



# **UNIVERSITY OF SALERNO**

## **Department of Civil Engineering**

PhD Course in Risk and Sustainability in Civil, Architectural and Environmental Engineering Systems - XXXIII Cycle - 2018/2020

### **A proposal for the expanded fruition of Cultural Heritage Sites: CAME, a methodology for their digitization**

**PhD candidate: Carla Ferreyra**

**Coordinator: Prof. Dr. Fernando Fraternali**

**Tutor: Prof. Dr. Salvatore Barba**

**Co-tutor: Prof. Dr. Mona Hess**



## ABSTRACT

Architectural and landscape heritage can be defined as the tangible - and intangible - memory of a community's culture. It is an immense resource, but at the same time, yet enormously fragile and, unfortunately, essentially non-renewable. Its recognition as such implies a permanent action aimed at its knowledge and conservation, in order to ensure its correct transmission to future generations.

The research project, in an attempt to respond to these needs, has explored innovative methodologies for the management and analysis of risks, vulnerability of cultural heritage and social impact, topics absolutely aligned with the research areas of the Department of Civil Engineering of the University of Salerno and the PhD Course in *Risk and Sustainability in Civil, Architectural and Environmental Engineering Systems*. Thereby, I have had the opportunity to highlight the role and the current impact of digital technologies for the knowledge and protection of cultural heritage. In the first chapter I will therefore focus on defining and assessing the importance of cultural heritage as a sustainable resource for society and how to protect it, considering its possible risks, from the more engineering ones to oblivion and/or loss of cultural memory.

Scientific and technological advances that promote strategies to protect cultural heritage are the order of the day: digitization, modeling, visualization, and the use of immersive systems have acquired unprecedented weight. The second chapter will highlight the new horizons that allow the incorporation of very different perspectives on heritage, involving increasingly specialized disciplines, with their own languages and algorithms. It will present the most contemporary international initiatives and strategies to improve qualitatively and quantitatively, through the tools offered by digital technologies, the possibilities of approaching the knowledge of cultural heritage by promoting new systems to interpret and conserve it.

The methodology, which contemplates the analysis, digitization, and fruition of heritage, has been designed and applied in three case studies potentially recognizable by UNESCO as World Heritage Sites. Based on documentary research and the application of integrated digital survey and data processing techniques, actions have been developed to meet the increasing needs of society in terms of survey, recovery, and conservation.

The cases analyzed do not follow a chronological order, but are presented in an order of scale, progressively moving away from the object. The first case study, on an architectural scale, focuses on an emblematic example of medieval Italy; the second case study, on a landscape scale, deals with the gardens and landscapes of Baroque Germany; finally, the last case study, this time on a territorial scale, focuses on one of the most extraordinary archaeological testimonies of pre-colonial South Africa.

For the main case study, focused on a symbolic historical architecture of southern Italy, Villa Rufolo in Ravello, an integrated survey approach is presented in support of HBIM (Historic Building Information Modeling) in the framework of a project funded by the University of Salerno in collaboration with the then Management of Villa Rufolo. The project was born from the need to deepen the state of knowledge of the object of study and from the idea of how to digitize it, with the first results merged in the monograph *Villa Rufolo. Una scoperta che dura da mille anni*. The workflow has always been accompanied by the use and integration of advanced digital survey techniques: according to needs, objectives, and complexity characteristics, implementing different approaches and techniques, as presented in the contribution in the volume *A pipeline for the integration of 3D data on aero photogrammetric frameworks. The case study of Villa Rufolo*. Passive sensors, such as UAV (Unmanned Aerial Vehicle) photogrammetry



with GNSS (Global Navigation Satellite System) support, and active sensors, such as TLS (Terrestrial Laser Scanning) and MLS (Mobile Laser Scanning), have been integrated and used as a basis for a further strategic experimentation of a multidimensional HBIM modeling (submitted to the scientific journal “disegnarecon” in *BIM Reverse modelling process for the documentation in Villa Rufolo in Ravello*). According to, a reverse engineering process, starting from the point cloud, the elements of the case study have been modeled, following an adequate definition of priorities and a classification of development levels, proceeding to an original deepening of the concept of accuracy and considering a realistic visualization towards an “as-built” documentation; the technique *Image-based Elaborations to improve the HBIM Level of Development* has been accepted for publication in “3D Modeling & BIM”.

The second case study, at landscape scale, is located in Germany and was approached in conjunction with the concluding phase of my PhD. Cistercian landscapes have represented an interesting scenario on which to test the latest updates of the MLS methodology, generating an accurate infographic that has been explored in the project *Cisterscapes - Cistercian Landscapes Connecting Europe*; the results have been merged in the proposal *Recording and comparing garden architecture, value of slam-based recording for research on cultural landscapes in connection with heritage conservation* submitted to the CIPA ICOMOS Heritage Documentation. In addition, this stay abroad has served to carry out more tests on this new instrumentation and to know the best practices of the instrument, deepening in the SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) technique characterized by the speed of data acquisition. This experience laid the foundations for the publication *A SLAM integrated approach for Digital Heritage Documentation* in Springer Digital Library.

The third and last case study, on a territorial scale, summarizes the activities carried out during the first two years of my PhD, aligned with my background, in the framework of a project funded by the Italian Ministry of Foreign Affairs and International Cooperation. In particular, I had the opportunity to experiment with drone surveys as a starting point for architectural design. Some of the results have already been published in *Estimación de los errores y georreferenciación de un levantamiento aereofotogramétrico de un sitio arqueológico en Salta, Argentina* (IX Convención de Agrimensura), *SSIMM: Italy-South Africa joint Research Project: the architectural response* (II Simposio dell’Unione Italiana per il Disegno - Internazionalizzazione della Ricerca) and *Documentation and enhancement of the cultural landscape of South Africa* (D-SITE, Drones - Systems of Information on Cultural Heritage).

The objective was to digitize all the information acquired from the different case studies, analyze it, order it, and catalog it in digital data repositories, to facilitate collaboration and management in an interdisciplinary environment, and thus facilitate tasks and optimize processes.

Digital resources, in fact, not only facilitate and improve the scientific-technological processes traditionally used for heritage protection, but also constantly change the way of understanding, perceiving, and transmitting heritage, offering a new horizon of decisional strategies towards an increasingly sustainable conservation.



## ABSTRACT

Il patrimonio, architettonico e paesaggistico, può essere definito come la memoria materiale – e immateriale – della cultura di un popolo. È una risorsa immensa, ma allo stesso tempo, enormemente fragile e, purtroppo, essenzialmente non rinnovabile. Il suo riconoscimento come tale implica un'azione continua volta alla sua conoscenza e conservazione, per assicurare la sua adeguata trasmissione alle generazioni future.

Il progetto di ricerca, nel tentativo di voler rispondere a queste esigenze, ha sperimentato metodologie innovative per la gestione e l'analisi dei rischi, della vulnerabilità del patrimonio culturale e dell'impatto sociale, argomenti assolutamente in linea con le aree di ricerca del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Salerno e del Corso di Dottorato in *Rischio e sostenibilità nei sistemi dell'ingegneria civile, edile ed ambientale*. Ho così avuto l'occasione di mettere in evidenza l'attuale ruolo e l'impatto delle tecnologie digitali per la conoscenza e la protezione del patrimonio culturale. Nel primo capitolo mi concentrerò, quindi, nel definire e valutare l'importanza dei beni culturali come risorsa sostenibile per la società e su come proteggerli, considerandone gli eventuali rischi, da quelli più ingegneristici fino all'oblio e/o alla perdita della memoria culturale.

I progressi scientifici e tecnologici che promuovono le strategie di protezione del patrimonio culturale sono all'ordine del giorno: digitalizzazione, modellazione, visualizzazione e l'uso dei sistemi immersivi, hanno acquisito un peso senza precedenti. Nel secondo capitolo si metteranno in evidenza i nuovi orizzonti che permettono di incorporare prospettive molto diverse sul patrimonio, coinvolgendo discipline sempre più specializzate, con i propri linguaggi e algoritmi. Si presenteranno le più contemporanee iniziative e strategie internazionali per migliorare qualitativamente e quantitativamente, attraverso gli strumenti offerti dalle tecnologie digitali, le possibilità di approccio alla conoscenza del patrimonio culturale promuovendone nuovi sistemi per interpretarlo e conservarlo.

La metodologia, che contempla l'analisi, la digitalizzazione e la fruizione del patrimonio, è stata disegnata e applicata su tre casi studio riconoscibili come patrimonio dell'umanità UNESCO. Sulla base di una ricerca documentaria e l'applicazione di tecniche integrate di rilievo digitale ed elaborazione dati, sono state sviluppate azioni per rispondere alle esigenze sempre più frequenti della società in termini di rilievo, recupero e conservazione.

I casi studi analizzati non seguono un ordine cronologico ma piuttosto sono presentati secondo un ordine di scala, allontanandoci progressivamente dal manufatto. Il primo caso studio, a scala architettonica, si focalizza su un emblematico esempio dell'Italia medievale; il secondo caso studio, a scala paesaggistica, è relativo ai giardini e paesaggi della Germania barocca; infine, l'ultimo caso studio, questa volta a scala territoriale, ha trattato una delle più straordinarie testimonianze archeologiche del Sudafrica precoloniale.

Per il caso studio principale, un'architettura storica simbolica del Sud d'Italia, Villa Rufolo a Ravello, si presenta un approccio basato su rilievi integrati come supporto al HBIM (Historic Building Information Modeling) nell'ambito di un progetto finanziato dell'Università di Salerno in collaborazione con l'allora Direzione di Villa Rufolo. Progetto che era nato proprio a partire dalla necessità di approfondire lo stato di conoscenze sul manufatto e dall'idea di come poterlo digitalizzare, coi primi risultati confluiti nella monografia *Villa Rufolo. Una scoperta che dura da mille anni*. Il flusso di lavoro è sempre accompagnato dall'uso e integrazione di tecniche avanzate di rilievo digitale: secondo le necessità, gli obiettivi e le caratteristiche di complessità, sono stati



implementati diversi approcci e tecniche, così come confluiti nel contributo in volume *A pipeline for the integration of 3D data on aero photogrammetric frameworks. The case study of Villa Rufolo*. Sensori passivi, come la fotogrammetria UAV (Unmanned Aerial Vehicle) con supporto GNSS (Global Navigation Satellite System), e sensori attivi, come il laser scanner statico TLS e dinamico MLS, sono stati integrati e utilizzati come base per una posteriore sperimentazione strategica di modellazioni HBIM multidimensionale (presentati alla rivista scientifica “disegnarecon” in *BIM Reverse modelling process for the documentation in Villa Rufolo in Ravello*). Quindi, seguendo un processo di ingegneria inversa, a partire dalla nuvola di punti, sono stati modellati gli elementi del caso studio, seguendo un’opportuna definizione delle priorità e una classificazione dei livelli di sviluppo, procedendo a un’originale approfondimento sul concetto di accuratezza e relativamente alla visualizzazione realistica verso una vera e propria documentazione “as-built”; la tecnica *Image-based Elaborations to improve the HBIM Level of Development* è stata accettata per la pubblicazione in “3D Modeling & BIM”.

Il secondo caso studio, a scala paesaggistica, è situato in Germania ed è stato trattato in concomitanza con la fase più conclusiva del mio percorso di dottorato. I paesaggi cisterciensi hanno rappresentato un interessante episodio su cui per testare gli ultimissimi aggiornamenti della metodologia MLS, generando un’accurata infografica da esplorare nel progetto Cisterscapes - Cistercian Landscapes Connecting Europe; i risultati sono poi confluiti nella proposta *Recording and comparing garden architecture, value of slam-based recording for research on cultural landscapes in connection with heritage conservation* presentata all’International Committee of Architectural Photogrammetry CIPA ICOMOS Heritage Documentation. Inoltre, questo soggiorno all’estero è valso per portare a termine ulteriori test su questa nuova strumentazione e per accertare le migliori pratiche dello strumento, approfondendo la tecnica dello SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) caratterizzata per la rapida acquisizione dei dati. Quest’esperienza ha gettato le basi per la pubblicazione *A SLAM integrated approach for Digital Heritage Documentation* in Springer Digital Library.

Il terzo e ultimo caso studio, a scala territoriale, sintetizza le attività svolte durante i primi due anni del dottorato, coerentemente con il mio percorso formativo, per un progetto finanziato dal Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale. Nello specifico, ho avuto modo di sperimentare i rilievi da drone come base di partenza per la progettazione architettonica. Alcuni dei risultati sono stati già pubblicati in *Estimación de los errores y georreferenciación de un levantamiento aereofotogramétrico de un sitio arqueológico en Salta, Argentina* (IX Convención de Agrimensura), *SSIMM: Italy-South Africa joint Research Project: the architectural response* (Il Simposio dell’Unione Italiana per il Disegno - Internazionalizzazione della Ricerca) e *Documentation and enhancement of the cultural landscape of South Africa* (D-SITE, Drones - Systems of Information on Cultural Heritage).

L’obiettivo è stato quello di digitalizzare tutte le informazioni acquisite dai diversi casi studi, analizzarle, ordinarle e catalogarle in repository di dati digitali, per facilitare la collaborazione e la gestione in un ambiente interdisciplinare, e così, snellire i compiti e ottimizzare i processi.

Le risorse digitali, infatti, non solo facilitano e migliorano i processi scientifico-tecnologici tradizionalmente utilizzati per la protezione del patrimonio, ma cambiano anche il modo in cui il patrimonio è compreso, percepito e trasmesso, offrendo un nuovo orizzonte di strategie decisionali verso una conservazione sempre più sostenibile.



## RESUMEN

El patrimonio arquitectónico y paisajístico puede definirse como la memoria material - e inmaterial - de la cultura de una comunidad. Es un recurso inmenso, pero al mismo tiempo enormemente frágil y, por desgracia, esencialmente no renovable. Su reconocimiento como tal implica una acción permanente dirigida a su conocimiento y conservación, con el fin de asegurar su correcta transmisión a las generaciones futuras.

El proyecto de investigación, en un intento de dar respuesta a estas necesidades, ha experimentado metodologías innovadoras para la gestión y el análisis de los riesgos, la vulnerabilidad del patrimonio cultural y el impacto social, temas absolutamente en línea con las áreas de investigación del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Salerno y el Curso de Doctorado en *Rischio e sostenibilità nei sistemi dell'ingegneria civile, edile ed ambientale*. De este modo, se ha tenido la oportunidad de poner de manifiesto el rol y el impacto actual de las tecnologías digitales para el conocimiento y la protección del patrimonio cultural. El primer capítulo se concentrará, por lo tanto, en definir y evaluar la importancia del patrimonio cultural como recurso sostenible para la sociedad y cómo protegerlo, considerando los posibles riesgos, desde aquellos más técnicos, hasta aquellos relacionados con el olvido y/o la pérdida de la memoria cultural.

Los avances científicos y tecnológicos que promueven estrategias para proteger el patrimonio cultural están a la orden del día: la digitalización, la modelización, la visualización y el uso de sistemas inmersivos, han adquirido un peso sin precedentes. El segundo capítulo destacará los nuevos horizontes que permiten incorporar perspectivas muy diferentes sobre el patrimonio, en las que intervienen disciplinas cada vez más especializadas, con sus propios lenguajes y algoritmos. Se presentarán las iniciativas y estrategias internacionales más contemporáneas para mejorar cualitativa y cuantitativamente, a través de las herramientas que ofrecen las tecnologías digitales, las posibilidades de acercarse al conocimiento del patrimonio cultural promoviendo nuevos sistemas para interpretarlo y conservarlo.

La metodología, que contempla el análisis, la digitalización y la fruición del patrimonio, ha sido diseñada y aplicada en tres casos de estudio potencialmente reconocibles por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad. A partir de una investigación documental y de la aplicación de técnicas integradas de levantamiento digital y elaboración de datos, se han desarrollado acciones que responden a las necesidades cada vez más frecuentes de la sociedad en términos de levantamiento, recuperación y conservación.

Los casos analizados no siguen un orden cronológico, sino que se presentan en un orden de escala, alejándose progresivamente del objeto. El primer caso de estudio, a escala arquitectónica, se centra en un ejemplo emblemático de la Italia medieval; el segundo caso de estudio, a escala paisajística, trata los jardines y paisajes de la Alemania barroca; finalmente, el último caso de estudio, esta vez a escala territorial, se enfoca en uno de los testimonios arqueológicos más extraordinarios de la Sudáfrica precolonial.

Para el caso de estudio principal, centrado en una arquitectura histórica simbólica del sur de Italia, Villa Rufolo en Ravello, se presenta un enfoque basado en levantamientos integrados como apoyo a HBIM (Historic Building Information Modeling) en el marco de un proyecto financiado por la Universidad de Salerno en colaboración con la entonces Dirección de Villa Rufolo. El proyecto nació de la necesidad de profundizar en el estado del conocimiento del objeto de estudio y de la idea de cómo digitalizarlo, con los primeros resultados fusionados en





la monografía *Villa Rufolo. Una scoperta che dura da mille anni*. El flujo de trabajo ha sido siempre acompañado del uso y la integración de técnicas avanzadas de levantamiento digital: según las necesidades, los objetivos y las características de complejidad, implementando diferentes enfoques y técnicas, como se presenta en la contribución en volumen *A pipeline for the integration of 3D data on aero photogrammetric frameworks. The case study of Villa Rufolo*. Sensores pasivos, como la fotogrametría UAV (Unmanned Aerial Vehicle) con apoyo GNSS (Global Navigation Satellite System), y sensores activos, como el TLS (Terrestrial Laser Scanning) y el MLS (Mobile Laser Scanning), se han integrado y utilizado como base para una posterior experimentación estratégica de un modelado HBIM multidimensional (presentado a la revista científica “disegnarecon” en *BIM Reverse modelling process for the documentation in Villa Rufolo in Ravello*). A continuación, siguiendo un proceso de ingeniería inversa, partiendo de la nube de puntos, se han modelado los elementos del caso de estudio, siguiendo una adecuada definición de prioridades y una clasificación de niveles de desarrollo, procediendo a una original profundización en el concepto de precisión y considerando una visualización realista hacia una documentación “as-built”; la técnica *Image-based Elaborations to improve the HBIM Level of Development* ha sido aceptada para su publicación en “3D Modeling & BIM”.

El segundo caso de estudio, a escala paisajística, se sitúa en Alemania y se abordó junto con la fase concluyente del proyecto de doctorado. Los paisajes cistercienses han representado un escenario interesante sobre el que probar las últimas actualizaciones de la metodología MLS, generando una infografía precisa que se ha explorado en el proyecto *Cisterscapes - Cistercian Landscapes Connecting Europe*; los resultados se han fusionado en la propuesta *Recording and comparing garden architecture, value of slam-based recording for research on cultural landscapes in connection with heritage conservation* presentada al International Committee of Architectural Photogrammetry CIPA ICOMOS Heritage Documentation. Además, esta estancia en el extranjero en la Universidad de Bamberg ha servido para realizar experimentaciones sobre esta nueva tecnología y conocer las mejores prácticas del instrumento, profundizando la técnica SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) caracterizada por la rapidez en la adquisición de datos. Esta experiencia sentó las bases para la publicación *A SLAM integrated approach for Digital Heritage Documentation* en Springer Digital Library.

El tercer y último caso de estudio, a escala territorial, resume las actividades realizadas durante los dos primeros años del proyecto de doctorado, en el marco de un proyecto financiado por el Ministerio Italiano de Asuntos Exteriores y Cooperación Internacional en colaboración con la Tshwane University of Technology en Pretoria. En concreto, se ha tenido la oportunidad de experimentar estudios con drones como punto de partida para el diseño arquitectónico. Algunos de los resultados han sido publicados en *Estimación de los errores y georreferenciación de un levantamiento aereofotogramétrico de un sitio arqueológico en Salta, Argentina* (IX Convención de Agrimensura), *SSIMM: Italy-South Africa joint Research Project: the architectural response* (II Simposio dell’Unione Italiana per il Disegno - Internazionalizzazione della Ricerca) y *Documentation and enhancement of the cultural landscape of South Africa* (D-SITE, Drones - Systems of Information on Cultural Heritage).

El objetivo era digitalizar toda la información adquirida en los diferentes casos de estudio, analizarla, ordenarla y catalogarla en repositorios de datos digitales, para facilitar la colaboración y la gestión en un entorno interdisciplinar, y así, agilizar las tareas y optimizar los procesos. Los recursos digitales, de hecho, no sólo facilitan y mejoran los procesos científico-tecnológicos tradicionalmente utilizados para la protección del patrimonio, sino que además cambian constantemente la forma de entender, percibir y transmitir el patrimonio, ofreciendo un nuevo horizonte de estrategias decisionales hacia una conservación cada vez más sostenible.



## ZUSAMMENFASSUNG

Das architektonische und landschaftliche Erbe kann als das materielle - und nicht immaterielle - Gedächtnis der Kultur einer Gemeinschaft definiert werden. Es ist eine immense Ressource, gleichzeitig aber auch enorm zerbrechlich und leider nicht erneuerbar. Die Anerkennung dieser vergänglichen Eigenschaft verlangt ein andauerndes Handeln, die auf Erkenntnis und Erhaltung abzielt, um eine korrekte Weitergabe an zukünftige Generationen zu gewährleisten.

In dem Versuch, auf diese Anforderungen zu reagieren, hat das vorliegende Forschungsprojekt innovative Methoden für Management und Analyse von Risiken, Verwundbarkeit des kulturellen Erbes und sozialen Auswirkungen erforscht. Diese Themen stehen im Einklang mit den Forschungsbereichen der Fakultät für Bauingenieurwesen der Universität Salerno und der Graduiertenschule in *„Rischio e sostenibilità nei sistemi dell’ingegneria civile, edile ed ambientale“*. Auf diese Weise hatte ich die Möglichkeit, die aktuelle Rolle und den Einfluss digitaler Technologien für das Wissen über und den Schutz von kulturellem Erbe zu beleuchten. Im ersten Kapitel werde ich mich daher darauf konzentrieren, die Bedeutung des kulturellen Erbes als nachhaltige Ressource für die Gesellschaft zu definieren und einzuschätzen, wie es zu schützen ist. Hierbei werden mögliche Risiken berücksichtigt, von eher ingenieurtechnischen Risiken bis hin zum Vergessen und/oder dem Verlust des kulturellen Gedächtnisses.

Wissenschaftliche und technologische Fortschritte, die Strategien zum Schutz des kulturellen Erbes fördern, sind das Gebot der Stunde: Digitalisierung, Modellierung, Visualisierung und der Einsatz immersiver Systeme haben einen nie dagewesenen Einfluss erlangt. Das zweite Kapitel wird die neuen Horizonte aufzeigen, die die Integration sehr unterschiedlicher Perspektiven auf das Kulturerbe ermöglichen, wobei zunehmend spezialisierte Disziplinen mit ihren eigenen Sprachen und Algorithmen einbezogen werden. Es werden die aktuellsten internationalen Initiativen und Strategien vorgestellt, um durch digitalen Technologien als Werkzeug die Möglichkeiten der Annäherung an das Wissen über das kulturelle Erbe qualitativ und quantitativ zu verbessern. Dadurch werden neue Systeme zu dessen Interpretation und Erhaltung gefördert werden.

Eine neue Methodik, die Analyse, Digitalisierung und Vermittlung des Erbes in Betracht zieht, wurde entwickelt und in drei Fallstudien angewandt, die potenziell von der UNESCO als Welterbestätten anerkannt werden könnten. Basierend auf dokumentarischer Forschung und der Anwendung integrierter digitaler Vermessungs- und Datenverarbeitungstechniken wurden Maßnahmen entwickelt, die den immer häufigeren Bedürfnissen der Gesellschaft in Bezug auf Vermessung, Wiederherstellung und Erhaltung entsprechen.

Die analysierten Fallstudien folgen keiner chronologischen Reihenfolge, sondern werden in einer masstäblichen Reihenfolge dargestellt, die sich progressiv vom Objekt wegbewegt. Die erste Fallstudie in architektonischem Maßstab, konzentriert sich auf ein emblematisches Beispiel des mittelalterlichen Italiens; die zweite Fallstudie, auf landschaftlicher Ebene, beschäftigt sich mit den Gärten und Landschaften des barocken Deutschlands; die letzte Fallstudie schließlich, diesmal auf territorialer Ebene, konzentriert sich auf eines der außergewöhnlichsten archäologischen Zeugnisse des vorkolonialen Südafrikas.

Für die Hauptfallstudie, die sich auf eine symbolträchtige historische Architektur Süditaliens, die Villa Rufolo in Ravello, konzentriert, wird ein integrierter Vermessungsansatz zur Unterstützung von HBIM (Historic Building Information Modeling) vorgestellt, die im Rahmen eines von der Universität Salerno finanzierten Projekts in Zusammenarbeit mit dem damaligen Management der Stätte vorgestellt. Das Projekt entstand aus der Notwendigkeit, den Wissensstand über das





Studienobjekt zu vertiefen und aus der Idee, es zu digitalisieren. Die ersten Ergebnisse wurden in der Monographie *Villa Rufolo. Una scoperta che dura da mille anni* zusammengefasst. Der Arbeitsablauf wurde immer von der Verwendung und Integration fortschrittlicher digitaler Vermessungstechniken begleitet: je nach Bedarf, Zielsetzung und Komplexitätsmerkmalen werden verschiedene Ansätze und Technologien implementiert, wie im Kapitel *A pipeline for the integration of 3D data on aero photogrammetric frameworks. The case study of Villa Rufolo*, vorgestellt wird. Passive Sensoren, wie z. B. Drohnen-Photogrammetrie mit GNSS-Unterstützung, und aktive Sensoren, wie der statische Laserscanner (TLS) und der dynamische Laserscanner (MLS), wurden integriert und als Grundlage für eine weitere strategische Erprobung einer mehrdimensionalen HBIM-Modellierung verwendet (vorgestellt in der Fachzeitschrift "disegnarecon" im *BIM Reverse modelling process for the documentation in Villa Rufolo in Ravello*). Anschließend wurden die Elemente der Fallstudie nach einem Reverse-Engineering-Verfahren modelliert, ausgehend von der Punktwolke. Hier wurde eine geeignete Definition von Prioritäten und eine Klassifizierung von Entwicklungsebenen vorgenommen, die zu einer originellen Vertiefung des Genauigkeits-Konzeptes unter Berücksichtigung einer realistischen Visualisierung in Richtung einer "as-built"-Dokumentation führte; die Technik *Image-based Elaborations to improve the HBIM Level of Development* wurde zur Veröffentlichung in "3D Modeling & BIM" angenommen.

Die zweite Fallstudie im Landschafts-Maßstab, befindet sich in Deutschland und wurde in Verbindung mit der Abschlussphase meiner Promotion durchgeführt. Zisterzienserlandschaften stellten eine interessantes Szenario dar, an der die neuesten Entwicklungen der MLS-Methodik getestet werden konnten. Es wurde eine genaue Infografik erstellt, die im Projekt *Cisterscapes - Cistercian Landscapes Connecting Europe* untersucht wurde; die Ergebnisse wurden in dem Publikations-Vorschlag *Recording and comparing garden architecture, value of slam-based recording for research on cultural landscapes in connection with heritage conservation* zusammengefasst, der der CIPA ICOMOS Heritage Documentation – Gruppe vorgelegt wurde. Darüber hinaus diente dieser Auslandsaufenthalt dazu, weitere Tests mit der neuen Instrumentierung durchzuführen und die besten Praktiken des Instruments kennenzulernen. Die SLAM-Technik zeichnet sich durch die Geschwindigkeit der Datenerfassung aus. Diese Erfahrung legte den Grundstein für die Veröffentlichung *A SLAM integrated approach for Digital Heritage Documentation* in Springer Digital Library.

Die dritte und letzte Fallstudie auf territorialer Ebene fasst die Aktivitäten zusammen, die im Rahmen eines vom italienischen Ministerium für auswärtige Angelegenheiten und internationale Zusammenarbeit finanzierten Projekts durchgeführt wurden. Insbesondere hatte ich die Möglichkeit, mit Vermessungen durch Drohnenaufnahmen als Ausgangspunkt für architektonisches Design zu experimentieren. Einige der Ergebnisse wurden bereits veröffentlicht in *Estimación de los errores y georreferenciación de un levantamiento aereofotogramétrico de un sitio arqueológico en Salta, Argentina* (IX Convención de Agrimensura), *SSIMM: Italy-South Africa joint Research Project: the architectural response* (II Simposio dell'Unione Italiana per il Disegno - Internazionalizzazione della Ricerca) und *Documentation and enhancement of the cultural landscape of South Africa* (D-SITE, Drones - Systems of Information on Cultural Heritage).

Ziel dieses Forschungsprojektes war es, alle aus den verschiedenen Fallstudien gewonnenen Informationen zu digitalisieren, zu analysieren, zu ordnen und in digitalen Datenrepositorien zu katalogisieren, um die Zusammenarbeit und das Management in einem interdisziplinären Umfeld zu erleichtern und damit Aufgaben zu straffen und Prozesse zu optimieren. Digitale Ressourcen erleichtern und verbessern nicht nur die wissenschaftlich-technischen Prozesse, die traditionell für den Schutz des Kulturerbes eingesetzt werden, sondern verändern auch ständig die Art, wie Kulturerbe verstanden, wahrgenommen und weitergegeben wird. Sie bieten eine neue Dimension von Entscheidungsstrategien für eine zunehmend nachhaltige Erhaltung.



## RESUMO

O património arquitectónico e paisagístico pode ser definido como a memória tangível - e intangível - da cultura de uma comunidade. É um recurso imenso, mas ao mesmo tempo enormemente frágil e, infelizmente, essencialmente não renovável. O seu reconhecimento como tal implica uma acção permanente que visa o seu conhecimento e conservação, a fim de assegurar a sua transmissão correcta às gerações futuras.

Numa tentativa de responder a estas necessidades, o projecto de investigação experimentou metodologias inovadoras para a gestão e análise de riscos, vulnerabilidade do património cultural e impacto social, temas absolutamente em linha com as áreas de investigação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Salerno e do Curso de Doutoramento em *Rischio e sostenibilità nei sistemi dell'ingegneria civile, edile ed ambientale*. Desta forma se destacou o actual papel e impacto das tecnologias digitais para o conhecimento e protecção do património cultural. O primeiro capítulo, portanto, concentra-se na definição e avaliação da importância do património cultural como um recurso sustentável para a sociedade e a forma de protegê-lo, considerando os seus possíveis riscos, desde os mais técnicos, até o esquecimento e/ou perda da memória cultural.

Os avanços científicos e tecnológicos que promovem estratégias para proteger o património cultural estão na ordem do dia: a digitalização, a modelação, a visualização e a utilização de sistemas imersivos adquiriram um peso sem precedentes. O segundo capítulo destaca os novos horizontes que permitem a incorporação de perspectivas muito diferentes sobre o património, envolvendo disciplinas cada vez mais especializadas, com as suas próprias línguas e algoritmos. Apresenta as iniciativas e estratégias internacionais mais contemporâneas para melhorar qualitativa e quantitativamente, através das ferramentas oferecidas pelas tecnologias digitais, as possibilidades de abordar o conhecimento do património cultural, promovendo novos sistemas de interpretação e conservação do mesmo.

A metodologia, que contempla a análise, digitalização e fruição do património, foi concebida e aplicada em três estudos de caso potencialmente reconhecíveis como sítios do Património da Humanidade pela UNESCO. Com base na investigação documental e na aplicação de técnicas integradas de levantamento digital e processamento de dados, têm sido desenvolvidas acções que respondem às necessidades cada vez mais frequentes da sociedade em termos de levantamento, recuperação e conservação.

Os estudos de caso analisados não seguem uma ordem cronológica, mas são apresentados numa ordem de escala, afastando-se progressivamente do objecto. O primeiro estudo de caso, à escala arquitectónica, centra-se num exemplo emblemático da Itália medieval; o segundo estudo de caso, à escala da paisagem, trata dos jardins e paisagens da Alemanha barroca e finalmente, o último estudo de caso, desta vez à escala territorial, centra-se num dos mais extraordinários testemunhos arqueológicos da África do Sul pré-colonial.

Para o estudo de caso principal, centrado numa arquitectura histórica simbólica do sul de Itália, Villa Rufolo em Ravello, é apresentada uma abordagem integrada em apoio à HBIM (Historic Building Information Modeling) no âmbito de um projecto financiado pela Universidade de Salerno em colaboração com a actual Direcção de Villa Rufolo. O projecto nasceu da necessidade de aprofundar o estado de conhecimento do objecto de estudo e da ideia de como digitalizá-lo, com os primeiros resultados obtidos na monografia *Villa Rufolo - Una scoperta che dura da mille anni*. O fluxo de trabalho tem sido sempre acompanhado pela utilização e integração de técnicas



avanzadas de levantamento digital: de acordo com as necessidades, objectivos e características de complexidade, implementando diferentes abordagens e técnicas, tal como apresentado na contribuição no volume *A pipeline for the integration of 3D data on aero photogrammetric frameworks. The case study of Villa Rufolo*. Sensores passivos, como a fotogrametria de UAV (Unmanned Aerial Vehicle) com suporte GNSS (Global Navigation Satellite System), e sensores activos, como o TLS (Terrestrial Laser Scanning) e o MLS (Mobile Laser Scanning), foram integrados e utilizados como base para uma nova experimentação estratégica de uma modelação HBIM multidimensional (apresentada à revista científica “disegnarecon” no *BIM Reverse modelling process for the documentation in Villa Rufolo in Ravello*). Depois, seguindo um processo de engenharia inversa, partindo da nuvem de pontos, os elementos do estudo de caso foram modelados, seguindo uma definição adequada de prioridades e uma classificação de níveis de desenvolvimento, procedendo a um aprofundamento original do conceito de precisão e considerando uma visualização realista em direcção a uma documentação “as-built”; a técnica *Image-based Elaborations to improve the HBIM Level of Development* foi aceite para publicação em “3D Modeling & BIM”.

O segundo estudo de caso, à escala paisagística, está localizado na Alemanha e foi realizado em conjunto com a fase de conclusão do doutoramento. As paisagens de Cister representam um cenário interessante para testar as últimas actualizações da metodologia MLS, gerando um infográfico preciso que foi explorado no projecto Cisterscapes - Cistercian Landscapes Connecting Europe. Os resultados foram reunidos na proposta *Recording and comparing garden architecture, value of slam-based recording for research on cultural landscapes in connection with heritage conservation*, apresentada ao CIPA ICOMOS Heritage Documentation. Além disso, esta estadia no estrangeiro serviu para realizar mais testes sobre este novo instrumento e para conhecer as melhores práticas do instrumento, aprofundando-se na técnica SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) caracterizada pela velocidade de aquisição de dados. Esta experiência lançou as bases para a publicação *A SLAM integrated approach for Digital Heritage Documentation* na Springer Digital Library.

O terceiro e último estudo de caso, à escala territorial, resume as actividades realizadas durante os dois primeiros anos do doutoramento, de acordo com a formação académica, no âmbito de um projecto financiado pelo Ministério Italiano de Relaciones Exteriores e da Cooperação Internacional. Em particular, nesse caso teve-se a oportunidade de experimentar estudos com drones como ponto de partida para a concepção arquitectónica. Alguns dos resultados já foram publicados em *Estimación de los errores y georreferenciación de un levantamiento aereofotogramétrico de un sitio arqueológico en Salta, Argentina* (IX Convención de Agrimensura), *SSIMM: Italy-South Africa joint Research Project: the architectural response* (II Simposio dell’Unione Italiana per il Disegno - Internazionalizzazione della Ricerca) e *Documentation and enhancement of the cultural landscape of South Africa* (D-SITE, Drones - Systems of Information on Cultural Heritage).

O objectivo foi digitalizar toda a informação adquirida a partir dos diferentes estudos de caso, analisá-la, ordená-la e catalogá-la em repositórios de dados digitais, a fim de facilitar a colaboração e a gestão num ambiente interdisciplinar, para assim racionalizar tarefas e otimizar processos. De facto os recursos digitais não só facilitam e melhoram os processos científico-tecnológicos tradicionalmente utilizados para a protecção do património, mas também mudam constantemente a forma como o património é compreendido, percebido e transmitido, oferecendo um novo horizonte de estratégias de tomada de decisão no sentido de uma conservação cada vez mais sustentável.