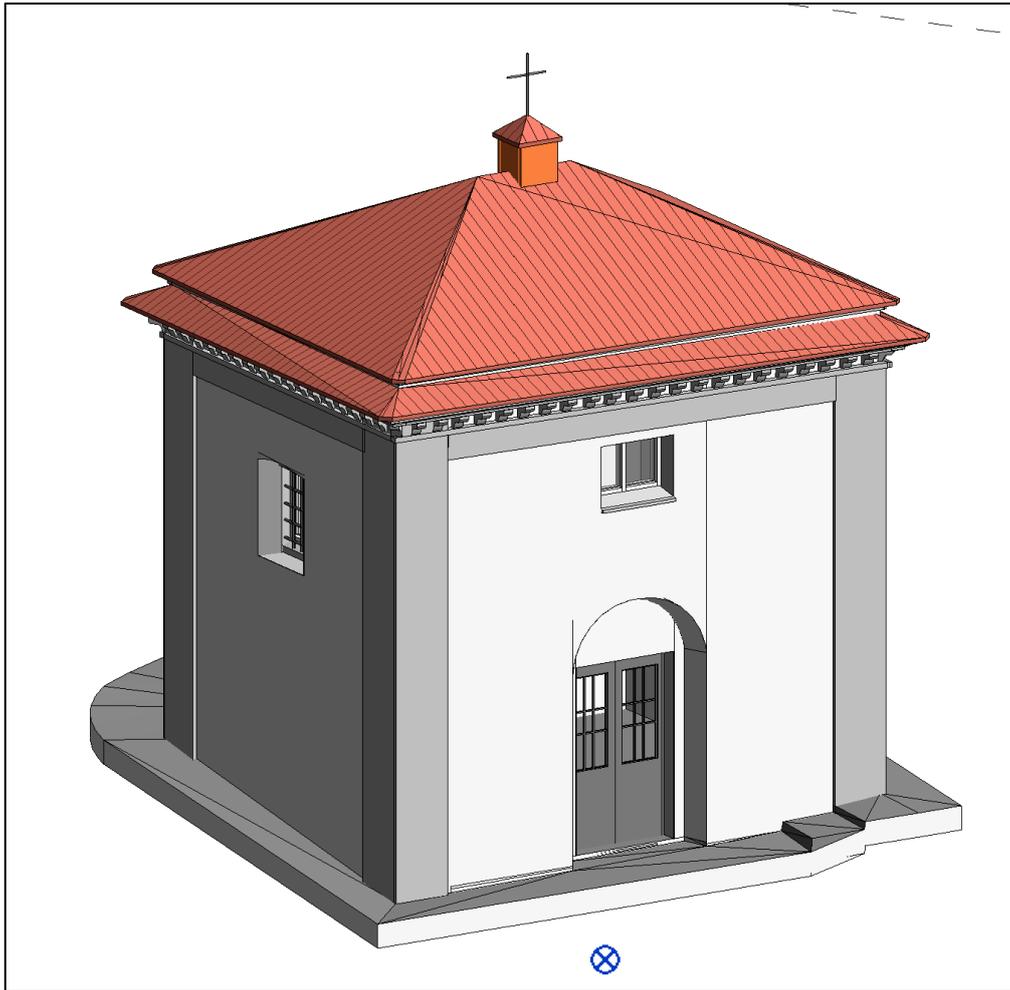


Figura 188: Modello Cappella 10.

6.3.6 Modellazione della topografia

Al fine di contestualizzare la cappella rispetto al contesto di inserimento è stata sviluppata la topografia del terreno, generata dalle nuvole di punti. Per far ciò è essenziale in prima battuta ridurre la densità di punti della nuvola relativa alla topografia del terreno sottraendo l'alta e media vegetazione e conservando esclusivamente la porzione più bassa come un "velo" che possa rappresentare l'andamento del terreno.

L'operazione è eseguita attraverso *CloudCompare* attraverso tre step essenziali che possono essere eventualmente ripetuti qualora necessario:

1. È stata sotto-campionata la nuvola per raggiungere una densità di punti idonea, non pari a 5 mm tra i punti ma nemmeno superiore a 10 cm per garantire comunque una buona rappresentabilità.
2. Si provvede quindi a rimuovere la vegetazione in eccesso e tutti gli elementi che non fanno parte del terreno.
3. Si effettua un'operazione di rimozione degli *outliers* attraverso il comando *Tools* → *Clean* → *SOR*, la *Statistical Outlier Removal*, che attraverso un metodo iterativo fornisce una nuvola meno densa sottraendo i valori con un elevato scostamento rispetto al valore medio, gli *outliers*.

Alla fine dell'operazione il risultato ottenuto è rappresentato nella figura [189].

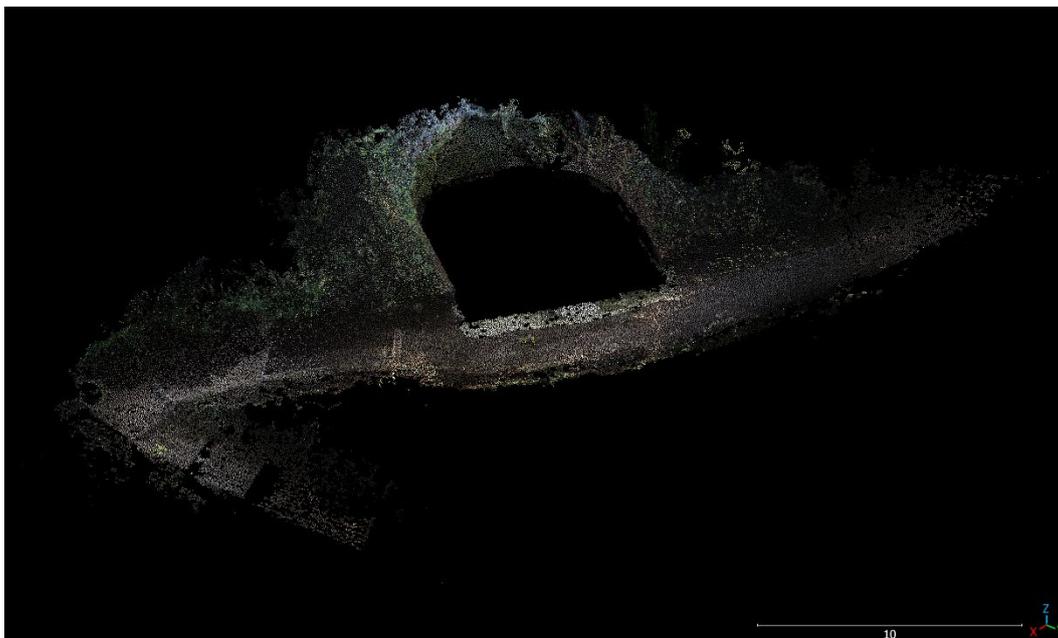


Figura 189: Nuvola sotto-campionata per topografia.

La nuvola così ottenuta è salvata in formato *ASCII .txt* sotto forma di testo separato da virgole e viene utilizzata all'interno del *software Revit* per ricavare la topografia del terreno circostante la Cappella.

Attraverso la scheda *Volumetrie e cantiere* si accede a *Modellazione cantiere* → *Superficie topografica* → *Crea da importazione* → *Specifica file dei punti*, in cui è possibile importare il file precedentemente ottenuto per convertirlo automaticamente in una superficie topografica di buona qualità.

Per via della rigogliosa vegetazione si può osservare del rumore all'interno del risultato finale, ma solo attraverso un'elaborazione di dati a più ampio spettro o con un drone munito di laser scanner è possibile andare a ricavare una maggiore quantità di informazioni in merito al terreno del sito in questione.

La nuvola è stata poi manipolata aggiungendo dei punti in corrispondenza della Cappella per garantire la predisposizione di un'area idonea ad accogliere la zona seminterrata di quest'ultima, poiché altrimenti sarebbe risultata in piano rispetto al livello esterno della cappella, per via della mancanza di informazioni. Si riportano nella figure [190] e [191] i risultati ottenuti.

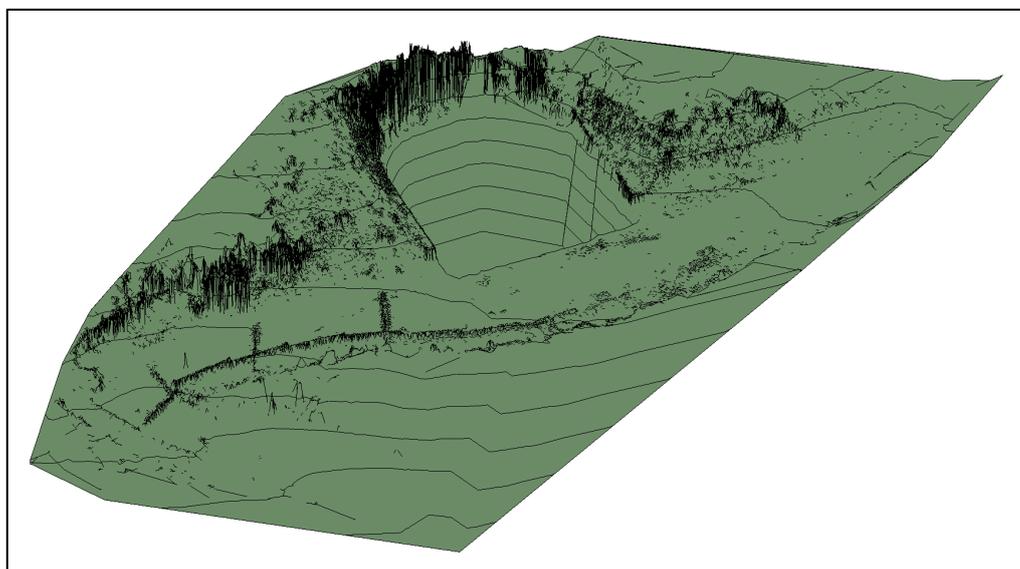


Figura 190: Topografia ricava da Revit.

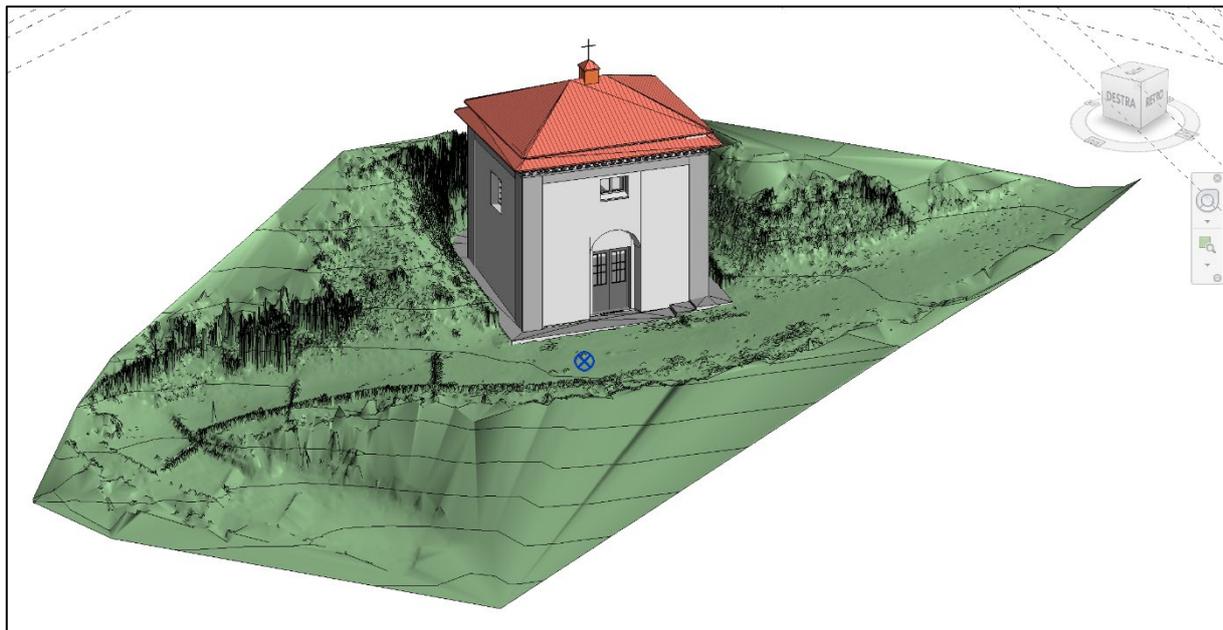


Figura 191: Modello realizzato inserito all'interno della topografia.

6.3.7 Modellazione della volta interna

Come già anticipato in precedenza la modellazione della volta interna è avvenuta tramite la realizzazione di una *Tetto da perimetro* modificato operando sulle altezze dei punti di manipolazione, nonostante la scarsa efficienza della tecnica.

Sono stati però effettuati dei tentativi al fine di ottenere delle geometrie più attendibili e con un *workflow* maggiormente efficiente e coerente rispetto alla sola interpretazione visiva della nuvola di punti generata.

CONVERSIONE SUPERFICIE TOPOGRAFICA

Una prima opzione è stata la generazione di una superficie topografica che tramite apposito algoritmo di conversione potesse essere tradotta in *mesh* e quindi in *Massa* all'interno di *Revit*.

Come per la topografia del terreno circostante la cappella, si genera una nuvola di punti meno densa esclusivamente per la volta, a seguito viene importata all'interno di *Revit* sotto forma di file *ASCII .txt* tramite il comando *Modellazione cantiere* → *Superficie topografica* → *Crea da importazione* → *Specifica file dei punti*.

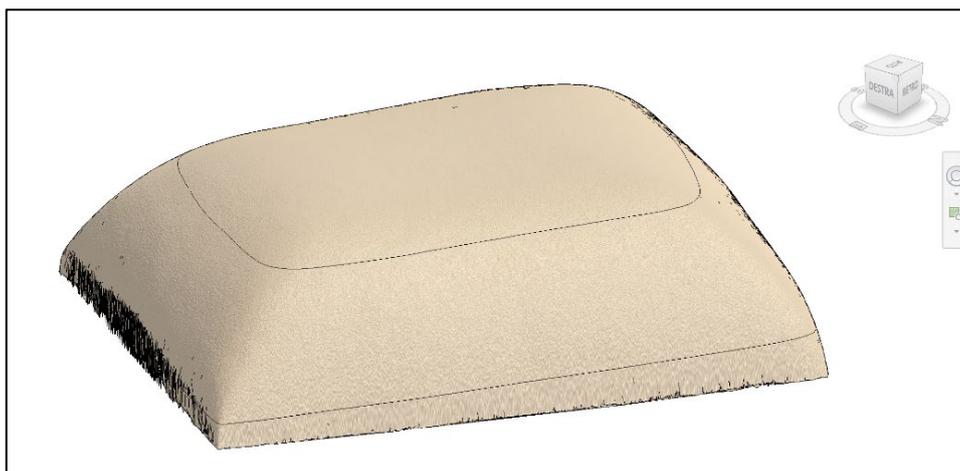


Figura 192: Superficie topografica generata per la volta.

Il risultato ottenuto è stato osservato essere piuttosto valido dal punto di vista dimensionale e molto rassomigliante l'effettiva geometria della volta, che è complessivamente irregolare, ma a causa della classificazione dell'elemento come topografia non risulterebbe corretto mantenerla come tale e si preferisce la conversione in *Massa*, ed eventualmente tramite riconoscimento delle superfici delle *Masse* in un *Tetto da superficie*.

Per effettuare la conversione è stato sviluppato un breve *script* su *Dynamo* in grado di riconoscere gli elementi della superficie topografica al fine di convertirli in una *mesh* e applicarli per la generazione di una *Massa*.

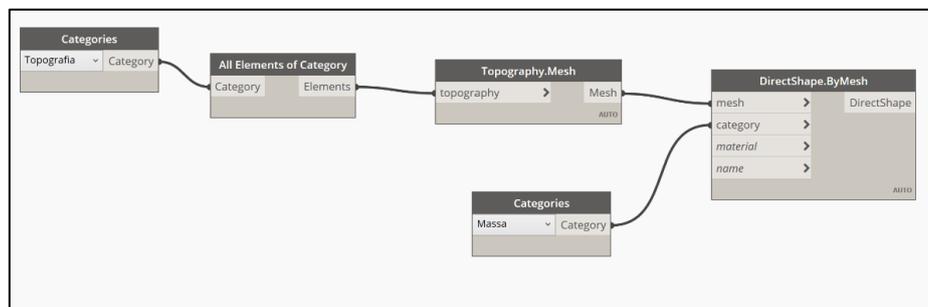


Figura 193: *Script* di conversione.

Purtroppo, la conversione non ha condotto agli esiti sperati a causa della presenza di *PolyCurve* ramificate all'interno della superficie topografica. Per tale ragione, nonostante il workflow si presenti sintatticamente corretto, non è stato possibile eseguire l'operazione.

CALCOLO MESH DA CLOUDCOMPARE

Per andare incontro alla problematica è stata prevista una seconda opzione, convertendo la nuvola di punti della volta all'interno di *CloudCompare* con un'operazione del tutto analoga a quella effettuata per le statue.

Sono state calcolate le normali attraverso il comando *Edit* → *Normals* → *Compute*, si imposta *Local surface model* come *Plane* e l'*Octree* si imposta da *Auto* in funzione della complessità del sistema.

Sono state infine determinate le *mesh* poligonali attraverso il comando *Plugins* → *PoissonRecon*. Si imposta come valore di *Ocree depth* 10, le *boundary* su *Neumann*, i *samples per node* vengono portati a 15 per andar incontro a eventuale rumore e il *point weight* a 2.

Il risultato ottenuto è stato ripulito dagli artefatti generati al di sotto della volta ed esportato come *.obj* il quale può essere facilmente importato all'interno dei *software* di modellazione, anche se non risulta possibile modificarlo a seguito dell'importazione stessa all'interno dei programmi, oltre a non essere possibile conservare informazioni cromatiche su di esso come è possibile vedere nella figura [194].

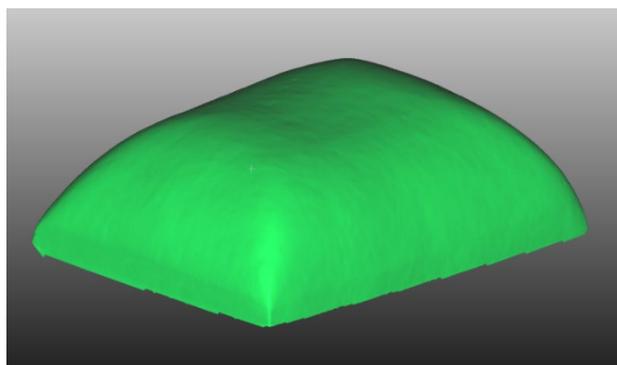


Figura 194: *Mesh* della volta.

6. LA MODELLAZIONE DELL'ESISTENTE

L'utilizzo di tale elemento non è stato approfondito, ma è possibile inserirlo all'interno di un sistema informativo per ricavarne informazioni.

6.3.8 Catalogazione tabellare degli elementi ed esportazione degli Abachi

Gli elementi appena modellati devono essere opportunamente catalogati al fine di richiamarli all'interno di un sistema di gestione dell'informazione con un adeguato livello di efficienza, ma è essenziale individuare una convenzione che ne permetta una efficiente discretizzazione e facilità di lettura.

Il Politecnico di Torino, attraverso il sistema di gestione dell'informazione *4MAIN10ANCE*, mette a disposizione un sistema strutturato con una piattaforma informativa multi-scala al cui centro si colloca un *database*, un catalogo di informazioni eterogenee che prevede l'integrazione di dati a scala differente, come il BIM e il GIS, per l'inserimento a diversi livelli di dettaglio dell'informazione.

Al fine di garantire un'interoperabilità con le convenzioni e le strutture già realizzate all'interno del software sono state adottate codifiche compatibili con il *database*, definendo in primo luogo un prefisso comune agli elementi, che richiamasse il sito in questione, e in parte condivisibile con i precedenti studi e lavori realizzati su un altro complesso devozionale simile, il Sacro Monte di Varallo.

In tal caso la catalogazione ha previsto il prefisso SMV, a indicare Sacro Monte di Varallo, mentre per il complesso di Crea è stato utilizzato SMC, Sacro Monte di Crea.

Per suddividere semplicemente gli elementi in funzione delle Cappelle, anche a causa dell'elevato numero, si introduce una codifica per riconoscerle, composta da C, a indicare Cappella, e il numero a essa associato, nel caso dell'elemento modellato sarà sempre pari a C10, a indicare la Cappella 10.

A seguire è stata predisposta l'indicazione della Classe degli oggetti seguendo le convenzioni già consolidate all'interno dal *database* di *4MAIN10ANCE*:

| Classe oggetto | Descrizione |
|----------------|-------------------------|
| 1.1 | Terreno |
| 1.2 | Vegetazione |
| 1.3 | Sentieri |
| 2.0 | Pavimentazioni esterne |
| 2.1 | Coperture |
| 2.2 | Murature |
| 2.3 | Serramenti |
| 2.4 | Impianti |
| 3.1 | Superfici interne |
| 3.2 | Pavimentazioni |
| 3.3 | Statue |
| 3.4 | Quadri e arredi |
| 0 | Infrastrutture storiche |

Tabella 38: Classi oggetti in funzione della convenzione *4MAIN10ANCE*.

Per classificare gli elementi edilizi in funzione della rilevanza strutturale è stato introdotto il campo "*Utilizzo strutturale*" al fine di catalogare gli elementi secondo tre principali categorie:

- **Strutturale:** riservato agli elementi con rilevante valenza strutturale per il manufatto, indicato con ST;
- **Non Strutturale:** riservato agli elementi la cui valenza strutturale è irrilevante o perché carichi passivi, indicato con NS;

- Decorativo: riservato agli elementi esclusivamente decorativi senza alcuna valenza strutturale, indicato con DE;

Si procede poi a indicare la direzione rispetto alle direzioni cardinali dell'elemento, approssimando alla prima lettera con N → Nord, S → Sud, O → Ovest, E → est e A → All (Tutte). Viene indicato il suffisso A per tutti gli elementi come fregi o mensole data l'essenzialità del rappresentarne l'interezza e mantenere il collegamento tra tutti gli elementi, anche angolari, che lo compongano, oltre ai pavimenti e le coperture senza una direzione chiaramente evidente. A completamento viene inserita una numerazione progressiva in funzione della direzione cardinale definita.

Come già anticipato sono stati raggruppati gli oggetti facenti parte di un medesimo elemento edilizio secondo una discretizzazione funzionale dell'edificio con considerasse, a esempio, porzioni differenti dello stesso livello del fregio assimilabili a un singolo elemento.

La codifica è stata riportata all'interno del Modello *Revit* realizzato al fine di garantire il passaggio coerente di informazioni tra i differenti applicativi effettivamente o potenzialmente coinvolti col fine di garantirne una comprensione immediata.

| <Abaco dei muri> | | | | | | |
|--------------------|----------------|----------------------|--------------|---------------------|----------------------|---------------------------|
| A | B | C | D | E | F | G |
| Codifica | Classe oggetto | Area | Orientamento | Tipologia involucro | Utilizzo strutturale | Denominazione |
| SMC-C10-2.2-ST-N01 | murature | 10.50 m ² | N | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-E01 | murature | 30.58 m ² | E | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-N01 | murature | 10.30 m ² | N | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-O01 | murature | 33.83 m ² | O | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S01 | murature | 22.34 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 2.73 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 2.79 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 3.72 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 5.52 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 5.53 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 3.95 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 2.92 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 2.32 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-N01 | murature | 5.13 m ² | N | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-DE-N03 | murature | 0.07 m ² | N | Opaco | Decorativo | Lesena angolare |
| SMC-C10-2.2-ST-A02 | murature | 2.90 m ² | A | Opaco | Strutturale | Fregio |

Figura 195: Stralcio dell'abaco generato dalla compilazione dei campi in *Revit*.

A fini gestionali l'abaco è stato inoltre estratto e convertito in formato *Excel*.

| Abaco dei muri | | | | | | |
|--------------------|----------------|----------------------|--------------|---------------------|----------------------|---------------------------|
| Codifica | Classe oggetto | Area | Orientamento | Tipologia involucro | Utilizzo strutturale | Denominazione |
| SMC-C10-2.2-ST-N01 | murature | 10.50 m ² | N | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-E01 | murature | 30.58 m ² | E | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-N01 | murature | 10.30 m ² | N | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-O01 | murature | 33.83 m ² | O | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S01 | murature | 22.34 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 2.73 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 2.79 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 3.72 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 5.52 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 5.53 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 3.95 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 2.92 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-S02 | murature | 2.32 m ² | S | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-ST-N01 | murature | 5.13 m ² | N | Opaco | Strutturale | Muro in pietra intonacato |
| SMC-C10-2.2-DE-N03 | murature | 0.07 m ² | N | Opaco | Decorativo | Lesena angolare |
| SMC-C10-2.2-ST-A02 | murature | 2.90 m ² | A | Opaco | Strutturale | Fregio |

Tabella 39: Stralcio dell'abaco estratto e convertito in formato *Excel*.

6. LA MODELLAZIONE DELL'ESISTENTE

La catalogazione effettuata potrà essere importata all'interno della piattaforma di gestione *4MAIN10ANCE*, per poter essere efficacemente richiamata nelle schede per l'individuazione del degrado per la manutenzione.

Le informazioni su specifiche aree del manufatto possono essere richiamate utilizzando un filtro in funzione della codifica adottata, considerando una discretizzazione per macro-elementi, applicabile al fine di individuare elementi per livello e/o orientamento, ma non nelle singole componenti materiche che li caratterizzano, a causa della difficoltà che questo comporterebbe nella gestione dell'informazione.

La catalogazione ha l'obiettivo finale di tracciare l'evoluzione delle condizioni del manufatto per poter individuare efficacemente gli interventi da realizzare, pianificandone l'esecuzione e realizzando il piano di gestione per la manutenzione programmata, rappresentante l'obiettivo ultimo della piattaforma stessa, al fine di generare un registro della programmazione dei lavori da eseguire.

Oltre a ciò, permette di tenere traccia degli interventi già eseguiti suddividendoli in cinque principali macrocategorie:

1. Tetti: i primi interventi che devono essere svolti per mettere in sicurezza dagli agenti atmosferici il manufatto;
2. Umidità: interventi volti a ridurre la risalita capillare e i problemi in generali dati dalla presenza di acqua liquida all'interno degli elementi parte del manufatto;
3. Statica: interventi volti a garantire una soddisfacente sicurezza strutturale per il manufatto;
4. Interni: interventi di dettaglio sugli interni, da eseguire su apparati statuari e superfici interne;
5. Esterni: interventi prettamente estetici sulle superfici esterne del manufatto.

Proprio per tale ragione un'informazione troppo dettagliata circa la catalogazione risulterebbe dispersiva e inefficace, non considerando la complessità dell'elemento, ma anzi comporterebbe la mancata esecuzione della manutenzione per effetto di una difficoltà nell'individuazione.

La piattaforma si presenta tutt'ora in evoluzione e alcune delle convenzioni adottate sono state definite in funzione dell'ultime variazioni a livello didascalico sorte a ottobre 2024, ma in futuro queste potrebbero variare in funzione di classificazioni più efficaci in merito in particolare alle classi di oggetti.

Il progetto di Tesi ha posto le basi per la realizzazione di un sistema di gestione della manutenzione tramite piattaforma *4MAIN10ANCE*, ma solo tramite ulteriori elaborazioni e studi sarà possibile giungere a un sistema completo e valido per il Sacro Monte di Crea, ricalcando quanto svolto per il Sacro Monte di Varallo, ma aggiornandolo alla luce delle più recenti conoscenze finalizzate alla definizione delle frasi di rischio, oltre che di aggiornate definizioni simboliche, grafiche e lessicali.

BIBLIOGRAFIA CAPITOLO 6

- [01] FURCOLO N. (a cura di) 2018, *Guida al BIM 2 La rivoluzione digitale dell'edilizia – Prima edizione*, Bagnoli Irpino: ACCA software S.p.A.
- [02] DEL GIUDICE M. (a cura di) 2019, *IL DISEGNO E L'INGEGNERE - BIM handbook for building and civil engineering students*, Torino: Levrotto & Bella, ISBN: 8882182037.
- [03] POZZOLI S., BONAZZA M., WERNER S. V. 2021, *Autodesk® Revit 2022 per l'Architettura*, Milano: Tecniche nuove, ISBN: 978-88-481-4334-9.

SITOGRAFIA CAPITOLO 6

- [04] MARCO BIZZOTTO, *Glossario BIM*, <<https://www.marcobizzotto.it/processi/bim-progettazione-integrata/glossario-bim.html>>. (Ultima consultazione 15/10/2024)
- [05] BIBLUS, *Cos'è il BIM (Building Information Modeling)?*, <<https://biblus.acca.it/bim-building-information-modeling/>>. (Ultima consultazione 15/10/2024)
- [06] 01BUILDING, *HBIM: cos'è l'Historical Building Information Modeling*, <<https://www.01building.it/bim/hbim-cose-lhistorical-building-information-modeling/>>. (Ultima consultazione 15/10/2024)

7. CONCLUSIONI

La ricerca svolta per la Tesi di Laurea Magistrale ha portato all'individuazione di un *workflow* ottimizzato al fine di catalogare e rilevare tutte le informazioni necessarie con l'obiettivo di individuare un piano di manutenzione programmata efficace per il Sacro Monte di Crea, ma estendibile a ogni altro contesto storico analogo.

La valorizzazione del sito UNESCO implica una sua conoscenza approfondita, che non si basa esclusivamente sull'osservazione del visibile contemporaneo, ma richiede un'attenta analisi anche delle sovrapposizioni storiche degli elementi caratterizzanti la matericità, comprendendone la complessità e le implicazioni strutturali.

La campagna di rilievo ha consentito l'individuazione delle geometrie del sito, caratterizzate da una considerevole irregolarità, tipica dei contesti storici, non in linea con le rappresentazioni a disposizione sui manufatti, spesso indicate con una irrealistica ortogonalità tra gli elementi.

In via preliminare è stato eseguito un rilievo fotografico, catalogando le immagini dei prospetti delle Cappelle e indicando il punto di presa e le impostazioni della macchina fotografica al fine di garantirne una riproducibilità e definendo uno standard di acquisizione. A corredo sono stati catalogati anche i dettagli più rilevanti e caratterizzanti.

La generazione della rete topografica ha seguito le convenzioni in materia, rilevando comunque una problematica in merito all'acquisizione GPS dei punti tramite *rover RTK*, che è stato osservato essere inefficace con il primo strumento adottato il *rover RTK GNSS Leica Smart Rover con Leica GPS1200+* a causa delle condizioni complesse del sito, con elevata copertura boschiva, ma probabilmente, imputabile anche a una minore sensibilità dello strumento utilizzato. In sostituzione a ciò è stato fatto uso dello Stonex S990A, anch'esso un *rover RTK* ma che ha permesso di ricavare precisioni considerevolmente più in linea con quelle richieste.

Il rilievo ha previsto poi l'applicazione dei sistemi basati su *laser scanner*. Si sono confermati essere piuttosto affidabili in merito alla rappresentazione dell'informazione geometrica, garantendo una base per il confronto con gli ulteriori strumenti a disposizione oltre che per la successiva modellazione del manufatto, seppur sono state osservate alcune considerevoli differenze tra gli strumenti applicati:

| Strumento | Criticità | Potenzialità |
|---------------|---|--|
| Leica RTC 360 | <ul style="list-style-type: none">– Scansioni statiche richiedono tempo– Necessario predisporre di aree su cui lo strumento possa essere posizionato | <ul style="list-style-type: none">– Risultato affidabile a elevata precisione– Essenziale per la modellazione geometrica degli elementi edilizi |
| Stonex X70GO | <ul style="list-style-type: none">– Ridotta precisione e minor accuratezza– Sistema di elaborazione meno efficiente– Non idoneo al rilievo di dettaglio | <ul style="list-style-type: none">– Scansione in mobilità con Mobile Mapping System– Utile per il rilievo di aree particolarmente estese |

Tabella 40: Criticità e potenzialità degli strumenti di *laser scanner*.

Passando infine all'insieme di procedure che permettono l'attuazione del rilievo fotogrammetrico, è stato possibile rilevare risultati alquanto alterni, con differenti scale di dettaglio di riferimento, frutto della strumentazione utilizzata, che ha spaziato dai droni, il DJI MAVIC M3 alla scala minore e il DJI MINI 3 PRO a una scala maggiore, ai sistemi a mano come il *viDoc* e lo Stonex XVS, ma anche della metodologia di esecuzione che, in alcuni casi, ne ha inficiato l'affidabilità.

| Strumento | Criticità | Potenzialità |
|------------|---|---|
| Droni | <ul style="list-style-type: none"> – Programmare accuratamente le acquisizioni per evitare problemi nel riconoscimento dei fotogrammi – Necessario patentino in alcuni casi | <ul style="list-style-type: none"> – Possibile rilevare aree non raggiungibili a terra – Relativamente veloce – Applicabile sia a scala superiore per il singolo manufatto, sia territoriale |
| ViDoc | <ul style="list-style-type: none"> – Scatto automatico non efficace – Difficoltà nell'elaborazione dei dati – Compatibilità (attualmente) solo con dispositivi iOS – Risultati estremamente influenzati da metodologia e ordine di esecuzione | <ul style="list-style-type: none"> – Strumento molto maneggevole – Acquisizioni veloci – Indicato per aree estese con ridotta precisione richiesta |
| Stonex XVS | <ul style="list-style-type: none"> – Acquisizione non ottimizzata con necessità di ripercorrere aree già campionate in alcuni casi – In condizioni di scarsa luminosità si osservano risultati molto scuri | <ul style="list-style-type: none"> – Estrazione di informazioni dettagliate e cromaticamente attendibili – Elevato livello di precisione – Indicato per elementi di dettaglio e decorativi |

Tabella 41: Criticità e potenzialità degli strumenti fotogrammetrici.

La metodologia applicata è stata essenziale per ricavare una rappresentazione sotto forma di nuvola di punti dei manufatti analizzati, utilizzata per la modellazione di una delle due Cappelle, la Cappella 10, al fine di predisporre di un supporto tridimensionale per la catalogazione delle informazioni secondo metodologia *BIM* per gli edifici storici, il già citato *HBIM*.

Lo strumento di modellazione, il *software Autodesk Revit*, è risultato essere limitato nella possibilità di modellare liberamente edifici irregolari come quello in questione, ma è un aspetto che sin dalla definizione di *HBIM*, è stato rilevato come intrinseco del sistema, e risolvibile esclusivamente attraverso l'implementazione di un maggiore libertà nella fase di modellazione.

L'aspetto però cruciale della metodologia adottata è la ricerca delle informazioni, estraibili dall'analisi dei rilievi effettuati oltre che dai dati ricavabili dall'analisi della documentazione storica bibliografica ed iconografica. Attraverso un processo filologico è stato possibile conoscere l'evoluzione storica e materica del complesso e dei manufatti coinvolti, finalizzata alla comprensione dello stato di fatto attuale nella sua complessità, essenziale ai fini della conservazione e della manutenzione programmata.

La catalogazione delle informazioni è avvenuta tramite codifica degli elementi modellati, suddivisi compatibilmente con le aree di applicazione dei restauratori, in funzione quindi degli elementi simili tra loro o affini.

La modellazione dei manufatti e la catalogazione delle informazioni sono stati di strategica importanza all'avanzamento nella conoscenza del patrimonio storico e artistico diffuso, in particolare arricchendo le conoscenze in possesso rispetto al comprensorio dei Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia, ricordando comunque che il *workflow* fino a qui eseguito rappresenta solo l'inizio della procedura di generazione di un modello informativo idoneo alla manutenzione programmata.

La piattaforma coinvolta è in costante evoluzione e arricchimento, prevenendo già ora la collaborazione di figure eterogenee al suo interno in grado di contribuire al suo sviluppo finalizzato a garantire la conservazione e la manutenzione programmata dei manufatti analizzati.

BIBLIOGRAFIA

1. DA LIVORNO M. A. (CULTELLA) 1615, *Breve historia et descrizione della miracolosa Madonna del Sacro Monte di Crea in Monferrato con l'aggiunta di alcune capello et altre opere fatte di nuovo*, Vercelli: Fratelli di Marta.
2. ANDREOZZI P. 1683, *Compendioso ristretto dell'origine della Beata Vergine di Crea in Monferrato scolpita da San Luca e portata dalla Palestina da Sant'Eusebio vescovo di Vercelli e martire custodita da Canonici Regolari Lateranensi, degl'ampi privilegi posseduti e che possiede, della fabrica della Chiesa e fondatione delle Capello sparse per il Monte*, Asti: Secondo Vittorio Giangrandi.
3. LOCARNI G. 1900, *Brevi cenni storici sull'insigne Santuario di Nostra Signora di Crea*, Casale Monferrato: Tipografia Gio. Pane.
4. MAURIZIO C. 1901, *Lettere sul Santuario di N. S. di Crea in Monferrato delle Damigelle Matilde e Pierina di... alla Damigella Adele di...*, Torino (copia fotostatica).
5. DI RICARDONE A., DI RICARDONE M.I., DI REVIGLIASCO G.C. 1983, *Armerista del Santuario di S. Maria di Crea nel Monferrato*, Roma: Santuario di S. Maria di Crea - Collegio Araldico.
6. BOSSAGLIA R., BERRESFORD S. 1984, *Bistolfi 1859-1933. Il percorso di uno scultore simbolista*, Casale Monferrato: Piemme, ISBN: 978-8838495007.
7. ACTIS GROSSO L., BELLINI E. 1992, *Santa Maria di Crea. Vicende storico artistiche di un Santuario dei Marchesi di Monferrato*, Tesi di Laurea, Politenico di Torino.
8. CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, *Crea. Il Sacro Monte*, Casale Monferrato: Piemme, ISBN: 88-384-1304-5.
9. CENTINI M., MONCASSOLI TIBONE M.L. 1992, *Tra i prodigi dei Sacri Monti: l'arte e la società, lo spettacolo e la devozione*, Torino: Omega, ISBN: 978-8872412183.
10. DELGADO RODRIGUES J. [et. Al.] 1995, *Prime Esperienze Sullo Sviluppo del Prototipo di Pulitura Laser LAMA*, in G. BISCONTIN, G. DRIUSSI (a cura di), *La pulitura delle superfici dell'architettura: atti del Convegno di studi: Bressanone, 3-6 luglio 1995*, Padova: Libreria Progetto, pp. 539-546.
11. GENTILE G. [et al.] 1995, *Conservazione e fruizione dei Sacri Monti in Europa: atti del Convegno, Domodossola, Sacro Monte Calvario, 15-16 ottobre 1992*, Torino: Regione Piemonte.
12. ARNOLD A. 1996, *Alteration et conservation d'œuvres culturelles en matériaux poreux affectés par des sels*, in *Le dessalement des matériaux poreux (Poitiers, 9-10 mai 1996)*, Champs-sur-Marne : SFIIC, ISBN : 978-2905430090, pp. 3-20.
13. CANEVA G., NUGARI M. P., PINNA D., SALVADORI O. 1996, *Il controllo del degrado biologico*, Firenze: Nardini Editore, ISBN: 10:8840440399.
14. SIGNORINI M. A. 1996, *L'indice di pericolosità: un contributo del botanico al controllo della vegetazione infestante nelle aree monumentali*, in *Informatore Botanico Italiano*, Firenze: Società Botanica Italiana onlus, vol.28, pp. 7-14.
15. GALETTO R., SPALLA A. 1998, *Capitolo VIII: Fotogrammetria*, in *Lezioni di Topografia*, Pavia: CUSL, pp. 220-288.
16. ALBERY E., LINGUA A. M., RINAUDO F. 2000, *Tecniche e strumenti innovativi per il rilievo metrico dei beni culturali*, in *Atti di convegno: Giornata nazionale di studi del CIPA*, pp. 79-87.
17. PINNA D. 2000, *Vecchi e nuovi intonaci: substrati favorevoli alla crescita biologica? Scienza e beni culturali. Progettare gli intonaci per l'esistente: conoscenze, riflessioni e prospettive*.
18. CANEVA G., PINNA D. 2002, *Il biodeterioramento dei monumenti*, in P. CATIZONE, G. ZANIN (a cura di), *Malergologia*, Bologna: Patron Editore, ISBN: 9788855526241, pp. 879-899.

19. CATHER S. 2003, *Assessing causes and mechanisms of detrimental change to wall paintings*, in R. GOWING, A. HERITAGE, *Conserving the Painted Past: Developing Approaches to Wall Painting Conservation*, London: English Heritage, ISBN: 1902916115, pp. 64-74.
20. ELANDT K., HELLEMANN K., RATH M., PINNA D., LORUSSO S. 2003, *Preventive Methods to reduce the Deterioration of Monuments and Outdoor Art by Microbe Burden of the Solid-micro-dust-fraction*, in C. D. FONSECA (a cura di), *Quaderni di Scienza della Conservazione*, Roma: L'erma di Bretschneider, vol.3, DOI: 10.6092, pp. 215-217.
21. ZANKER J., WINDE J. 2003, *Sacri Monti: l'architettura dei Sacri Monti in Piemonte e Lombardia = Die Architektur der Sacri Monti im Piemont und in der Lombardei*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 3-89355-928-0.
22. ZANZI L., ZANZI P. 2003, *Atlante dei Sacri Monti Prealpini*, Losanna: Skira, ISBN: 978-8884913289.
23. DA ZEDELGEM A.T., BARBERO A. (a cura di), MAGRO P. (a cura di), PELLIZZARI P. (tradotto da) 2004 (ed. or. 1949), *Saggio storico sulla devozione alla Via Crucis*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 88-89081-01-5.
24. DELGADO RODRIGUES J., VALERO CONGIL J., WAKEFIELD R., BRECHET E., LARRAÑAGA I. 2004, *Monitoraggio della biocolonizzazione e valutazione dell'efficacia di un biocida*, in *ARKOS - Scienza e Restauro dell'Architettura. Anno V*, Firenze: Nardini, vol. 5, ISBN-10: 8840444106, pp. 52-58.
25. BEVILACQUA F., FABBRI R., CASOLI, A., PINNA D. 2005, *La pittura ad olio su intonaco, esempi ferraresi: Leonardo da Brescia, Ippolito Scarsella, Carlo Bononi. Studi, indagini, restauri*, in G. BISCONTIN, G. DRIUSSI (a cura di), *Sulle pitture murali. Riflessioni, Conoscenze, Interventi*, Venezia: Arcadia Ricerche, pp. 241-250, ISBN; 978-88-404-43683.
26. CANEVA G., NUGARI M.P., SALVADORI O., (a cura di) 2005, *La biologia vegetale per i beni culturali. Vol. 1. Biodeterioramento e conservazione*, Firenze: Nardini Editore, ISBN: 978-8840441535
27. FRATINI F., PECCHIOLI L., COSMA S., FRANÇOIS M. C. 2005, *Le pitture murali della Chiesa di Santa Felicita a Firenze: interventi di restauro a confronto*, in G. BISCONTIN, G. DRIUSSI (a cura di) *Scienza e Beni Culturali- Sulle Pitture Murali: riflessioni, conoscenze, interventi, Bressanone 12-15 luglio 2005*, Venezia: Edizioni Arcadia ricerche, vol. 21.
28. DIAZ GONÇALVES T., DELGADO RODRIGUES J. 2006, *Evaluating the salt content of salt-contaminated samples on the basis of their hygroscopic behavior. Part I: Fundamentals, scope and accuracy of the method*, in P. TOMASIN (a cura di), *Journal of Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier, vol. 7 (2), DOI: doi.org/10.1016/j.culher.2006.02.009, pp. 79-84.
29. BARBERO A., PIANO S. (a cura di) 2006, *RELIGIONI E SACRI MONTI - Atti del Convegno Internazionale – Torino, Moncalvo, Casale Monferrato - 12-16 ottobre 2004*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-8889081044.
30. 2007, «Sacri Monti - Rivista di arte, conservazione, paesaggio e spiritualità dei Sacri Monti piemontesi e lombardi», Varallo Sesia: Riserva Naturale Speciale del Sacro Monte di Varallo, vol. 1.
31. BENEDETTO C. (a cura di) 2007, *Natività nei Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-8889081075.
32. PINNA D. 2007, *La necessita della diagnostica nel caso delle alterazioni biologiche: quale metodo adottare?*, in *Atti del convegno "La diagnostica intelligente" - Cosenza, giugno 2007*, Cosenza: Editinera s.r.l. - Arkos Editore, pp. 171-179.

33. PINNA D. 2007, *Sampling of biodeteriogens in monumental and archaeological areas – methods and usefulness*, in M. MACH, *Small samples, big objects: proceedings of the Eu-ARTECH seminar in May 2007*, Monaco: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, pp. 96-104.
34. SANSONETTI A., MECCHI A. M., POLI T., REALINI M. 2007, *Problems in Drawing up standards to evaluate effectiveness and harmfulness in cleaning operations*, in J. H. Townsend, L. Toniolo, F. Cappitelli (a cura di), *Conservation Science 2007*, London: Archetype Publications, pp. 80-87.
35. Assemblea ICOM-CC, New Delhi, 2008.
36. BARBERO A., ROMA G. 2008, *Di ritorno dal pellegrinaggio a Gerusalemme - Riproposizione degli avvenimenti e dei luoghi di Terra Santa nell'immaginario religioso fra XV e XVI Secolo - Atti delle giornate di studio 12-13 maggio 2005 - Università della Calabria*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-10-5.
37. DIAZ GONÇALVES T., PEL L., DELGADO RODRIGUES J. 2008, *Worsening of dampness and salt damage after restoration interventions: use of water repellent additives in plasters and renders*, in *Proceedings of the 1st Historical Mortars Conference (HMC08) 24-26 September 2008, Lisbon, Portugal*, Eindhoven: TU/e.
38. GALLONE A. 2008, *Il Sacro Monte di Crea*, «Arte Lombarda Nuova serie», 154, 3, pp. 91-94.
39. PELAGOTTI A., DEL MASTIO A., DE ROSA A., PIVA A. 2008, *Multispectral Imaging of Paintings: A Way to Material Identification*, Washington: IEEE Signal Processing Magazine, 25 (4), DOI: 10.1109/MSP.2008.923095, pp. 27-36.
40. SIGNORELLI B., USCELLO P. 2008, *LA COMPAGNIA DI GESU' A CASALE E NEL MONFERRATO DAI GONZAGA AI SAVOIA. Nuovi studi e ricerche*, Torino: Società Piemontese di Archeologia e Belle Arti, ISBN: 978-88-903426-0-8.
41. BATTISTI E. [et. Al.] 2009, *1° Convegno Internazionale sui Sacri Monti - Atti del convegno di Varallo (14-20 aprile 1980)*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-12-9.
42. DIAZ GONÇALVES T., PEL. L., DELGADO RODRIGUES J. 2009, *Influence of paints on drying and salt distribution processes in porous building materials*, in J. M. ADAM (a cura di), *Construction and Building Materials*, Amsterdam: Elsevier, vol. 23 (5), DOI: doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.08.006, pp. 1751-1759.
43. MINISSALE S. (a cura di) 2009, *La gestione del sito UNESCO - Paesaggio culturale dei Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia - Atti del Seminario tecnico - Domodossola 14 novembre 2008 - Sala Bozzetti Sacro Monte Calvario di Domodossola*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-13-6.
44. SCARZELLA P., ZERBINATTI M. 2009, *Recupero e conservazione dell'edilizia storica. L'insieme, le parti: interrati, fondazioni, partizioni, coperture, chiusure e aggetti*, Firenze: Alinea editrice, ISBN: 978-8860553737.
45. VAN HEES R. P. J., NALDINI S., DELGADO RODRIGUES J. 2009, *Plasters and renders for salt laden substrates*, in J. M. ADAM (a cura di), *Construction and Building Materials*, Amsterdam: Elsevier, vol. 23 (5), DOI: doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.09.009, pp. 1714-1718.
46. 2010, «Sacri Monti - Rivista di arte, conservazione, paesaggio e spiritualità dei Sacri Monti piemontesi e lombardi», Varallo Sesia: Riserva Naturale Speciale del Sacro Monte di Varallo, vol. 2.
47. ANZANI M., BORGIOLI L., BRUNETTO A., RABBOLINI A., SANSONETTI A., STRIOVA J. 2010, *Sperimentazione di pulitura laser con intermediazione di gel di agar*, in *APLAR 3: Atti del*

convegno - *APPLICAZIONI LASER NEL RESTAURO* – Bari 18-19 giugno 2010, Saonara: il prato casa editrice, pp. 45-58.

48. BARBERO A., PIANO S. (a cura di) 2010, *La Bisaccia del Pellegrino - Fra evocazione e memoria - Atti del Convegno Internazionale - Torino, Moncalvo, Casale Monferrato 2-6 ottobre 2007*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-17-4.
49. BENEDETTO C. 2010, *Donne e Madonne nei Sacri Monti del Piemonte e della Lombardia*, Savigliano: L'artistica, ISBN: 978-88-89081-16-7.
50. CECCHI R. GASPAROLI P. 2010, *PREVENZIONE E MANUTENZIONE PER I BENI CULTURALI EDIFICATI*, Firenze: Alinea editrice, ISBN: 978-8860555762.
51. KVAERNE P. 2010, *Le vie del Sacro - L'avventura spirituale di uno storico delle religioni fra Tibet e Sacri Monti*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-21-1.
52. LONGO P. G. (a cura di) 2010, *Memorie di Gerusalemme e Sacri Monti in epoca barocca - Vincenzo Fani, devoti "misteri" e "magnanime imprese" nella sua Relatione del viaggio in Terra Santa dedicata a Carlo Emanuele I di Savoia (1615-1616)*, Ponzano Monferrato: Centro di Documentazione dei Sacri Monti, Calvari e Complessi devozionali europei, ISBN: 978-88-89081-19-8.
53. PINNA D., GALEOTTI M., MAZZEO R. 2010, *Scientific Examination for the Investigation of Paintings: A Handbook for Conservator-Restorers*, Firenze: Centro Di, ISBN: 8870384581.
54. SAGGIO A. 2010, *Architettura e modernità. Dal Bauhaus alla rivoluzione informatica*, Roma: Carocci, ISBN: 978-8843051649.
55. SYERELINGER K. 2010, *Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage*, in *Fungal Biology Reviews*, Londra: British Mycological Society, 24, DOI: 10.1016/j.fbr.2010.03.003, pp.47-55.
56. TOTARO G. 2010, *Attività di manutenzione e cura sui beni culturali architettonici: strategie e politiche di incentivazione*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano.
57. VECCO M. 2010, *A Definition of Cultural Heritage: From the Tangible to the Intangible*, in P. TOMASIN (a cura di), *Journal of Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier, vol. 11 (3), DOI: doi.org/10.1016/j.culher.2010.01.006, pp. 321-324.
58. BISON P. [et. AL.] 2011, *Limits and Advantages of Different Techniques for Testing Moisture Content in Masonry*, in *Materials evaluation*, Columbus: ASNT, vol 69 (1), pp. 111-116.
59. GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M. 2011, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in A. CARVALE, *Archeologia e Calcolatori*, Sesto Fiorentino: Edizioni All'Insegna del Giglio, vol. 22, ISSN: 1120-6861, pp. 169-198.
60. LORENZI P., PINNA D., SORELLA F., TOSINI I., ONESTI G., PASOLINI S. 2011, *Coping with past conservative interventions and biological growth on stone statues located in Boboli Garden, Florence (Italy)*, in *Jardins de Pierres. Conservation of stone in Parks, Gardens and Cemeteries – 14^{es} journées d'étude de la SFIIIC*, Paris: SFIIIC, pp. 234 - 242.
61. SALVADORI O., CHAROLA A. E. 2011, *Methods to prevent biocolonization and recolonization: an overview of current research for architectural and archaeological heritage*, in A. E. CHAROLA, C. MCNAMARA, R. J. KOESTLER (a cura di), *Biocolonization of stone: control and preventive methods*, Washington: Smithsonian Institute Scholarly Press, pp. 37-50.
62. SANSONETTI A. [et. AL.] 2011, *Moisture damage*, in *Materials Evaluation*, Columbus: ASNT, vol 69 (1), pp. 41-46.
63. STRIOVA J., CAMAITI M., CASTELLUCCI E. M., SANSONETTI A. 2011, *Chemical, morphological and chromatic behavior of mural paintings under Er:YAG laser irradiation*, in *Applied Physics A*, Cham: Springer, vol.104, DOI:[10.1007/s00339-011-6303-6](https://doi.org/10.1007/s00339-011-6303-6), pp. 649-660.

64. BORELLI S., LENZERINI F. 2012, *Cultural Heritage, Cultural Rights, Cultural Diversity: New Developments in International Law*, in S. WIESSNER, R. PATI (a cura di), *Studies in Intercultural Human Rights*, Leiden: Brill, ISSN: 1876-9861.
65. CANNAROZZO R., CUCCHIARINI L., MESCHIERI W. 2012, *Misure, rilievo, progetto*, Bologna: Zanichelli, ISBN: 978-8808123817.
66. CHIABRANDO F., LINGUA A. M., MASCHIO P., RINAUDO F., SPANÒ A. 2012, *Mezzi aerei non convenzionali a volo autonomo per il rilievo fotogrammetrico in ambito archeologico*, in *Una giornata informale per i 70 anni del Prof. Carlo Monti, 3 maggio 2012*, Milano: Politecnico di Milano, pp. 1-12.
67. PANGALLO D., KRAKOVÁ L., CHOVANOVÁ K., ŠIMONOVÍČOVÁ A., DE LEO F., URZI C 2012, *Analysis and comparison of the microflora isolated from fresco surface and from surrounding air environment through molecular and biodegradative assays*, in J. POLAINA, N. QURESHI (a cura di), *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 28, pp. 2015-2027.
68. PINNA D., SALVADORI B., GALEOTTI M. 2012, *Monitoring the performance of innovative and traditional biocides mixed with consolidants and water-repellents for the prevention of biological growth on stone*, in D. Barcelò, J. Gan, *The Science of the total environment*, Amsterdam: Elsevier, vol.423, DOI: 10.1016, pp. 132-141.
69. REVEZ M. J., RAPOSO M., DELGADO RODRIGUES J. 2012, *The PRODOMEA phasing and compatibility indicators as tools for the planning and design of conservation interventions. Assessment and validation in the Santa Clara-a-Velha Monastery (Coimbra, Portugal). Poster session presented at 12th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, United States*, Lisbona: Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal.
70. SANSONETTI A. [et. Al.] 2012, *The contribute of IR Thermography in evaluating the performances of water-repellent treatments*, in O. CIZER (a cura di), *Restoration of Buildings and Monuments*, Basilea: Birkhäuser Verlag, vol. 18 (1), DOI: 10.1515/rbm-2012-6496, pp. 13-22.
71. UNI EN 16095 :2012
72. UNI EN 16096 :2012
73. FRANCONI F., GORDLEY J. (a cura di) 2013, *Enforcing international cultural heritage law*, Oxford: Oxford University Press, ISBN: 978-0199680245.
74. DIAZ GONÇALVES T., BRITO V., MUSACCHI J., PEL L., SAIDOV T., DELGADO RODRIGUES J., COSTA D., MIMOSO J. M. 2014, *Drying of porous building materials possibly contaminated with soluble salts: summary and findings of the DRYMASS research project*, in *Conference: SWBSS 2014 - 3rd International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures – 14-16 October 2014*, Champs-sur-Marne: Rilem, ISBN: 978-2-900054-24-7.
75. PINNA D. 2014, *Biofilms and lichens on stone monuments: do they damage or protect?*, in *Frontiers in Microbiology*, Losanna: Frontiers, vol. 5: 1-3, DOI 10.3389/fmicb.2014.00133.
76. URZI' C., DE LEO F., BRUNO F., PANGALLO D. 2014, *New species description, biomineralization processes and biocleaning applications of Roman catacombs-living bacteria*, in C. SAIZ-JIMENEZ, *The Conservation of Subterranean Cultural Heritage*, Londra: CRC Press, DOI: 10.1201/b17570-10, pp. 65-72.
77. BERTASA M., BOTTEON A., RIEDO C., CHIANTORE O., POLI T., SANSONETTI A., SCALARONE D. 2015, *Cleaning materials: A preliminary study of different agar powders*, in *Conference: Technart 2015 - Non-destructive and microanalytical techniques in art and cultural heritage at Catania*, Catania:Technart.
78. GFELLER A. E. 2015, *Anthropologizing and Indigenizing Heritage: The Origins of the Unesco Global Strategy for a Representative, Balanced and Credible World Heritage List*, in L. MESKELL, *Journal of Social Archaeology*, Thousand Oaks: Sage, vol. 15 (3), DOI: doi.org/10.1177/146960531555913, pp. 366-386.

79. PROIETTI N., CAPITANI D., DI TULLIO V., OLMI R., PRIORI S., RIMINESI C., SANSONETTI A., TASSO F., ROSINA E. 2015, *MOdihMA at Sforza Castle in Milano: Innovative Techniques for MOisture Detection in Historical Masonry*, in L. TONIOLO, M. BORIANI, G. GUIDI, *Built Heritage: Monitoring Conservation Management*, Cham: Springer, pp. 187-197.
80. RAIMONDI V. [et. Al.] 2015, *An integrated multi-medial approach to cultural heritage conservation and documentation: from remotely-sensed lidar imaging to historical archive data*, Tolosa: SPIE, DOI:[10.1117/12.2195737](https://doi.org/10.1117/12.2195737).
81. UFFREDI V. 2015, *Metodologie innovative di rilievo e modellazione BIM applicati a beni culturali. Realizzazione di un database per la manutenzione programmata*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.
82. MATRONE F. 2016, *Rilevamento metrico 3D e modellazione HBIM per la manutenzione programmata del patrimonio architettonico. Il caso studio del Sacro Monte di Varallo*, Tesi di Specializzazione, Politecnico di Torino.
83. REVEZ M. J., DELGADO RODRIGUES J. 2016, *Incompatibility risk assessment procedure for the cleaning of built heritage*, in P. TOMASIN (a cura di), *Journal of Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier, vol. 18, DOI: doi.org/10.1016/j.culher.2015.09.003, pp. 219-228.
84. UNI EN 16853:2016 – *Processo di conservazione. Processo decisionale, pianificazione e implementazione*.
85. VAN RIELD S. 2016, *Exploring the use of 3D GIS as an analytical tool in archaeological excavation practice*, Lunds: Lunds Universitet, DOI: [10.13140/RG.2.1.4738.2643](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4738.2643).
86. BERTASA M., BOTTEON A., BRAMBILLA L., RIEDO C., CHIANTORE O., POLI T., SANSONETTI A., SCALARONE D. 2017, *Cleaning materials: A compositional multi-analytical characterization of commercial agar powders*, in *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Amsterdam: Elsevier, vol. 125, DOI: [10.1016, pp. 310-317](https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.05.003).
87. BRIDIER A., PIARD J. C., PANDIN C., LABARTHE S., DUBOIS-BRISSENET F., BRIANDET R. 2017, *Spatial organization plasticity as an adaptive driver of surface microbial communities in Frontiers in Microbiology*, Losanna: Frontiers, vol.8, DOI: [10.3389/fmicb.2017.01364](https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01364).
88. PIGATO C. 2017, *TOPOGRAFIA VOL.2*, Milano: Poseidonia scuola, ISBN: 978-8848263481.
89. PINNA D. 2017, *La crescita biologica sui materiali lapidei di alcune cappelle del Sacro Monte di Varallo Sesia*, in A. CARPINTERI (a cura di), *Il patrimonio pittorico murale dei Sacri Monti - Monitoraggio, valorizzazione e recupero*, Roma: Aracne Editrice, DOI: [10.4399/97888548975336](https://doi.org/10.4399/97888548975336), pp. 53-59.
90. RIVIERA G. 2017, *La strada del Fiammingo – Dal Brabante al Monferrato: i Tabacchetti di Fiandra*, Torino: Centro Studi Piemontesi, ISBN: 978-88-8262-267-1.
91. SANNA S. 2017, *Rilievo metrico e modellazione BIM per alcuni edifici del Sacro Monte di Varallo Sesia*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.
92. CHIABRANDO F., COLUCCI E., LINGUA A. M., MATRONE F., NOARDO F., SPANÒ A. 2018, *A European Interoperable Database (EID) to increase resilience of cultural heritage*, in *INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, Hannover: ISPRS, DOI: [10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-151-2018](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-151-2018), vol. 42, ISSN: 1682-1750, pp. 151-158.
93. FURCOLO N. (a cura di) 2018, *Guida al BIM 2 La rivoluzione digitale dell'edilizia – Prima edizione*, Bagnoli Irpino: ACCA software S.p.A.
94. MITTELMANN M. W. 2018, *The importance of microbial biofilms in the deterioration of heritage materials*, in R. MITCHELL, J. CLIFFORD (a cura di), *Biodeterioration and preservation in art, archaeology and architecture*, Londra: Archetype Publications, pp. 3-15.
95. PECCHIONI E., FRATINI F., CANTISANI E. 2018, *Le malte antiche e moderne – Tra tradizione ed innovazione*, Bologna: Pàtron Editore, ISBN: 978-88-555-3414-7.

96. ROSINA E., SANSONETTI A., LUDWIG N. 2018, *Moisture: The problem that any conservator faced in his professional life*, in P. TOMASIN (a cura di), *Journal of Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier, vol. 31, DOI 10.1016, pp. S1-S2.
97. SCIANNA A., CASTAGNETTI C., MATRONE F. 2018, *IL BENCHMARK SIFET 2018: Restituzione di modelli 3D/BIM/HBIM da nuvole di punti prodotte da rilievi UAV o laser scanning terrestre*, in *Convegno 22° Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano, 27-29 Novembre 2018*, pp. 901-910.
98. URSINI A. 2018, *La metodologia BIM applicata ai beni culturali. Un caso specifico: il Sacro Monte di Varallo Sesia*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.
99. CONIGLIONE F. 2019, *Gestione del patrimonio storico architettonico con metodologia HBIM: il caso studio del Sacro Monte di Varallo*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.
100. DE JONG I., DEN LEEUW M., MASS J., PINNA D., SHINDELL L., SPAPENS O. 2019, *Technical Art History. A Handbook of Scientific Techniques for the Examination of Works of Art*, L'Aia: AiA Foundation, ISBN: 978-90-9031032-9.
101. DEL GIUDICE M. (a cura di) 2019, *IL DISEGNO E L'INGEGNERE - BIM handbook for building and civil engineering students*, Torino: Levrotto & Bella, ISBN: 8882182037.
102. GENTILE G. 2019, *Sacri Monti*, Torino: Einaudi, ISBN: 9788806240400.
103. KHOMSIN K., PRATOMO D. G., ANJASMARA I.M., FAIZZUDDIN A. 2019, *ANALYSIS OF THE VOLUME COMPARISON OF 3'S (TS, GNSS and TLS)*, in *E3S Web of Conferences*, vol. 94 (1), DOI: 10.1051/e3sconf/20199401014, pp. 1-6.
104. NANNEI V. M., FARINA P. M., ROBERTI G. M., SANSONETTI A. 2019, *Integrated survey techniques: preliminary studies for the conservation of Villa Galvagnina*, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - GEORES 2019 – 2nd International Conference of Geomatics and Restoration, 8–10 May 2019, Milan, Italy*, Hannover: ISPRS, volume: XLII-2/W11, DOI: doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-909-2019, pp. 909-916.
105. UNI EN 15898:2019 – *Principali termini e definizioni*.
106. BERTASA M. [et. Al.] 2020, *An in-depth study on the agar gel effectiveness for built heritage cleaning*, in *Journal of Cultural Heritage*, Amsterdam: Elsevier, DOI: doi.org/10.1016/j.culher.2020.10.007.
107. FERRAZZI S. 2020, *The Notion of “Cultural Heritage” in the International Field: Behind Origin and Evolution of a Concept*, in A. WAGNER (a cura di), *International Journal for the Semiotics of Law - Revue internationale de Sémiotique juridique*, Cham: Springer, vol. 34 (3), pp. 743-768.
108. FRATINI F., MATTONE M., RESCIC S., ROVERO L. 2020, *Analysis of the earthen architectural heritage in Piedmont (northern Italy): typologies, construction techniques and materials*, in *Gremium*, Città del Messico: Editorial Restauro, vol. 7, ISSN: 2518-2943, pp. 41-52.
109. PALAZZO I. 2020, *HBIM e GIS 3D per la gestione del patrimonio architettonico: il caso del Sacro Monte di Varallo*, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Torino.
110. BRUNELLO V. [et. Al.] 2021, *Understanding the Microstructure of Mortars for Cultural Heritage Using X-ray CT and MIP*, in *materials*, Basel: MDPI, vol. 14(20), DOI: doi.org/10.3390/ma14205939.
111. PINNA D. 2021, *Microbial Growth and its Effects on Inorganic Heritage Materials*, in EDITH J. (a cura di), *Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage*, London: Springer Nature, ISBN: 9783030694111, pp. 3-35.
112. POZZOLI S., BONAZZA M., WERNER S. V. 2021, *Autodesk® Revit 2022 per l'Architettura*, Milano: Tecniche nuove, ISBN: 978-88-481-4334-9.
113. RESCIC S., MATTONE M., FRATINI F., LUVIDI L. 2021, *Earthen Plasters Stabilized through Sustainable Additives: An Experimental Campaign*, in *sustainability*, Basel: MDPI, vol. 13, DOI: doi.org/10.3390/su13031090.

114. FASSINA V. 2022, *Chimica applicata alla conservazione e al restauro del patrimonio culturale*, Firenze: Nardini Editore, ISBN: 978-8840403380.
115. FRATINI F., RESCIC S., LUVIDI L. 2022, *Can Tourism and Natural Parks Coexist? Comparison of Europe, China, and the United States of America*, in *geosciences*, Basel: MDPI, vol. 12(12), DOI: doi.org/10.3390/geosciences12120430.
116. MORLOTTI M., FORLANI F., SACCANI I., SANSONETTI A. 2024, *Evaluation of Enzyme Agarose Gels for Cleaning Complex Substrates in Cultural Heritage*, in *Gels*, Basel: MDPI, vol. 10 (1), DOI: doi.org/10.3390/gels10010014.
117. PINNA D. 2024, *Physical and Mechanical Methods for the Removal of Lithobionts—A Review*, in J. CARNEIRO (a cura di), *coatings*, Basel: MDPI, vol. 14 (3), DOI 10.3390.

SITOGRAFIA

118. 01BUILDING, *HBIM: cos'è l'Historical Building Information Modeling*, <<https://www.01building.it/bim/hbim-cose-lhistorical-building-information-modeling/>>. (Ultima consultazione 15/10/2024)
119. 3D SCANTECH, *Preserving the Sacred: 3D Scanning and Replicating the Sculpture of Sainte Anne d'Auray*, <<https://www.3d-scantech.com/preserving-the-sacred-3d-scanning-and-replicating-the-sculpture-of-sainte-anne-dauray/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
120. 3DMETRICA, *Homepage*, <<https://3dmetrica.it/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
121. ALTALEX, *Codice dei beni culturali e del paesaggio - Parte II - Beni culturali*, <<https://www.altalex.com/documents/news/2014/09/15/codice-dei-beni-culturali-e-dell-ambiente-parte-ii-beni-culturali#titolo2>>. (Ultima consultazione 07/10/2024)
122. BIBLUS, *Cos'è il BIM (Building Information Modeling)?*, <<https://biblus.acca.it/bim-building-information-modeling/>>. (Ultima consultazione 15/10/2024)
123. BIMEX, *Laser Scanning and the Different Types of Laser Scanners*, <<https://bimexeng.com/blog/technology/laser-scanning-and-the-different-types-of-laser-scanners>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
124. DIRITTO.IT, *Definizione "patrimonio culturale" in diritto internazionale*, <<https://www.diritto.it/definizione-patrimonio-culturale-internazionale/>>. (Ultima consultazione 07/10/2024)
125. DJI AGRICOLTURE, *DJI Mavic 3M*, <<https://ag.dji.com/it/mavic-3-m>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
126. DJI, *DJI MINI 3 PRO*, <https://www.dji-store.it/categoria/droni-con-fotocamera/dji-mini/dji-mini-3-pro/?srsrtid=AfmBOorGqIHxlrp1LZ00VOH7bK70UJ4_xnXzeR7IA3zLd5-8f8coR9m9>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
127. EUDRONE PORT, *Sintesi Drone Open e Specifica per il 2024*, <<https://eudroneport.com/it/blog-it/easa-aperto-e-specifico/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
128. GECON - LABORATORIO DI GEOMATICA PER L'AMBIENTE E LA CONSERVAZIONE DEI BENI CULTURALI, *i racconti*, <<https://geomaticeconservazione.it/racconti/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
129. GPSGEOMETER, *What is GNSS RTK and how does it work?*, <<https://gpsgeometer.com/en/blog/what-is-gnss-rtk-and-how-does-it-work>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
130. ICOMOS-ISCS, *Illustrated glossary on stone deterioration patterns*, <https://www.icomos.org/public/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdf>. (Ultima consultazione 07/10/2024)

131. INSTA360, *Insta360 ONE RS*, <<https://www.insta360.com/it/product/insta360-oners/1inch-360>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
132. INTERREG EUROPE, *homepage*, <<https://www.interregeurope.eu/>>. (Ultima consultazione 22/10/2024)
133. LEICA, *Leica RTC360 3D Laser Scanner*, <<https://leica-geosystems.com/it-it/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
134. MAIN10ANCE, *Progetto*, <<https://main10ance.eu/progetto/>>. (Ultima consultazione 22/10/2024)
135. MARCO BIZZOTTO, *Glossario BIM*, <<https://www.marcobizzotto.it/processi/bim-progettazione-integrata/glossario-bim.html> >. (Ultima consultazione 15/10/2024)
136. MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA, *Definizioni e criteri che sovrintendono alla designazione dei siti Patrimonio Mondiale dell'Umanità*, <<https://www.mase.gov.it/pagina/definizioni-e-criteri-che-sovrintendono-alla-designazione-dei-siti-patrimonio-mondiale>>. (Ultima consultazione 07/10/2024)
137. PISTEUO, *SACRO MONTE DI CREA*, <<https://www.pisteuo.it/it/node/288>>. (Ultima consultazione 17/06/2024)
138. RILEVAMENTO FOTOGRAMMETRICO DELL'ARCHITETTURA A CURA DI ANGELO MARZOCCA, *Cenni storici sulla fotogrammetria*, <http://rilievo.stereofot.it/studenti/aa04/marzocca/fotog/f_storia.htm>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
139. SACRI MONTI, *Relazione sull'attività svolta dall'Ente nel 2018*, <<https://www.sacrimonti.org/documents/25223/122694/00-RELAZIONE+2018+ATTIVITA%27+ENTE+GESTIONE+SACRI+MONTI.pdf/8c5b5a91-dc48-4e31-9d1b-d42ab4d264f9>>. (Ultima consultazione 17/06/2024)
140. SPIN3 GNSS, *Stazioni permanenti*, <<https://www.spingnss.it/stazioni/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
141. STONEX, *s990a*, <<https://www.stonex.it/it/project/s990a-ricevitore-gnss/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
142. STONEX, *X70 GO*, <<https://www.stonex.it/it/project/x70go-slam-laser-scanner/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
143. STONEX, *XVS*, <<https://www.stonex.it/it/project/xvs-vslam-3d-scanner/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
144. TECHCRUNCH, *DJI's new Mini 3 Pro drone hits the aerial photography sweet spot*, <<https://techcrunch.com/wp-content/uploads/2022/05/DJI-Mini-3-Pro-02.jpg>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)
145. VIDOC, *viDoc® Functionality*, <<https://vidoc.com/en/vidoc/vidoc-functionality/>>. (Ultima consultazione 18/10/2024)

ALLEGATI

- A. Fascicolo Report elaborazione acquisizioni
- B. Tabelle coordinate punti di acquisizione
- C. Monografie punti di acquisizione
- D. Schede rilievo fotografico
- E. Abaco classificazione Cappella 10

INDICE TABELLE

| | |
|---|-----|
| TABELLA 1: DANNO E DETERIORAMENTO SECONDO S. CATHER (FONTE: FASSINA V. 2022, CHIMICA APPLICATA ALLA CONSERVAZIONE E AL RESTAURO DEL PATRIMONIO CULTURALE)..... | 10 |
| TABELLA 2: INTERVENTI PREVENTIVI E PASSIVI CHE INDUCONO DEGRADO SECONDO S. CATHER (FONTE: FASSINA V. 2022, CHIMICA APPLICATA ALLA CONSERVAZIONE E AL RESTAURO DEL PATRIMONIO CULTURALE). | 10 |
| TABELLA 3: LEGENDA RELATIVA ALL'EVOLUZIONE STORICA DI SINTESI DELLE CAPPELLE..... | 31 |
| TABELLA 4: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 1. | 33 |
| TABELLA 5: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 2. | 34 |
| TABELLA 6: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 3. | 35 |
| TABELLA 7: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 4. | 37 |
| TABELLA 8: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 5. | 38 |
| TABELLA 9: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 6. | 39 |
| TABELLA 10: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 7. | 40 |
| TABELLA 11: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 8. | 41 |
| TABELLA 12: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 9. | 42 |
| TABELLA 13: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 10. | 43 |
| TABELLA 14: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 11. | 44 |
| TABELLA 15: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 12. | 45 |
| TABELLA 16: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 13. | 46 |
| TABELLA 17: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 14. | 47 |
| TABELLA 18: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 15. | 48 |
| TABELLA 19: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 16. | 49 |
| TABELLA 20: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 17. | 51 |
| TABELLA 21: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 18. | 52 |
| TABELLA 22: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 19. | 53 |
| TABELLA 23: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 20. | 54 |
| TABELLA 24: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 21. | 55 |
| TABELLA 25: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 22. | 56 |
| TABELLA 26: ORDINE CRONOLOGICO EVENTI CAPPELLA 23. | 57 |
| TABELLA 27: CRONISTORIA CON ARTISTI COINVOLTI CAPPELLA 10. | 63 |
| TABELLA 28: CRONISTORIA CON ARTISTI COINVOLTI CAPPELLA 16. | 70 |
| TABELLA 29: METODI DI RILIEVO IN FUNZIONE DELLA SCALA E DELL'OGGETTO DA RILEVARE (FONTE: GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M. 2011, PRINCIPALI TECNICHE E STRUMENTI PER IL RILIEVO TRIDIMENSIONALE IN AMBITO ARCHEOLOGICO)..... | 83 |
| TABELLA 30: CARATTERISTICHE LASER SCANNER LEICA RTC 360 (FONTE: LEICA, LEICA RTC360 3D LASER SCANNER, HTTPS://LEICA-GEOSYSTEMS.COM/IT-IT/PRODUCTS/LASER-SCANNERS/SCANNERS/LEICA-RTC360). | 93 |
| TABELLA 31: CARATTERISTICHE LASER SCANNER STONEX X70GO (FONTE: STONEX, X70 GO, HTTPS://WWW.STONEX.IT/IT/PROJECT/X70GO-SLAM-LASER-SCANNER/). | 95 |
| TABELLA 32: CLASSIFICAZIONE UAS (FONTE: EUDRONE PORT, SINTESI DRONE OPEN E SPECIFICA PER IL 2024, HTTPS://EUDRONEPORT.COM/IT/BLOG-IT/EASA-APERTO-E-SPECIFICO/). | 99 |
| TABELLA 33: SPECIFICHE TECNICHE DJI MAVIC 3M (FONTE: DJI AGRICOLTURE, DJI MAVIC 3M, HTTPS://AG.DJI.COM/IT/MAVIC-3-M). | 100 |
| TABELLA 34: SPECIFICHE TECNICHE DJI MINI 3 PRO (FONTE: DJI, DJI MINI 3 PRO, HTTPS://WWW.DJI-STORE.IT/CATEGORIA/DRONI-CON-FOTOCAMERA/DJI-MINI/DJI-MINI-3-PRO/?SRSLTID=AFMBOORQIHXIRP1LZ00VOH7BK70UJ4_xNXZeR7LA3zLD5-8f8CoR9M9). | 102 |
| TABELLA 35: SCHEDA TECNICA STONEX XVS (FONTE: STONEX, XVS, HTTPS://WWW.STONEX.IT/IT/PROJECT/XVS-VSLAM-3D-SCANNER/). | 105 |
| TABELLA 36: CARATTERISTICHE FOTOCAMERA NIKON D5600 (FONTE: NIKON, HTTPS://WWW.NIKON.IT/IT_IT/PRODUCT/CAMERAS/D5600). | 106 |
| TABELLA 37: COORDINATE COMPENSATE E S.Q.M. DELLA CAMPAGNA DI RILIEVO. | 109 |
| TABELLA 38: CLASSI OGGETTI IN FUNZIONE DELLA CONVENZIONE 4MAIN10ANCE. | 162 |
| TABELLA 39: STRALCIO DELL'ABACO ESTRATTO E CONVERTITO IN FORMATO EXCEL. | 163 |
| TABELLA 40: CRITICITÀ E POTENZIALITÀ DEGLI STRUMENTI DI LASER SCANNER. | 166 |
| TABELLA 41: CRITICITÀ E POTENZIALITÀ DEGLI STRUMENTI FOTOGRAMMETRICI. | 167 |

INDICE FIGURE

| | |
|---|----|
| FIGURA 1: EMBLEMA DEL PATRIMONIO MONDIALE UNESCO ADOTTATO DAL 1978 (FONTE: UNESCO, HTTPS://WHC.UNESCO.ORG/EN/EMBLEM/). | 3 |
| FIGURA 2: EMBLEMA ICOMOS (FONTE: ICOMOS, HTTPS://WWW.ICOMOSITALIA.COM/). | 6 |
| FIGURA 3: UNI – ENTE ITALIANO DI NORMAZIONE (FONTE: UNI, HTTPS://WWW.UNI.COM/). | 7 |
| FIGURA 4: APPROCCIO ALLA CONSERVAZIONE BASATO SULL'EFFICACIA, PROPOSTO DA A. ARNOLD (FONTE: FASSINA V. 2022, CHIMICA APPLICATA ALLA CONSERVAZIONE E AL RESTAURO DEL PATRIMONIO CULTURALE). | 9 |
| FIGURA 5: PROGETTO MAIN10ANCE (FONTE: MAIN10ANCE, HTTPS://MAIN10ANCE.EU/). | 11 |
| FIGURA 6: SACRO MONTE DI VARALLO (FONTE: STEFANO EMBER, TOURING CLUB ITALIA, HTTPS://ADMIN-ISTITUZIONALE.TOURINGCLUB.IT/UPLOADS/VARALLO_SACRO-MONTE_SHUTTERSTOCK.JPG). | 15 |
| FIGURA 7: DISTRIBUZIONE SACRI MONTI (FONTE: ZANZI L., ZANZI P. 2003, ATLANTE DEI SACRI MONTI PREALPINI, PP.21)..... | 16 |
| FIGURA 8 - SACRI MONTI SITI UNESCO DAL 2003 (FONTE: UNESCO, HTTPS://WHC.UNESCO.ORG/EN/LIST/1068/)..... | 17 |
| FIGURA 9: CAPPELLA 28 DEL SACRO MONTE DI VARALLO (FONTE: MATTANA, WIKIMEDIA, HTTPS://UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/WIKIPEDIA/COMMONS/7/78/VARALLO_SESIA_SACRO_MONTE_DI_VARALLO_002.JPG). | 18 |
| FIGURA 10: SACRO MONTE DI CREA (FONTE: FAI, HTTPS://FAI-PLATFORM.IMGIX.NET/MEDIA/PIEMONTE/AL/SACRO-MONTE-DI-CREA_77891.JPG)..... | 20 |
| FIGURA 11: “PROSPETTO DI CREA NELL'ANNO 1589. 1) RUINE DEL CASTELLO DI CARDELLONA; 2) TORRE DEL DIAVOLO; 3) RUINE DI ANTICHI FORTILIZI; 4) ALBERGO DEI PELLEGRINI; 5) BASILICA E MONASTERO” (FONTE: GODIO A. 1887, CRONACHE DI CREA, IN CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE)..... | 22 |
| FIGURA 12: DISEGNO DEL SANTUARIO E DEL SACRO MONTE NON DATATO MA PRESUMIBILMENTE SETTECENTESCO (FONTE: ARCHIVIO DEL SANTUARIO DI CREA, ESTRATTO DA CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE). | 23 |
| FIGURA 13: DISEGNO DAL TRATTO INGENUO SENZA DATA RAFFIGURANTE IL SACRO MONTE E IL VICINO PAESE DI SERRALUNGA (FONTE: ARCHIVIO PARROCCHIALE DI SERRALUNGA DI CREA, ESTRATTO DA CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE)..... | 23 |
| FIGURA 14: STAMPA OTTOCENTESCA AD ACQUERELLO DI CREA (FONTE: ACQUERELLO DEL 1822 IN DESCRIZIONE DEI SANTUARI DEL PIEMONTE PIÙ DISTINTI PER L'ANTICHITÀ DELLA LORO VENERAZIONE E PER LA SONTUOSITÀ DEI LORO EDIFICI, TORINO, VOL.1, ESTRATTO DA CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE). | 24 |
| FIGURA 15: LA FACCIA DELLA CHIESA CON L'ANTICO OSPIZIO DI SAN GIUSEPPE DEMOLITO NEL 1964 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE). | 25 |
| FIGURA 16: FRONTE DELLA CHIESA DEL SANTUARIO (FONTE: FAI, HTTPS://FAI-PLATFORM.IMGIX.NET/MEDIA/PIEMONTE/AL/SACRO-MONTE-DI-CREA_77896.JPG). | 27 |
| FIGURA 17: CORRIDOIO DEGLI EX-VOTO. | 27 |
| FIGURA 18: INTERNI DELLA CHIESA DEL SANTUARIO (FONTE: ENTE DI GESTIONE DEI SACRI MONTI, HTTPS://WWW.SACRIMONTI.ORG/EN/SACRO-MONTE-DI-CREA)..... | 28 |
| FIGURA 19: CAPPELLA DELLA MADONNA. | 28 |
| FIGURA 20: CAPPELLA DI SANTA MARGHERITA (FONTE: CHIESE ROMANICHE E GOTICHE DI PIEMONTE E VALLE D'AOSTA, HTTPS://WWW.CHIESEROMANICHE.IT/IMMAGINI/FOTOCHESE/99-9-SERRALUNGA-DI-CREA-SANTA-MARIA-ASSUNTA-AFFRESCHI-CAPPELLA-S.JPG). | 29 |
| FIGURA 21: CHIOSTRO DEL SANTUARIO (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE)..... | 30 |
| FIGURA 22: RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA IN PIANTA DELLA DISTRIBUZIONE DELLE CAPPELLE (FONTE: FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE). | 32 |
| FIGURA 23: KEYPLAN CAPPELLA 1 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 1..... | 33 |
| FIGURA 24: KEYPLAN CAPPELLA 2 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 2..... | 34 |
| FIGURA 25: KEYPLAN CAPPELLA 3 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 3..... | 35 |
| FIGURA 26: KEYPLAN CAPPELLA 4 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 4..... | 36 |
| FIGURA 27: KEYPLAN CAPPELLA 5 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 5..... | 37 |
| FIGURA 28: KEYPLAN CAPPELLA 6 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 6..... | 38 |
| FIGURA 29: KEYPLAN CAPPELLA 7 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 7..... | 39 |
| FIGURA 30: KEYPLAN CAPPELLA 8 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 8..... | 40 |
| FIGURA 31: KEYPLAN CAPPELLA 9 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 9..... | 41 |
| FIGURA 32: KEYPLAN CAPPELLA 10 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 10..... | 42 |
| FIGURA 33: KEYPLAN CAPPELLA 11 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 11..... | 43 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 34: KEYPLAN CAPPELLA 12 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 12. | 45 |
| FIGURA 35: KEYPLAN CAPPELLA 13 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 13. | 46 |
| FIGURA 36: KEYPLAN CAPPELLA 14 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 14. | 47 |
| FIGURA 37: KEYPLAN CAPPELLA 15 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 15. | 48 |
| FIGURA 38: KEYPLAN CAPPELLA 16 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 16. | 49 |
| FIGURA 39: KEYPLAN CAPPELLA 17 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 17. | 50 |
| FIGURA 40: KEYPLAN CAPPELLA 18 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 18. | 51 |
| FIGURA 41: KEYPLAN CAPPELLA 19 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 19. | 52 |
| FIGURA 42: KEYPLAN CAPPELLA 20 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 20. | 53 |
| FIGURA 43: KEYPLAN CAPPELLA 21 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 21. | 54 |
| FIGURA 44: KEYPLAN CAPPELLA 22 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 22. | 55 |
| FIGURA 45: KEYPLAN CAPPELLA 23 (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E CAPPELLA 23. | 56 |
| FIGURA 46: KEYPLAN VIA DEL RITORNO (FONTE: CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE) E IL ROMITORIO DI SAN ROCCO. | 58 |
| FIGURA 47: ESTERNI CAPPELLA 10. | 64 |
| FIGURA 48: SCOLO ACQUE METEORICHE SINISTRO E DESTRO. | 65 |
| FIGURA 49: PATINA BIOLOGICA ALLA BASE DEL MURO DESTRO (SINISTRA) E SUL CAMMINAMENTO ESTERNO (DESTRA). | 65 |
| FIGURA 50: FRONTE DI RISALITA INTERNO CON INCROSTAZIONE SALINA. | 66 |
| FIGURA 51: DISTACCO INTONACO MURO ESTERNO (SINISTRA) E DETTAGLIO (DESTRA). | 67 |
| FIGURA 52: DEGRADO RETRO DEL MANUFATTO A SINISTRA (SINISTRA) E DESTRA (DESTRA). | 67 |
| FIGURA 53: DEGRADO APERTURA VENTILAZIONE. | 68 |
| FIGURA 54: DEGRADO COPERTURA ABSIDE. | 68 |
| FIGURA 55: ALTERAZIONE CROMATICA DEL PIGMENTO DELLA PORTA. | 69 |
| FIGURA 56: DEGRADO APPARATI STATUARI (SINISTRA) E SCALINATA DI ACCESSO INTERNA (DESTRA). | 69 |
| FIGURA 57: ESTERNI CAPPELLA 16. | 70 |
| FIGURA 58: INTERNO PRONAO (SINISTRA) E MURO DI CONTENIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE DESTRO (DESTRA). | 71 |
| FIGURA 59: DETTAGLIO COLONNE. | 72 |
| FIGURA 60: DEGRADO INTERNO DATO DA EFFLORESCENZE SALINE (SINISTRA) E DISTACCO DELLA MALTA (DESTRA). | 72 |
| FIGURA 61: ALTERAZIONE CROMATICA PORTA (SINISTRA) ED ESTERNO PRONAO (DESTRA). | 73 |
| FIGURA 62: ALTERAZIONE CROMATICA APPARATI SCULTOREI. | 73 |
| FIGURA 63: DETTAGLIO DEGRADO INTERNO. | 74 |
| FIGURA 64: SENTIERO IN PROSSIMITÀ DELLA CAPPELLA 10. | 75 |
| FIGURA 65: ORTOMOSAICO SACRO MONTE DI CREA (FONTE: POLITECNICO DI TORINO, DIPARTIMENTO DIATI). | 76 |
| FIGURA 66: SCHEMA CLASSIFICAZIONE TECNICHE DI RILEVAMENTO (FONTE: GUIDI G., REMONDINO F., RUSSO M. 2011, PRINCIPALI TECNICHE E STRUMENTI PER IL RILIEVO TRIDIMENSIONALE IN AMBITO ARCHEOLOGICO). | 83 |
| FIGURA 67: PLANIMETRIA DEI PUNTI DELLA RETE DI APPOGGIO UTILIZZATA (FONTE: ELABORAZIONE DI IMMAGINE TRATTA DA CASTELLI A., ROGGERO D. 1992, CREA. IL SACRO MONTE). | 84 |
| FIGURA 68: MESSA IN STAZIONE DEL RICEVITORE GPS/GNSS. | 86 |
| FIGURA 69: SCHEMA MODALITÀ DI RILIEVO RTK ROVER (FONTE: GPSGEOMETER, WHAT IS GNSS RTK AND HOW DOES IT WORK?, HTTPS://GPSGEOMETER.COM/EN/BLOG/WHAT-IS-GNSS-RTK-AND-HOW-DOES-IT-WORK). | 87 |
| FIGURA 70: POSIZIONAMENTO SUI MARKER DEL LEICA SMART ROVER. | 87 |
| FIGURA 71: STONEX S990A. | 88 |
| FIGURA 72: SCHEMA TECNICA DEL ROVER RTK STONEX S990A (FONTE: STONEX, S990A, HTTPS://WWW.STONEX.IT/IT/PROJECT/S990A-RICEVITORE-GNSS/). | 88 |
| FIGURA 73: STAZIONE TOTALE LEICA NOVA (SINISTRA) E PRISMA (DESTRA). | 89 |
| FIGURA 74: MARKER. | 89 |
| FIGURA 75: EIDOTIPO RILIEVO CAPPELLA 16. | 90 |
| FIGURA 76: MONOGRAFIA DI VERTICE DELLA RETE. | 90 |
| FIGURA 77: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DEI LASER SCANNER (FONTE: BIMEX, LASER SCANNING AND THE DIFFERENT TYPES OF LASER SCANNERS, HTTPS://BIMEXENG.COM/BLOG/TECHNOLOGY/LASER-SCANNING-AND-THE-DIFFERENT-TYPES-OF-LASER-SCANNERS). | 91 |
| FIGURA 78: RETICOLATO EMESSO DAL LASER SCANNER (FONTE: KHOMSIN K., PRATOMO D. G., ANJASMARA I.M., FAIZZUDDIN A. 2019, ANALYSIS OF THE VOLUME COMPARATION OF 3'S (TS, GNSS AND TLS)). | 92 |
| FIGURA 79: LASER SCANNER LEICA RTC 360. | 93 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 80: ACQUISIZIONI PER CAPPELLA 10 (SINISTRA) E PER CAPPELLA 16 (DESTRA). | 94 |
| FIGURA 81: LASER SCANNER STONEX X70GO. | 94 |
| FIGURA 82: MODULO viDOC SCHEMATIZZATO (FONTE: VIDOC, viDoc® FUNCTIONALITY, HTTPS://VIDOC.COM/EN/VIDOC/VIDOC-FUNCTIONALITY/)..... | 95 |
| FIGURA 83: INTERFACCIA APPLICATIVO viDOC SUL CAMPO. | 96 |
| FIGURA 84: RAPPRESENTAZIONE DEL PRINCIPIO DI COLLINEARITÀ (FONTE: RILEVAMENTO FOTOGRAMMETRICO DELL'ARCHITETTURA A CURA DI ANGELO MARZOCCA, CENNI STORICI SULLA FOTOGRAMMETRIA, HTTP://RILIEVO.STEREOFOT.IT/STUDENTI/AA04/MARZOCCA/FOTOG/F_STORIA.HTM). | 96 |
| FIGURA 85: IMMAGINE DIGITALE E QUANTIFICAZIONE MATRICE PIXEL (FONTE: VAN RIELD S. 2016, EXPLORING THE USE OF 3D GIS AS AN ANALYTICAL TOOL IN ARCHAEOLOGICAL EXCAVATION PRACTICE). | 97 |
| FIGURA 86: RAPPRESENTAZIONE DEL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEGLI ALGORITMI DI STRUCTURE FROM MOTION (FONTE: VAN RIELD S. 2016, EXPLORING THE USE OF 3D GIS AS AN ANALYTICAL TOOL IN ARCHAEOLOGICAL EXCAVATION PRACTICE). | 97 |
| FIGURA 87: DJI MAVIC 3M CON CONTROLLER..... | 100 |
| FIGURA 88: DJI MAVIC 3M IN VOLO. | 101 |
| FIGURA 89: DJI MINI 3 PRO IN VOLO SUL CAMPO (SINISTRA) E VISTA DI DETTAGLIO (FONTE: TECHCRUNCH, DJI'S NEW MINI 3 PRO DRONE HITS THE AERIAL PHOTOGRAPHY SWEET SPOT, HTTPS://TECHCRUNCH.COM/WP-CONTENT/UPLOADS/2022/05/DJI-MINI-3-PRO-02.JPG). | 101 |
| FIGURA 90: PRIMA MISSIONE DI VOLO NADIRALE. | 102 |
| FIGURA 91: SECONDA MISSIONE DI VOLO NADIRALE. | 103 |
| FIGURA 92: PRIMA MISSIONE DI VOLO OBLIQUO. | 103 |
| FIGURA 93: SECONDA MISSIONE DI VOLO OBLIQUO. | 104 |
| FIGURA 94: DJI MINI 3 PRO UTILIZZATO NEL RILIEVO DELLA CAPPELLA 16. | 104 |
| FIGURA 95: STONEX XVS. | 105 |
| FIGURA 96: INSTA360 ONE RS-1 (FONTE: INSTA360, INSTA360 ONE RS, HTTPS://WWW.INSTA360.COM/IT/PRODUCT/INSTA360-ONERS/1INCH-360)..... | 106 |
| FIGURA 97: NIKON D5600 (FONTE: NIKON, HTTPS://WWW.NIKON.IT/IT_IT/PRODUCT/CAMERAS/D5600). | 106 |
| FIGURA 98: SCHEDE DI RILIEVO FOTOGRAFICO. | 107 |
| FIGURA 99: RETE RILIEVO TOPOGRAFICO COMPLESSIVA. | 108 |
| FIGURA 100: RETE RILIEVO TOPOGRAFICO CAPPELLA 10. | 108 |
| FIGURA 101: RETE RILIEVO TOPOGRAFICO CAPPELLA 16. | 109 |
| FIGURA 102: INTERFACCIA DEL SISTEMA CON L'ESECUZIONE PARZIALE DELLA FASE DI ALLINEAMENTO..... | 110 |
| FIGURA 103: CAPPELLA 10 CON SCANSIONI ALLINEATE..... | 111 |
| FIGURA 104: CAPPELLA 16 CON SCANSIONI ALLINEATE..... | 111 |
| FIGURA 105: BLOCCO DEI COLLEGAMENTI. | 112 |
| FIGURA 106: INDIVIDUAZIONE E DENOMINAZIONE DEI MARKER NELLE IMMAGINI. | 112 |
| FIGURA 107: VISUALIZZAZIONE DELLA NUVOLA GEOREFERENZIATA. | 113 |
| FIGURA 108: NUVOLA DI PUNTI DELLA CAPPELLA 10 GREZZA..... | 113 |
| FIGURA 109: NUVOLA DI PUNTI DELLA CAPPELLA 16 GREZZA..... | 114 |
| FIGURA 110: IMPOSTAZIONI ONE-CLICK SOLVE. | 114 |
| FIGURA 111: INTERFACCIA DI ELABORAZIONE DI GOPOST. | 115 |
| FIGURA 112: VISUALIZZAZIONE NEL SOFTWARE DELLA NUVOLA GENERATA PER LA CAPPELLA 10 E DEL PERCORSO SEGUITO (IN ARANCIONE). | 115 |
| FIGURA 113: VISUALIZZAZIONE NEL SOFTWARE DELLA NUVOLA GENERATA SINCRONIZZATA CON LA VISUALIZZAZIONE DELLA CAMERA FRONTALE. | 116 |
| FIGURA 114: NUVOLA DI PUNTI DELLA CAPPELLA 16 RIPULITA DALLA VEGETAZIONE..... | 116 |
| FIGURA 115: NUVOLA DI PUNTI DELLA CAPPELLA 10 RIPULITA DALLA VEGETAZIONE..... | 117 |
| FIGURA 116: NUVOLA DI PUNTI DEL SENTIERO DI COLLEGAMENTO TRA LE CAPPELLE (FONTE: POLITECNICO DI TORINO, DIPARTIMENTO DIATI). | 117 |
| FIGURA 117: INTERFACCIA METASHAPE PER IMPORTAZIONE FOTOGRAMMI. | 118 |
| FIGURA 118: NUVOLA CAPPELLA 10 ERRONEAMENTE ALLINEATA. | 119 |
| FIGURA 119: NUVOLA CAPPELLA 10 CORRETTAMENTE ALLINEATA. | 119 |
| FIGURA 120: ESTRATTO DEGLI ERRORI DI COLLIMAZIONE DEI MARKERS. | 119 |
| FIGURA 121: NUVOLA Densa CAPPELLA 10 ESTRATTA DA FOTOGRAMMI DJI MINI 3 PRO. | 120 |
| FIGURA 122: NUVOLA Densa CAPPELLA 16 ESTRATTA DA FOTOGRAMMI DJI MINI 3 PRO. | 120 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 123: NUVOLA Densa CAPPELLA 10 ESTRATTA DA FOTOGRAMMI viDOC..... | 120 |
| FIGURA 124: NUVOLA Densa CAPPELLA 16 ESTRATTA DA FOTOGRAMMI viDOC..... | 121 |
| FIGURA 125: NUVOLA Densa SACRO MONTE ESTRATTA DAI FOTOGRAMMI DJI MAVIC 3M – LATO NORD (FONTE: POLITECNICO DI TORINO, DIPARTIMENTO DIATI). | 121 |
| FIGURA 126: NUVOLA Densa SACRO MONTE ESTRATTA DAI FOTOGRAMMI DJI MAVIC 3M – LATO SUD (FONTE: POLITECNICO DI TORINO, DIPARTIMENTO DIATI). | 121 |
| FIGURA 127: NUVOLA Densa CAPPELLA 10 (SINISTRA) E 16 (DESTRA) ESTRATTA DALL'ELABORAZIONE STONEX XVS..... | 122 |
| FIGURA 128: NUVOLA Densa CAPPELLA 10. | 123 |
| FIGURA 129: NUVOLA Densa CAPPELLA 16. | 124 |
| FIGURA 130: SEZIONI NUVOLE DENSE CAPPELLE 10 (SINISTRA) E 16 (DESTRA). | 124 |
| FIGURA 131: MANCATA CORRETTA GEOREFERENZIAMENTO DELLA NUVOLA DA STONEX X70GO RISPETTO A NUVOLA FOTOGRAMMETRICA DA DRONE. | 125 |
| FIGURA 132: IMPOSTAZIONE DEL CAMPO MAX. DISTANCE. | 126 |
| FIGURA 133: RISULTATO VALUTAZIONI C2C DISTANCE TRA viDOC E RTC PER LA CAPPELLA 16 ESTERNAMENTE. | 126 |
| FIGURA 134: EFFETTIVA DISTANZA TRA PUNTI OMOLOGHI DELLE NUVOLE viDOC E RTC PER LA CAPPELLA 16 ESTERNAMENTE..... | 127 |
| FIGURA 135: RISULTATO VALUTAZIONI C2C DISTANCE TRA viDOC E RTC PER LA CAPPELLA 16 INTERNAMENTE - STRALCIO DI SINISTRA. | 127 |
| FIGURA 136: RISULTATO VALUTAZIONI C2C DISTANCE TRA viDOC E RTC PER LA CAPPELLA 16 INTERNAMENTE - STRALCIO DI DESTRA. | 127 |
| FIGURA 137: RISULTATO VALUTAZIONI C2C DISTANCE TRA DRONE E RTC PER LA CAPPELLA 16 – STRALCIO COLONNE E VOLTE. | 128 |
| FIGURA 138: RISULTATO VALUTAZIONI C2C DISTANCE TRA DRONE E RTC PER LA CAPPELLA 16 – STRALCIO CORNICE SUPERIORE. | 128 |
| FIGURA 139: RISULTATO VALUTAZIONI C2C DISTANCE TRA DRONE E RTC PER LA CAPPELLA 10..... | 129 |
| FIGURA 140: RISULTATO VALUTAZIONI C2C DISTANCE TRA viDOC E RTC PER LA CAPPELLA 10. | 129 |
| FIGURA 141: RISULTATO VALUTAZIONI C2C DISTANCE TRA viDOC E RTC PER LA CAPPELLA 10 – DETTAGLIO APPARATO STATUARIO. | 130 |
| FIGURA 142: RISULTATO VALUTAZIONI C2C DISTANCE TRA X70GO E RTC PER LA CAPPELLA 10 – FRONTE. | 130 |
| FIGURA 143: RISULTATO VALUTAZIONI C2C DISTANCE TRA X70GO E RTC PER LA CAPPELLA 10 – RETRO..... | 130 |
| FIGURA 144: IMPOSTAZIONE DEL LOCAL NEIGHBORHOOD RADIUS..... | 131 |
| FIGURA 145: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA DRONE CAPPELLA 16..... | 131 |
| FIGURA 146: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA DRONE CAPPELLA 16 – DETTAGLIO COPERTURA. | 132 |
| FIGURA 147: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA LASER SCANNER RTC CAPPELLA 16. | 132 |
| FIGURA 148: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA LASER SCANNER X70GO CAPPELLA 16..... | 133 |
| FIGURA 149: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA viDOC CAPPELLA 16. | 133 |
| FIGURA 150: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA LASER SCANNER LEICA RTC 360 - CAPPELLA 16: DETTAGLIO VOLTA. | 134 |
| FIGURA 151: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA viDOC - CAPPELLA 16: DETTAGLIO VOLTA. | 134 |
| FIGURA 152: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA LASER SCANNER X70GO - CAPPELLA 16: DETTAGLIO VOLTA. | 134 |
| FIGURA 153: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA STONEX XVS CAPPELLA 16. | 135 |
| FIGURA 154: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA viDOC CAPPELLA 10. | 135 |
| FIGURA 155: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA LASER SCANNER RTC CAPPELLA 10. | 136 |
| FIGURA 156: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA DRONE CAPPELLA 10..... | 136 |
| FIGURA 157: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA DRONE CAPPELLA 10 – DETTAGLIO COPERTURA. | 136 |
| FIGURA 158: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA LASER SCANNER RTC CAPPELLA 10 – DETTAGLIO FACCIATA..... | 137 |
| FIGURA 159: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA DRONE CAPPELLA 10 – DETTAGLIO FACCIATA. | 137 |
| FIGURA 160: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA LASER SCANNER RTC CAPPELLA 10 – DETTAGLIO INTERNO. | 137 |
| FIGURA 161: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA viDOC CAPPELLA 10 – DETTAGLIO INTERNO. | 138 |
| FIGURA 162: RISULTATO VALUTAZIONI DENSITÀ NUVOLA DA STONEX XVS CAPPELLA 10. | 138 |
| FIGURA 163: CONFRONTO TRA DETTAGLIO STATUE CAPPELLA 10 NELLA NUVOLA DA STONEX XVS (SINISTRA) E LEICA RTC 360 (DESTRA). | 141 |
| FIGURA 164: CONFRONTO TRA DETTAGLIO STATUE CAPPELLA 16 NELLA NUVOLA DA STONEX XVS (SINISTRA) E viDOC (DESTRA). | 141 |
| FIGURA 165: CONFRONTO TRA SEZIONE VOLTA CAPPELLA 10 NELLA NUVOLA DA STONEX XVS (SINISTRA) E LEICA RTC 360 (DESTRA). | 142 |
| FIGURA 166: ISTRUZIONI PER GENERAZIONE MESH DA NUVOLA DI PUNTI SU CLOUDCOMPARE. | 142 |
| FIGURA 167: CONFRONTO TRA NUVOLA DI PUNTI (SINISTRA) E MESH OTTENUTA (DESTRA). | 143 |
| FIGURA 168: LA MESH RIPULITA IN FORMATO .PLY (DESTRA). | 143 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 169: BIM E IL CICLO DI VITA DI UNA COSTRUZIONE (ACCA, GUIDA AL BIM 2 LA RIVOLUZIONE DIGITALE DELL'EDILIZIA – PRIMA EDIZIONE). | 148 |
| FIGURA 170: INTEROPERABILITÀ (ACCA, GUIDA AL BIM 2 LA RIVOLUZIONE DIGITALE DELL'EDILIZIA – PRIMA EDIZIONE). | 148 |
| FIGURA 171: NUVOLA CAPPELLA 10 VISUALIZZATA ALL'INTERNO DI AUTODESK RECAP. | 151 |
| FIGURA 172: COORDINATE PUNTO BASE DI PROGETTO. | 151 |
| FIGURA 173: VISUALIZZAZIONE DELLA NUVOLA DI PUNTI NELLA VISTA 3D. | 151 |
| FIGURA 174: DEFINIZIONE DEI PRINCIPALI LIVELLI PER LA MODELLAZIONE. | 152 |
| FIGURA 175: MODELLAZIONE MURI TRAMITE L'OSSERVAZIONE IN PIANTA DELLA NUVOLA DI PUNTI. | 153 |
| FIGURA 176: PAVIMENTAZIONE CAPPELLA 10. | 153 |
| FIGURA 177: COPERTURE CAPPELLA 10. | 153 |
| FIGURA 178: VISUALIZZAZIONE IN PIANTA DEL PROFILO DELLE LESENE. | 154 |
| FIGURA 179: PERCORSO DI ESTRUSIONE. | 154 |
| FIGURA 180: VISUALIZZAZIONE IN SEZIONE DEL PROFILO DI ESTRUSIONE. | 154 |
| FIGURA 181: PERCORSO DI ESTRUSIONE (SINISTRA) E VISUALIZZAZIONE IN SEZIONE DEL PROFILO DI ESTRUSIONE (DESTRA). | 155 |
| FIGURA 182: MENSOLE E FREGIO DELLA FACCIATA. | 155 |
| FIGURA 183: MURI CAPPELLA 10 (FRONTE). | 155 |
| FIGURA 184: MURI CAPPELLA 10 (RETRO). | 156 |
| FIGURA 185: FAMIGLIA CARICABILE DEL PROFILO PER MONTANTE. | 156 |
| FIGURA 186: FINESTRA LATO EST (SINISTRA) E LATO NORD (DESTRA). | 157 |
| FIGURA 187: FAMIGLIA CARICABILE – PORTA INGRESSO. | 157 |
| FIGURA 188: MODELLO CAPPELLA 10. | 158 |
| FIGURA 189: NUVOLA SOTTO-CAMPIONATA PER TOPOGRAFIA. | 159 |
| FIGURA 190: TOPOGRAFIA RICAVA DA REVIT. | 159 |
| FIGURA 191: MODELLO REALIZZATO INSERITO ALL'INTERNO DELLA TOPOGRAFIA. | 160 |
| FIGURA 192: SUPERFICIE TOPOGRAFICA GENERATA PER LA VOLTA. | 160 |
| FIGURA 193: SCRIPT DI CONVERSIONE. | 161 |
| FIGURA 194: MESH DELLA VOLTA. | 161 |
| FIGURA 195: STRALCIO DELL'ABACO GENERATO DALLA COMPILAZIONE DEI CAMPI IN REVIT. | 163 |