

Urban modelling experiences for the representation of the historical city in Holy Land

In recent years, DAda Laboratory of University of Pavia has conducted numerous research activities in Holy Land aimed at defining operational strategies for the testing of documenting systems useful for the development of tools for the management and enhancement of historical heritage. The translation of the urban image into complex drawings is accomplished to replicate the characteristics of the real space, in order to entrust the virtual quality useful for configuring management tools and manipulating information. The synthesis of the data acquired from digital survey procedures, from the integration and post-production of a wide variety of instrumental out-puts, is expressed in models that reproduce morphological complexity and dimensional aspects in the desire to replicate the urban space of Middle

Eastern cities, enhanced in their information content on the levels of decomposition and analysis of which the urban context is composed, to encourage the fruition of research results through the drawing-model. In particular, the paper will present the model of a portion of San Giovanni of Acre, relating to the area of Al-Jazzar Mosque, for the analysis of the historical stratification of religious and urban environments; a portion of Jerusalem adjacent to the monumental walls, for which it was built an interactive platform for the fruition in AR of the survey database; and a portion of the historical center of Bethlehem, for which an analysis of the characteristics of the ahwash quarters and buildings is addressed, useful for a semantic decomposition of the urban structure functional to the creation of an intelligent model for the monitoring of structural risk.



Sandro Parrinello

European PhD, Architect, Associate professor at DICAr of University of Pavia. Expert member of UNESCO Red List Forum. Director of DAda Lab. and of joint laboratory LS3D. Responsible of national and international research projects on Built and Cultural Heritage documentation.



Francesca Picchio

European PhD, Architect, Research Fellow at DICAr of University of Pavia. Scientific coordinator of survey research projects promoted by DAda Lab. and Joint Laboratory LS3D, aimed at the development of virtual fruition of architectural, landscape and urban digital databases.



Raffaella De Marco

PhD Student, Engineer and Research Fellow at DICAr of University of Pavia. Collaborator of DAda Lab. at international survey research projects on UNESCO Sites, in particular in Middle East, elaborating 3D digital databases, reality-based models and census systems of architectural and urban sites.

Key words:

Big survey Data, urban modelling, historical centers management, Virtual Reality, Holy Land.

INTRODUCTION

The analysis for the understanding of different urban contexts, in parallel with the transformations of socio-logical, cultural and economic urban fabric, is increasingly linked to communication strategies and virtual fruition of spaces, as well as to the technological development adopted for documentation and data representation.

The information contained in an historical center, whose image is the result of many events that have occurred over years, constitute a heterogeneous and complex set of data that can be organized and presented in a "simplified" form, through a drawing of the city in which the episodes, even accidental, find their order.

Despite the changing of languages adopted by a community through the development of models set in digital landscapes, it remains unchanged the desire to disseminate information that contributes to define the image of a cultural context. Thus, it is intended for both documentary purposes and to promote heritage, to allow the transmission of identity and cultural values to people themselves, to the next and also to future generations.

The attempt to make the various information accessible, through the use of multimedia systems capable of integrating new communication strategies, requires the definition of operational programs for the development of "smart" digital databases. In this way, they can provide the basis for more aware management tools and they can activate processes for the enhancement of historical heritage [1].

Contemporary research is witnessing a progressive transformation of databases that from "containers" of events become interactive spaces where multiple expressive scenarios can be configured, and in which it is possible to develop new forms of fruition of public, social and global space.

The "physical" space acquires flexibility, and the user is no longer only a spectator but also a builder of the new configuration of the city, participating in the creation of relations systems capable of generating a content implementation. The sharing of digital spaces and the development of reading keys is useful for the transfer of the various information that the digital city

can offer, and it substantially changes the way of experiencing heritage [2].

In recent years, it is increased the need to develop appropriate documentation activities able to generate databases for the protection of architectural heritage and the dissemination of cultural values. This has sensitized administrations, development agencies and municipalities to a greater interest in the use of innovative technologies for urban documentation and analysis, aimed to a more aware management of territory. In urban areas the use of tools related to "fast survey", able to acquire a multitude of metrically reliable data in a short time, has greatly contributed to stimulate the use of integrated methodologies of acquisition also on large portions of historical centers, such as to produce an updated cognitive picture of both individual product and surrounding context. Times and methods of acquisition and post-production of data have been transformed, to clarify material and immaterial relations between individuals and context into descriptive models, realizing outputs intended for multiple purposes, from the updating of cartography to the production of digitized systems on territory, from the study for prevention and conserva-

tion to the diffusion and virtual fruition of architectural and cultural heritage.

Starting from 2015, DAdA Lab. and LS3D laboratories [3] have been involved in some documentation projects of historic centers in Holy Land, experimenting integrated survey technologies for the production of interactive databases and methodological procedures that can be used in other contexts of urban areas. Experimentations have been developed in order to optimize and make more intelligent not only the outputs, but the entire process of representation, from the survey campaign to the virtual fruition of heritage.

HISTORIC CENTERS IN MIDDLE EAST: MORPHOLOGICAL IDENTITY AND COMPLEXITY

Cultural development in the territories of Middle East has been shaped starting from the deep impact between West and East, allowing both components to give profound influences in the image of the city and its architecture, in terms of shape, color, sign and texture of urban and landscape contest [4]. Actually, the cities of these regions are witnesses of an intense

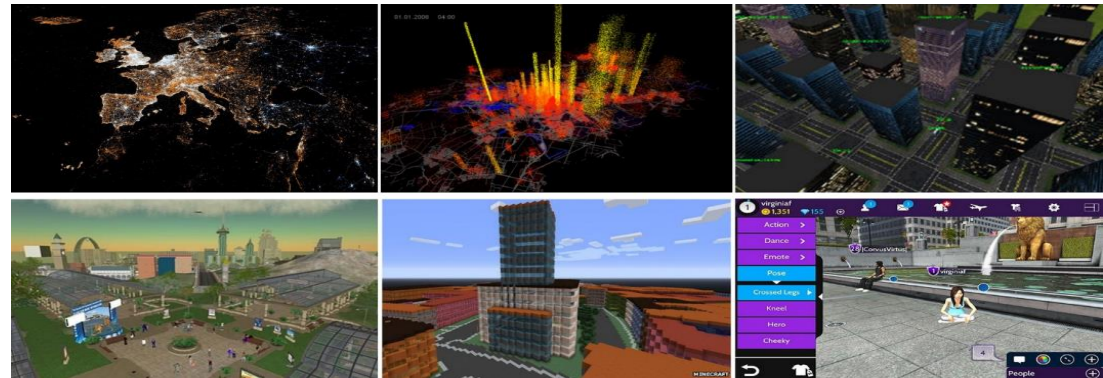


Fig. 1 - Some examples of digital databases on territory that are transformed as a result of implementation of contents and of the shared use of virtual spaces. Above, from the left: E. Fischer, "See something or say something", a map made up of the geotag of photographs posted by the user community on Flickr and Twitter, 2011; A. Koblin, "Visualizing Amsterdam SMS messages", 2007; "VisitorVille", an analysis tool that translates real-time traffic data into visual information in real time, 2003. Below, videogames of social interaction in virtual spaces: Second Life, 2003; Minecraft, 2009; Avakin Life, 2014.

building activity and a harsh political situation present on various levels of community life, which increase a general urban instability. In this panorama, the uncontrolled process of saturation of the city becomes dangerous, generating buildings of poor formal and constructive quality, superferatation and highly invasive interventions, which attack historical configurations compromising their structural stability. The absence of control tools and guidelines for the management, monitoring and safeguarding of heritage underlines the precarious conditions of these contexts, also in relation to the possibilities of intervention by local administrations. In Jerusalem, in the east area outside the walls, from Damascus Gate to Herod Gate, there is one of the main commercial areas of the Arab city. Along the streets surrounding Bab a-Zahar cemetery, there is the presence of shops, schools, hotels, mosques and the main bus station whose traffic manages the flow of people entering the old city to reach the esplanade. The entire area, consisting of buildings dating back to the second half of the 20th century, is affected by decay, overflow, illegal construction, exposed installations and numerous interventions that have over time altered the decoration of buildings. The same buildings are therefore often characterized by installations that disfigure their appearance and present structural problems that compromise their stability.

Fig. 2 - Localization from satellite images of the examined areas within the three urban contexts of Holy Land: from the left, the monumental cemetery of Bab a-Zahar between the two commercial districts of Sultan Suleiman and Salah Eddin streets in Jerusalem; the historic center of Bethlehem; the urban district around the complex of the White Mosque of Al-Jazzar, in Acre.

Fig. 3 - Complexity and morphology of Holy Land cities transposed into the virtual form of spatial databases, where the orbiting fruition of urban space becomes the starting interactive base for the development of an enhanced analysis process, from the geometric representation of the real context to its informative implementation, virtual and finally augmented. From the top, Jerusalem with Sultan Suleiman and Salah Eddin streets, Bethlehem and Al-Anatreh district, San Giovanni of Acre and the Al-Jazzar White Mosque district.

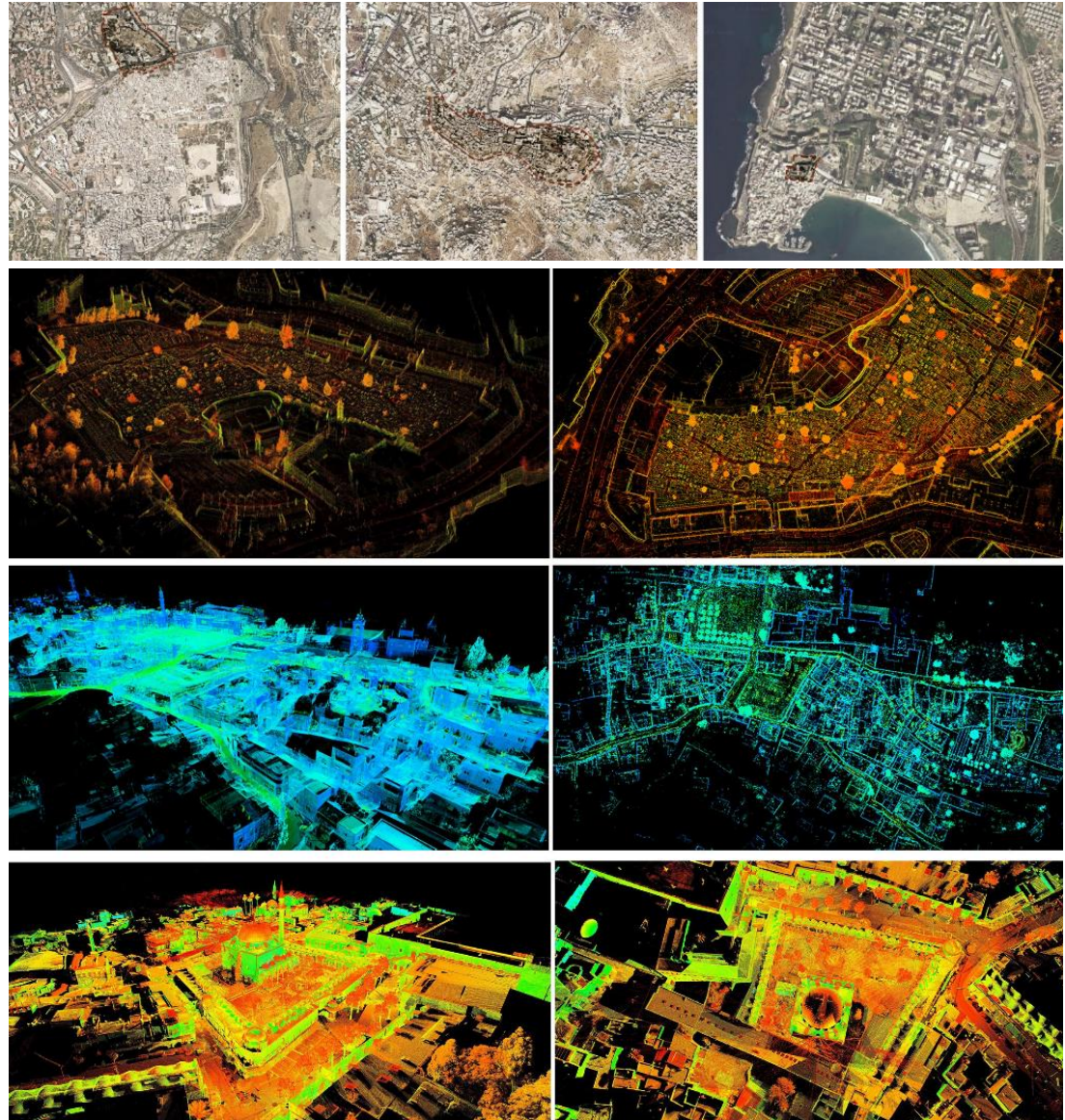




Fig. 4 - Comparison between a photograph of the early 50s and an image of the current Salah Eddin Street in Jerusalem, to highlight the superelevation of some buildings, the superfetation, the signs and the disfiguring installations that distinguish the area.



Fig. 5 - Buildings dated to the Crusader period in the historic center of Bethlehem. Above, the transformation of some traditional structures, whose infills and elevations are clearly visible signs on the current urban façades. Below, the historic Milky Grotto street, at the beginning of the 20th century and today.

In this area the program PURE [5] was provided for a general redevelopment of the urban fabric, by raising a floor of the existing buildings. The surveys were conducted to verify the opportunity of this intervention, through the creation of digital databases and the development of management systems of the historic city. However, results have convinced the community to a different strategy of valorization, based on the recovery of identity of the historical urban fabric [6]. In Bethlehem, the coexistence of Crusader, Ottoman architecture and new interventions qualifies the im-

age of a historic center where the different building types, punctuated by the raw blocks of local stone, have been modified and adapted indiscriminately to the different functions of buildings. The current urban configuration is the result of the succession of different populations, cultures, religions and urban policies over time. Since the first settlement, unaltered until the 19th century, the city has developed organically by districts, following the orography of the terrain, concentrically to the Nativity complex, until the uncontrolled development of the

last twenty years that has seen the total saturation of areas in urban fabric. The recent building policies have generated new constructions and interventions on the existing heritage characterized by low value, often without adequate control and structural, technological and environmental checks by administrations, highlighting formal discrepancies with respect to the types and materials of traditional buildings. Other times, uncontrolled policies of architectural transformation, aimed to increase commercial activities located on the ground floors of existing historical

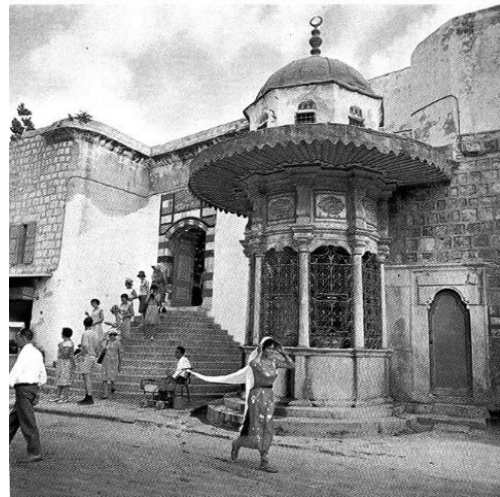
Fig. 6 - Al-Jazzar Mosque district in Acre at the beginning of the 20th century and today. Above, a view from the main road; below, a view of the external *sabil*, next to which there is the access to the monumental complex. The exteriors have not undergone significant transformations, which mainly concerned the internal distribution of the complex.

buildings, are responsible for considerable structural damage, seriously compromising the stability and persistence of portions or entire architectural complexes over time. The White Mosque of Al-Jazzar, built in 1781 over a Byzantine basilica and used for various purposes over years by the inhabitants of Acre, actually presents considerable deformations and structural damage in the perimetric portion of the complex, which also includes a part of the city *suk*. In the vaulted rooms on the lower level, which host the commercial activities accessible from the public road, there are numerous cracks in correspondence of the misalignment of the wall sections between the requiring urgent recovery activities.

The growing interest in these territorial realities, which realizes from a symbolic value due to their historical and cultural importance, has led to the promotion of some programs of historical heritage renewal, updating the existing database and developing, through a 3D digital system, practices for the conservation and restoration of the architectural heritage, to define repercussions and improving the quality of life. The presented documentation activities have allowed the application of survey technologies, producing a new database and developing systems for a more conscious management and use of the architectural heritage and urban space [7].

COMPARATIVE PROCESSES OF CITY'S ANALYSIS FOR THE PRODUCTION OF MULTIMEDIA TERRITORIAL DATABASES

The growth in the request for documentation of historic centers in Holy Land is intended by the same municipalities to include a large catalogue of signs and stratifications of unitary comparison, for the



analysis of their architectural evolution and contemporary urban identity. From the Mamluk and Ottoman system to the most current "Europeanized" interventions, knowledge requests emerge as oriented towards the implementation of two fundamental process objectives: the overall documentation and the building detail. The first is aimed at ensuring a total coverage of the material and spatial urban complexity, not only limited to the standard configurations of representation, in the drawings of planimetries and fronts. In particular, the documentation is extended

beyond the marginal "cones" of semi-public spaces and corners of urban planning, in all their real three-dimensional complexity of conservation and management. At the same time, the building detail is brought beyond the cadastral geometric configuration towards a representative implementation both for thematic levels, not only architectural but also constructive, technological and socio-cultural, and for the scale of detail, deepened up to the morphological variation of masonries. The aim is to trace and codify information on developments and constructive be-

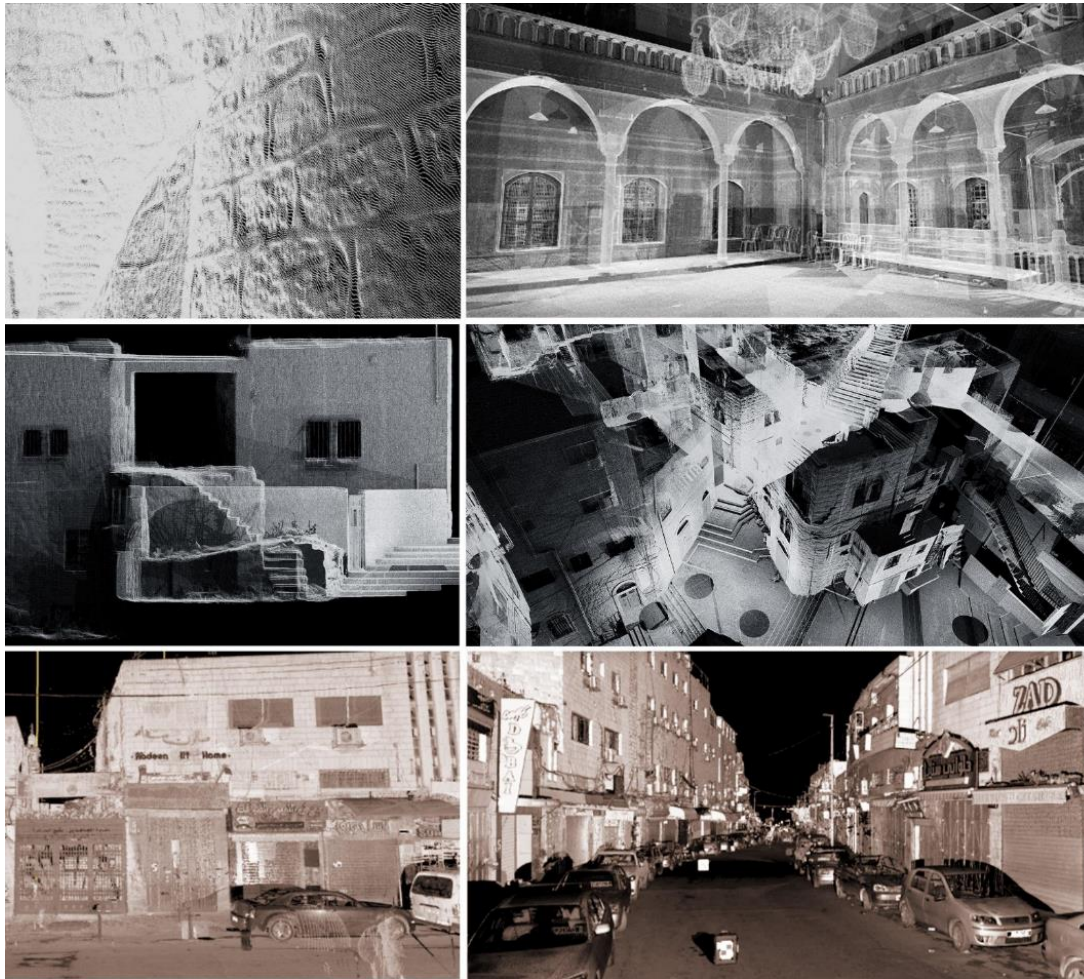


Fig. 7 - The "digitization strategy" is declined in the different cases focusing on the main project targets of the Arab city (constructive structure, complexity of distribution, stratification of current urban layers), and it builds around them the operational plan of documentation, calibrated in typological and analytical characteristics of Middle Eastern context. Related to the focus of the specific research, the difficulty concerns the extension of the survey plan to the scale of the urban context, maintained in the quality of historical-architectural information but at the same time widespread with a territorial impact developed between historical centers and urban suburbs of the 20th century. From the top: masonry structures in Acre, labyrinthic building aggregates in Bethlehem, saturations of historical districts in Jerusalem.

haviors of architectural complexes and urban aggregates, in the formal and structural signs of stone walls.

In this context of requirements, the use of digital instrumentation and methodologies for architectural documentation, nowadays usually applied in the field of survey as redundant basic policy, is instead offered as a reasoned strategy of analysis and an opportunity to represent the historical centers of Holy Land. This choice is made on the basis of the possibility of critical control of acquisition, resolution and communication of spatial and urban data, calibrated to find optimal values focused on the morphological and fruitful specifics of the study context.

Multimedia parameters thus become a field of experimentation for the development of digital works extended to the size of the city [8]; these products are intended as a support for new generation of territorial management and development plans, producing "ad hoc" databases, calibrated for acquisition density, adaptability of application and integration of instruments, sensors, time implementation and communication channels.

In this way, the survey strategy is structured and optimized on a unitary process developed overall for the "Holy Land cities" and declined according to the specific characteristics of each urban context of study. Urban analysis thus specializes in the structural and evolutionary complexity of units and aggregates of the *ahwash* districts in the center of Bethlehem, to the constructive integration of city and monument in San Giovanni of Acre, up to the most evident relationship of modernization of the historic city in the contemporary districts of Jerusalem.

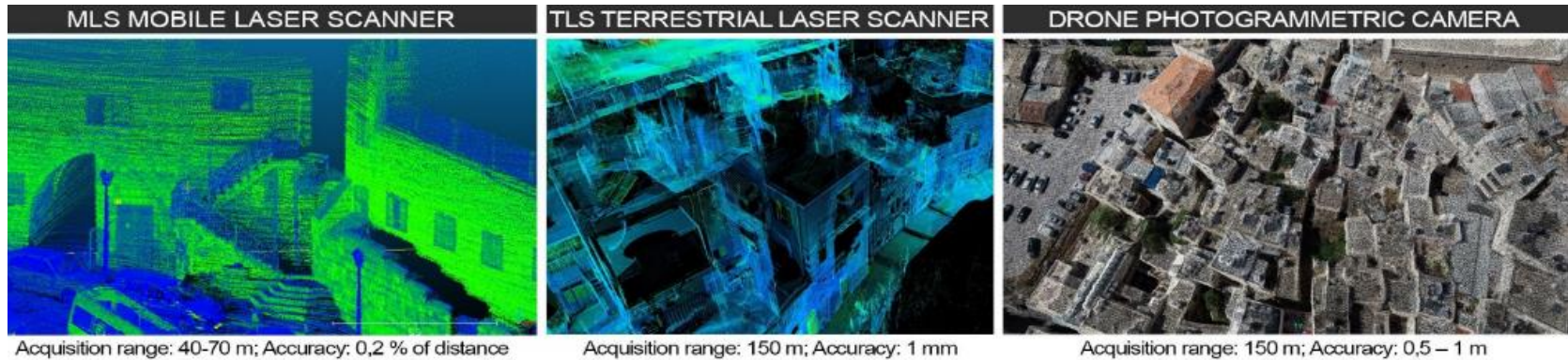


Fig. 8 - The urban complexity and the different levels of detail for its reading recall the experimentation of diversified methodologies of metric acquisition of the constructed space, in the variety of instruments and timing, and of density and quality of data, as in the documentation of the historical center of Bethlehem with the comparison of quality and reliability between Mobile Laser Stencil data, Terrestrial Laser Scanner and drone photogrammetric camera.

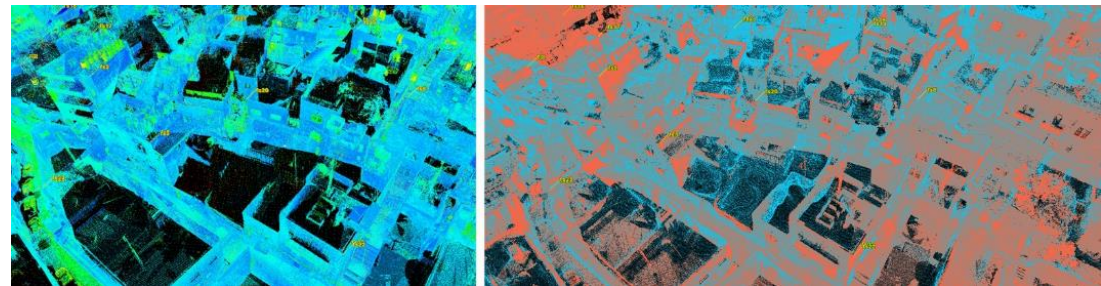


Fig. 9 - Metric database of Al-Anatreh district in the historical center of Bethlehem. The urban articulation implies different documentation approaches, terrestrial and aerial, whose integration allows to extend the documentation coverage within the semi-private spaces and urban waste corners contained in the aggregates. From the left: TLS point cloud, integration between TLS point cloud (pink) and drone photogrammetric dense cloud (blue).

Digitization remains as a common programmatic basis for research, specializing through tools and procedures from the discretization of key points, till across the capacity of adaptation of *range*, RGB and thermal cameras, of terrestrial and air application. These systems are able to be contained in the dimension of the labyrinthine ground-path of the Arab city, but they can also be expanded to the control of the entire urban scale. *Scan stations* and wide-ranging mappings structure the operational process, with in situ acquisition missions that are adaptable and manageable be-

tween the definition of the overall urban system and the implementation of building singularities within the specific components of the urban fabric.

METHODS OF ACQUISITION AND INTEGRATION OF DIGITAL DATA FOR URBAN ARCHITECTURAL REPRESENTATION

Documentation experiments have been developed on the case studies of Holy Land across constructive, structural and monumental typologies often hybrid-

ized in the urban context. The experiences have configured certified processes of acquisition and post-production, leading from the architectural decomposition of the "real" built heritage to its reconstruction in "virtual" forms; these forms are graphically regenerated and for this reason they are cognitively and critically communicative of renewed considerations on the built reality.

Architectural documentation projects carried out on the sites of Jerusalem, Bethlehem and San Giovanni of Acre, between Israel and Palestine, highlight the

potential for the acquisition and integration of forms and data, of prevalent metric and photogrammetric base, specialized on diversified intervention programs. The search for products and representation languages, useful to define solutions for specific project needs, aims to summarize urban scenarios and elements of Holy Land in an action of management, enhancement and unified transposition of cultural heritage to its community.

Surveying actions have generated structured apparatus for diversified morphological systems, levels of analysis, census and survey scales, whose relationship is combined with unified processes of data encoding (Range, RGB and *query*). In terms of versatility and automation, the methodological evaluation is carried out both in the context of the calibration of formal and informative detail, and in that of acquisition with the extent of recording data from the architectural terms to the urban scale, compared and certified in terms of metric reliability, referencing and cataloguing.

The experimentation of integrated strategies for the digitization of the "built city" in the "virtual city", with a strong historical-identity impact in a context such as that of the near Middle East, is achieved through programmatic acquisition projects tested on limited areas and subsequently expanded. It follows the application of tools that are methodologically different but with complementary products, through ranges of action and reliability adapted to specific urban types.

The highly dense and labyrinthine conformation typical of the Arab city influences a combined strategy of structured documentation for levels of coverage, urban routes and analytical objectives, composed of several sets of actions: a "static" acquisition process of constructive detail, conducted by the ground level and focused on urban environments and façades; a "mobile" acquisition extended for roads and territorial competences; and an "aerial" action of control and general coordination, aimed at the reconstruction and integration of upper façades and architectural aggregates on the landscape scale. The integrated survey conducted in the historic center of Bethlehem finds application with the joint use of Lidar and photogrammetric instrumentation, procedurally distinct in terrestrial typology with static application (Terrestrial Laser Scanner, Reflex Camera for close-range photo

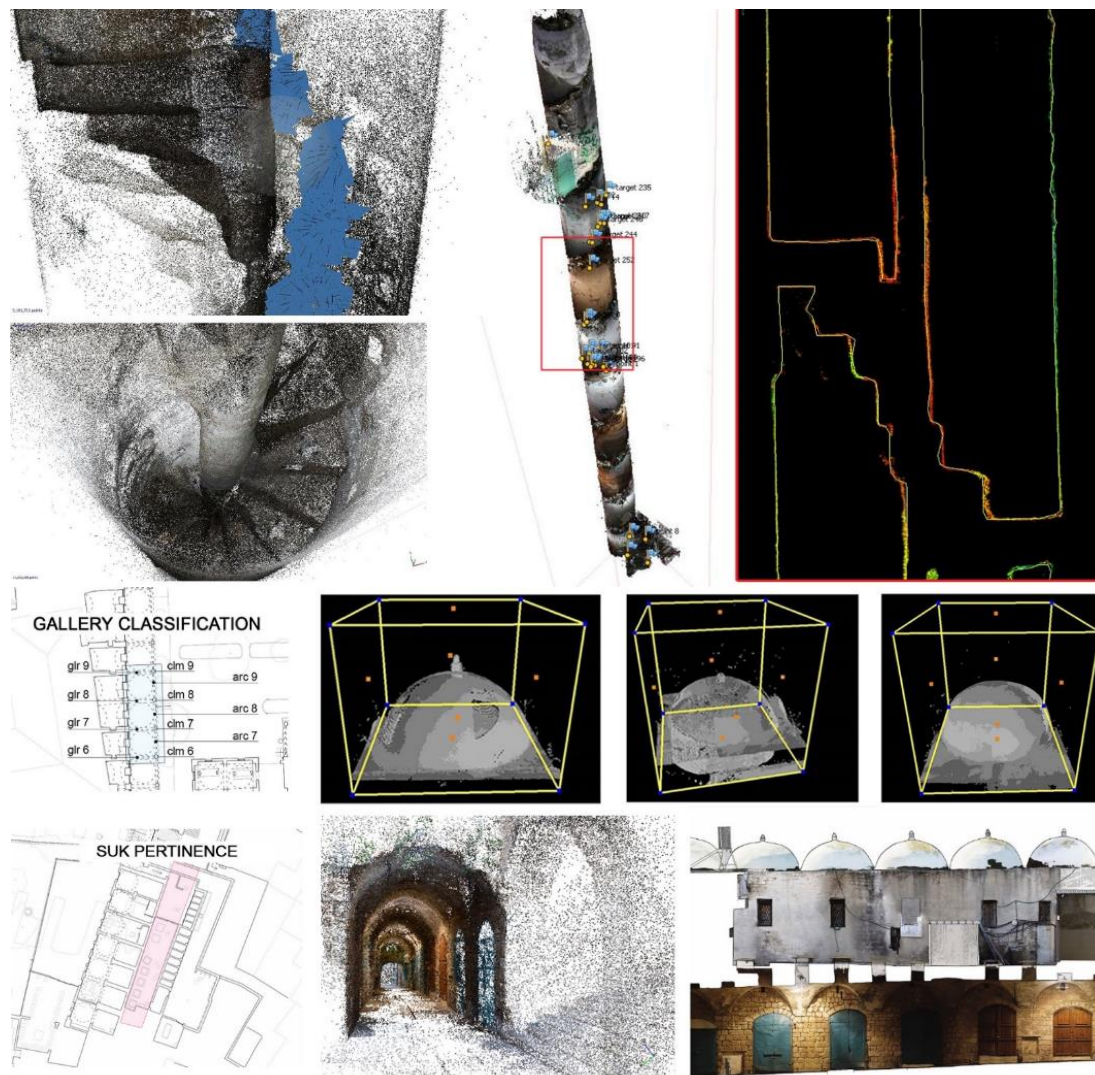


Fig. 10 - Characteristic environments of Arab historical centers, usually constituted by elements such as minarets, domes and covered *suk*, that define morphological units of singular identity, where the correspondence and relative decomposition within the acquired database, metric and photogrammetric, becomes a process of individuation and characterization, in a constructive and structural level, for the analysis of the urban form, as in Acre.

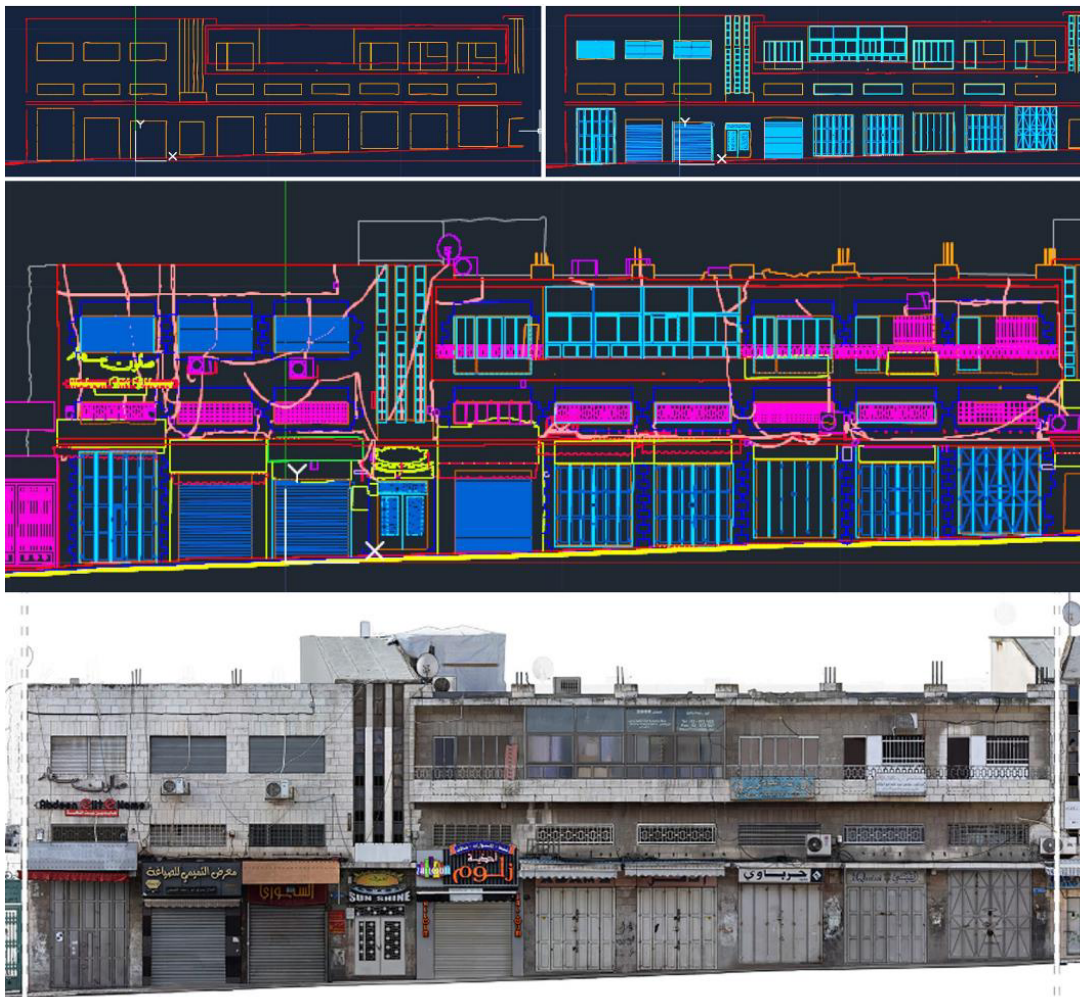


Fig. 11 - The extension of acquisition and the increase of building details consolidate the completeness of the database of points in the reliable transposition of different urban levels. As survey archives are more faithful in the representation of the "real" urban image, imperfect in its widespread problems, greater is the depth of decomposition and analysis of layers of which the city is composed, and even more complex and improving becomes the process of discretization. The drawing, generally intended both two-dimensional and 3D, configures itself as the reasoned criterion of urban synthesis and communication. Above, Salah Eddin street's urban façades.

grammetry) and dynamic acquisition (Mobile Stencil, Ricoh Camera), and of aerial type (drones for SfM photogrammetry and photographic survey). In this way, it ensures a total coverage of the urban center conducted at multiple levels of observation and stratification of the built system [9]. Laser scanner acquisition structures the development of a database of highly dense points focused on urban façades, with the use of photogrammetric clouds for the survey of roofs and upper levels of buildings; also, *sparse clouds* from mobile *scans*, in areas with more rarefied construction density, are all integrated through the selection of certified control points between the different products.

The opportunity for structuring and integrating spatial data, from laser scanners and SfM photogrammetric procedures, develops post-production and reading processes of virtual data aimed at localizing and quantifying static and collapse criticalities, widespread and punctual, induced by transformations of weakening and fragmentation of the structural continuity of the urban apparatuses. The metric reliability allowed by the *range* acquisition is adopted in a direct way, interacting with the global point cloud in the query of geometric parameters and out-of-plane areas, and as a *golden standard* of control and integration of a catalogue of *SfM Structural Units*. These units are referenced into architectural-urban mixed realities, as in Acre, acquired in terms of formal detail implemented to the stone dimension and in function of small spaces and consequent limited instrumental action [10].

In this way, the databases produced by metric and photographic surveys represent an archive of documentation that requires ordering operations and interpretative processes for the connection of themed information, and their census and cataloguing reading into specific information sectors. The structuring of an interactive archival system requires the ability to insert and provide information for the operational intervention on the planning of the city, as Jerusalem, covering in a broader way sectors from building survey to commercial and service census. The database of the urban form is thus defined through the definition of homogeneous descriptors, keywords and research queries, anchored to input fields and value scales, according to architectural, technological and

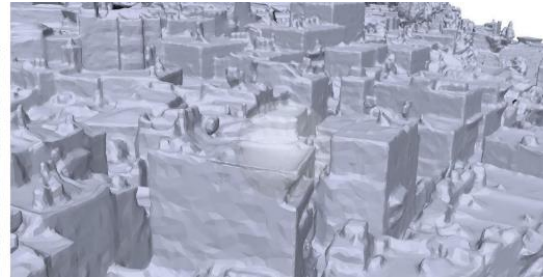


Fig. 12 - *Reverse Modelling* of the historical center of Bethlehem starting from the cloud of photogrammetric points obtained by drone. The operation of *mesh* generating was made for the entire territory, and subsequently integrated with the photogrammetric models obtained from ground photogrammetry, in order to implement the geometric quality of the polygonal mesh.

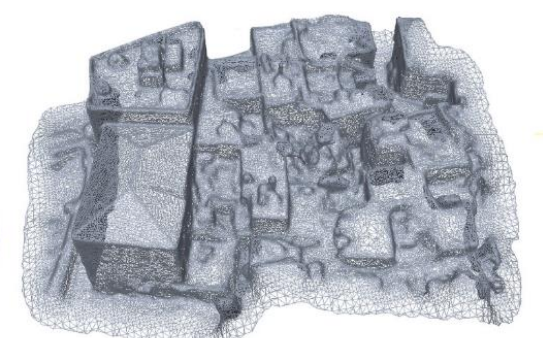
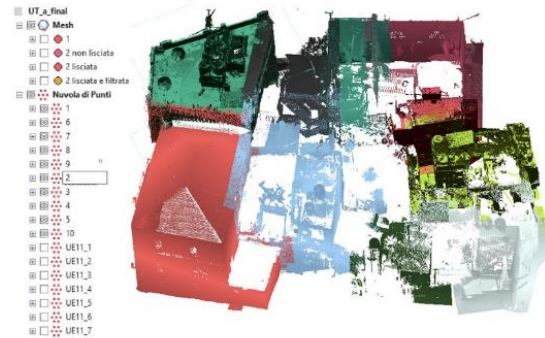


Fig. 13 - *Reverse Modelling* of a portion of the historic center of Bethlehem, defined as Textile Unit "A" (UT_a). On the left, the modelling of the point cloud obtained by surveying with laser scanner instruments, on the right the mesh obtained from the same area generated by the cloud of photogrammetric points from drone.

cultural sectors of elements, monuments and services [11]. The heterogeneity of urban objects, visible both as architectural buildings and as technological and commercial containers, structures a synthetic and immediate knowledge survey by the different users and fruitors involved, providing support for an operational intervention on city planning.

FROM THE DATABASE TO THE 3D MODEL OF THE HISTORICAL CITY

In order to promote the digital databases obtained by the integration of *range-based* and *image-based* instrumentation, for each of the urban contexts and architectural complexes analyzed and illustrated in this contribution, the realization of a three-dimensional model was predisposed, structured according to its ability to respond to a multiplicity of management and communication purposes.

On the one hand, these contexts highlighted the need to create an interactive digital tool aimed at monitoring and diagnostics for more or less precise interventions on buildings (as for Al-Jazzar mosque complex); other times, the model becomes the tool for new configurations of the city, a "simulator" of virtual scenarios. In this way, it is able to highlight the "possibility" of carrying out design interventions on the existing and of analyzing the image of urban space without interacting directly with the physical reality (Jerusalem).

On a larger scale, the database of an historic center, implemented with information content related to the characteristics of the built and public space, expressed through census cards, thematic maps and infographic data, can generate an "intelligent" 3D model of the city. This is intended as an interactive system that can provide the basis for becoming a useful tool for managing the historic center to integrate

GIS systems currently used by local administrations (Bethlehem).

The nature of these models, their decomposition into elements and the optimization of surfaces, mainly respond to the need to code the complexities of urban structure through simplified forms, from the architectural detail to the urban aggregate. The structuring is realized through a process of semantic organization of the 3D model that, through the drawing, defines the critical interpretation of the virtual scene, allowing to generate an organizational structure useful both for the storage of data and for its virtual visualization through Web systems [12].

From the different databases produced by point clouds, obtained from integrated surveying campaigns on the illustrated territorial contexts, two modelling methods were performed. The first involved *reverse modelling* procedures, as the conversion of numerical models produced by point clouds into mesh surfaces, generating polygonal links that,

subjected to merging, decimation, optimization and smoothing operations, allowed to obtain three-dimensional models of historical centers, made up of very high dense data. This type of modelling concerned mainly large territorial contexts, in which, thanks to the integrated use of photogrammetric instruments from the ground and aerial (drones) combined with mobile laser scanner, it was possible to obtain extremely dense and complex databases. The research project developed for Bethlehem, for which a three-dimensional model of the entire historical center is planned, is currently involving the experimentation of a *reverse modelling* strategy deeply based on the integration of range-based (laser scanner) and image-based procedures (drones), in order to obtain a reliable qualitative model of the entire territory. This model, opportunely optimized and semantised, will have the objective of providing the basis to structure a three-dimensional GIS system. The mesh model has in fact to be optimized for a more fluid management, according to the levels of detail that the operator wants to access, from the typological characters to the urban aggregate system, in order to increase the definition of the polygonal mesh towards the scale of detail of the single building façade, providing multiple information ranging from the building aggregate to the building unit.

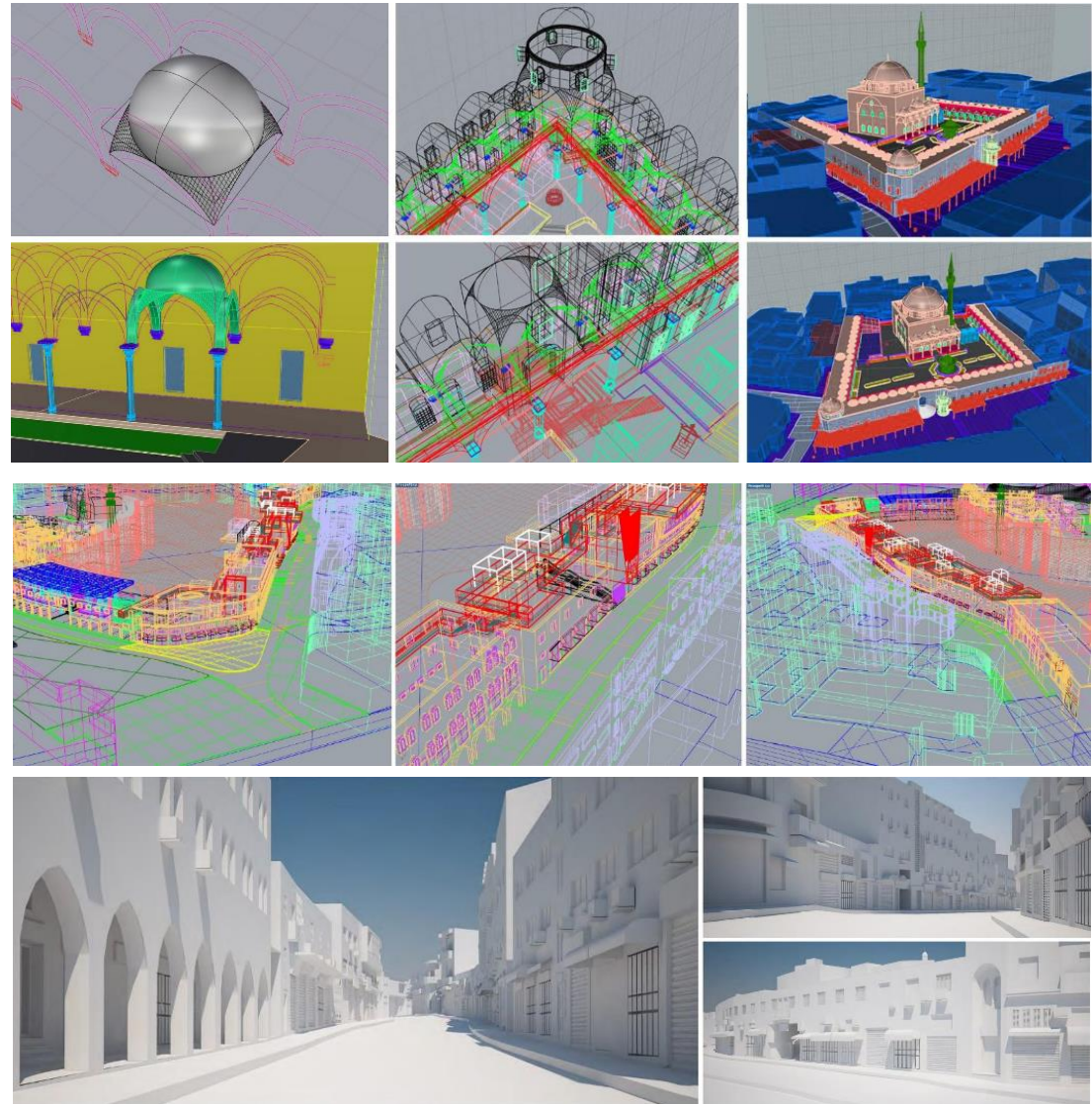


Fig. 14 - NURBS modelling of Al-Jazzar district in Acre. The process was performed by modelling the constructive and decorative elements, divided by levels and environments.

Fig. 15 - Image of NURBS model of Sultan Suleiman and Salah Eddin Streets in Jerusalem. Views of the actual situation and wireframe view of project design.

At the same time, the modelling concerned the construction of NURBS surfaces, able to describe the object by parametric equations, extremely simplifying the architectural surfaces through interpretative, but still reliable, geometric shapes of the digital database. This choice was constrained by the communication purposes required to the models of the portion of

Jerusalem and San Giovanni di Acre. The two models, which represent a smaller portion compared to the historical center of Bethlehem, were therefore more rapid in the realization through NURBS surfaces. However, they had to respond to purposes more related to descriptive and design aspects, rather than management and information, schematizing the dif-

ferent complexities in geometric forms that are more easily manageable and usable by the user, entrusting the texture obtained from SfM procedures with the similar component to reality [13].

INTERACTIVE AND REMOTE FRUITION SYSTEMS OF THE HISTORIC CITY

The virtual visit of a digitized historical center is a multimedia experience, which takes advantage of the most current technologies that, linked to the world of visual communication, allow not only a different approach to the knowledge of the place, but are also able to interact with different levels of immersive/cognitive deepening. The three-dimensional models to which the possibilities offered by virtual navigation are associated, characterized by the pre-eminent use of a visual interface and an interactive multimedia structure, become real emotional containers of space, capable of creating a new mode of interaction with the urban fabric. 3D models capable of simplifying, through universally recognizable forms, the complexity of the historical centers of Middle East, also offer a fluidity of narration that allows to increase the value of the same "database" system, obtained by the integration of the different outputs generated during the survey phase. Similarly, the acquired information also express their own value within the archiving systems, since they are associated with the task of completing the digitized model of all those "not immediately visible" aspects present on the site, triggering a virtuous circle where the real object and its digitized representation become the reciprocal instrument of valorisation. The three-dimensional model of East Jerusalem district, as well as the portion of the city that surrounds the monumental complex of the mosque in Acre, inserted within the respective virtual environments, have allowed not only the remote use of digitized architectural heritage. They have also exploited the possibility of the virtual space to configure unreal scenarios, to improve urban rehabilitation, and to simulate critical

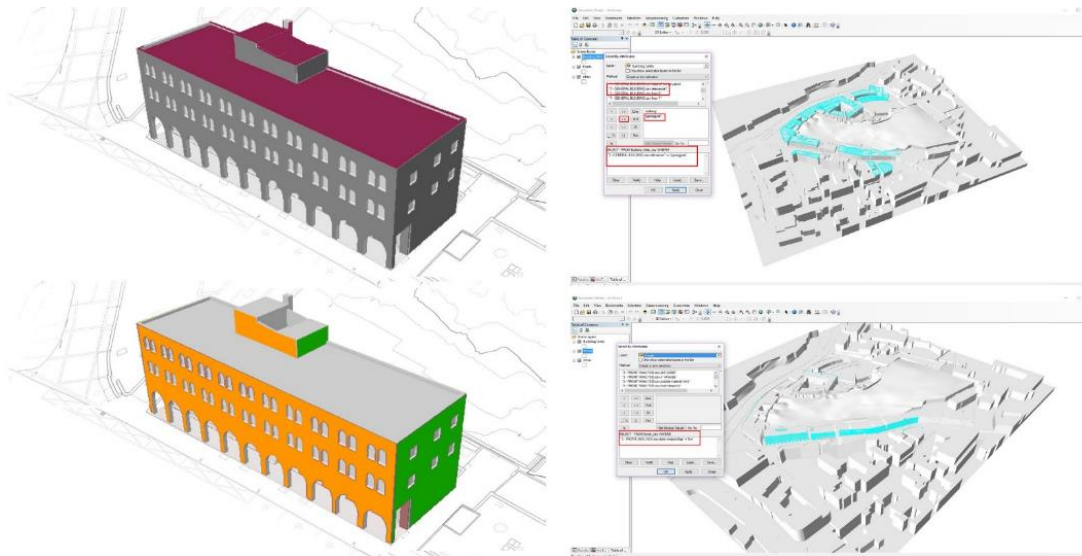


Fig. 17 - Model decomposition for selectable elements (covers and fronts). The three-dimensional database, inserted in the GIS environment, has been associated to information cards and infographics data.

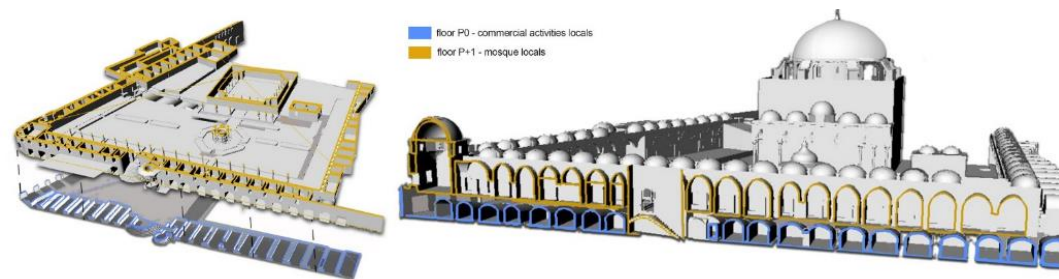
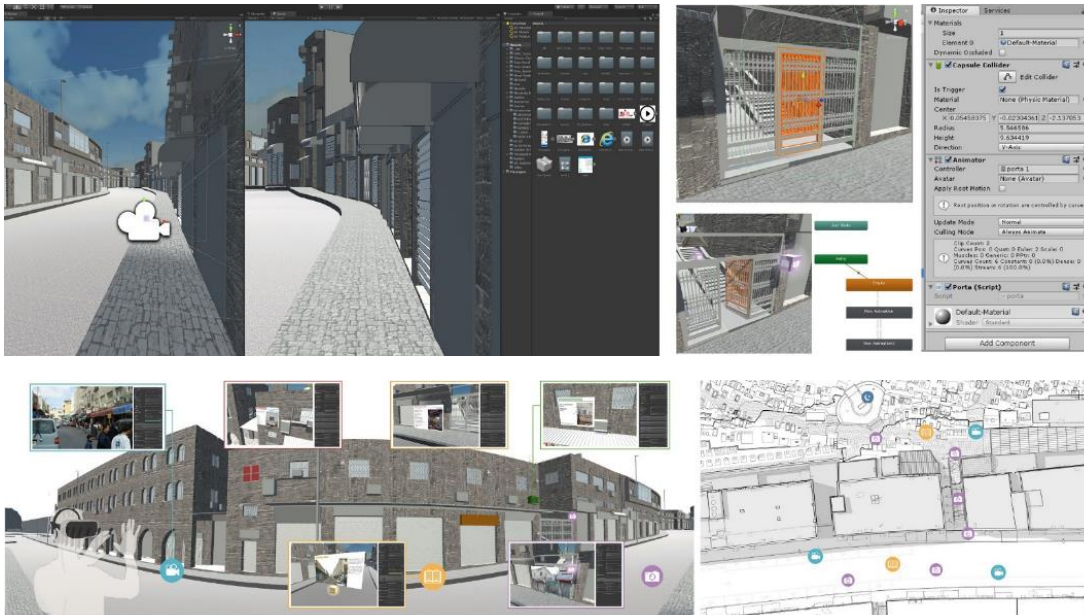


Fig. 18 - Some images of the virtual tour designed within the White Mosque urban district of Acre.



Fig. 18 - Some images of the virtual tour designed within the White Mosque urban district of Acre.

Fig. 19 - Experiences of virtual reality within the city of Jerusalem. The three-dimensional model was made interactive and usable on Unity in Real Time, offering the visitor, through the use of Oculus Rift, the ability to move freely within the streets and the monumental cemetery interacting with the surfaces of the urban fronts and entering in contact with the various information contents.



actions, as in the case of Acre mosque, in which possible future structural failures, resulting from the monitoring emerged from survey activities, could compromise the maintenance of that particular asset over time.

The possibility to generate products that configure a 3D digital model, both applied and still being tested in the case studies illustrated, allows a different approach to representation, revaluing its limits, purpose and expressive potential. Video games, 3D modelling, website creation, augmented reality applications, are virtual representative systems that are allowing, for many contexts that face urban development processes that are not always quick and immediate, to undertake a critic but at the same time more aware path of the environment, increasing the interaction between user and digitized information.

The setting of the virtual 3D scene is consolidated today towards increasingly automated processes of calibration of lighting parameters and texturization, set previously by standard libraries or intuitively associable through *orthomosaics* generated by the photographic data acquired on site.

The introduction of augmented scenarios, on the other hand, enriched with the potential for immersive use offered by visors such as Oculus Rift, presents new considerations of use of the "virtual city" on the attention to methods of virtual locomotion, graphic, acoustic and informative solicitations granted by declination of programming languages (such as C # Script, Javascript, Boo) to procedures of Application Programming Interface (API) for the simulation of "practical" actions within simulated urban scenarios.

The principles of hierarchical and critical organization of the urban, architectural and technological layers that compose the stratified historical city, are maintained in the conversion of *GameObjects*, *Hierarchies* and *Scene Views*. Architecture and everything that does not produce a "direct" movement within the model thus finds an animation in the association of "behavioural" *Components* and *Colliders* to the building and urban components, explicitly proposing specific relationships that qualify their form or content. The perceptual immersion in the use of the model is enriched by informative experiences that take the form of a collision between the virtual user (in the modality of *RigidBody* or *CapsuleCollider* depending on the degrees of freedom of movement) and interactive Triggers from which it is rebuilt, even though simulations that sometimes are disconnected from the scene and from the 3D setting, the sensorial dynamism of the "real" city. In addition, these connections enrich the immersive experience through the interaction with all the information that, although specific and bound to certain purposes, are possible to be found precisely allocated on the elements they describe. Thus, this is to make the interaction more compelling by transforming the model management, the videogame, the model for tourist development and the model for the control of conservation interventions, in the same instrument, calibrated according to different interactions that can be activated with different access keys that enable or release certain information with respect to others. The modelling of the historical city becomes the container of the specific information that describes and animates the historical city itself, a mirror of the real dimension, in which everything is simplified and hierarchized and, just like in Spielberg's most futuristic cinematographic settings, where it is possible to discover news and "secrets" on the history and life of the city and of real civilization.

CONCLUSIONS

The present research has set as primary challenge the development of a procedural process for the creation of databases, 3D models and information platforms on urban centers in Holy Land, both historical and contemporary, that are metrically reliable and effective from a descriptive point of view. These models define base elaborates from which to develop multimedia platforms able to provide a key to complex relationships that contribute to the definition of the perceived space.

The complexities of this protocol, currently being defined, are still closely linked to the difficulties of managing big data produced during the survey campaign, as well as the difficulty in finding automatic modelling procedures starting from point clouds that meet the requirements of geometric correspondence to the analyzed historical context.

What has been learned from these years persuades to believe that signs and images can qualify structures that, in different virtual forms, will be able to respond to both managerial and emotional needs, producing scenarios and global languages localized in places outside any map, geographical constraints or separation walls

Products and documentation activities presented in this paper are part of research projects developed by Dada Lab. of University of Pavia and joint laboratory LS3D Landscape Survey & Design of University of Pavia and Florence. In particular:

"PURE - Productivity and Urban Renewal in East Jerusalem" Urban and architectural survey for the area and buildings in Sultan Suleiman and Salah Eddin streets in Jerusalem (Israel)" (2016). Collaboration with UNDP - United Nations Development Program. Scientific Board: prof. S. Bertocci, prof. S. Parrinello. Scientific Coordinators: Ph.D. F. Picchio (survey), Ph.D.

G. Minutoli (Structural analysis), prof. Mi. Pivetta (Design). Collaborators: Ph.D. Stud. R. De Marco, Ph.D. Stud. P. Becherini, Ph.D. Stud. M. Bercigli, Ph.D. Stud. M. Bigongiari, stud. F. Galasso, stud. E. Morvillo. Part of results of the project belong to the masterdegree thesis in Building Engineering and Architecture (a.a. 2017/2018) of F. Galasso "Documentation project in East Jerusalem. Database and virtual reality systems for the recovery and fruition of urban space" (tutor: prof. S. Parrinello) of University of Pavia.

"Architectural documentation and 3D laser scanner survey of Al-Jazzar Mosque in Acre" (2017). Collaboration with Welfar Association Tawoon. Scientific Board: prof. S. Parrinello. Scientific Coordinator: Ph.D. F. Picchio. Collaborators: Ph.D. Stud. R. De Marco, Ph.D. Stud. P. Becherini, Ph.D. Stud. M. Bercigli, Ph.D. Stud. M. Bigongiari, Ph.D. Stud. A. Dell'Amico, Ph.D. Stud. K. Mezenina, arch. N. Fitiani, ing. R. A. Touri, stud. M. Canestrone. Part of results of the project belong to the masterdegree thesis in Building Engineering and Architecture (a.a. 2016/2017) of M. Canestrone "The documentation of Al-Jazzar Mosque in Acre, Israel. Integrated survey methodologies for non-invasive diagnostic investigations" (tutor: prof. S. Parrinello) of University of Pavia.

"Management and control of urban growth for the development of heritage and improvement of life in the city of Bethlehem" (2018). Financed by AICS Italian Agency for Cooperation and Development. Scientific coordination: prof. S. Parrinello. Collaborators: Ph.D. F. Picchio, Ph.D. Stud. R. De Marco, Ph.D. Stud. P. Becherini, Ing. E. Doria, stud. P. Barazzoni. Project coordination: Municipality of Pavia. Project Partners: Municipality of Pavia, University of Pavia, Municipality of Bethlehem, University of Bethlehem, Province of Pavia, Order of Engineers of Province of Pavia, SISTERR Territorial System of Pavia for International Cooperation A.P.S., ANCI Lombardia, VIS - International Voluntary Service for Development NGO and Palestinian Engineers Association - Jerusalem Center.

NOTES

The editorial responsibility of the paragraphs is recognized to: Sandro Parrinello for "Introduction" and "Historic centers in Middle East: morphological identity and complexity"; Raffaella De Marco for "Comparative processes of city's analysis for the production of multimedia territorial databases" and "Methods of acquisition and integration of digital data for urban architectural representation"; Francesca Picchio for "From the database to the 3d model of the historical city", "Interactive and remote fruition systems of the historic city" and "Conclusions".

[1] For an in-depth analysis of the methodologies and research directions that have developed these considerations and defined the characteristics of the experiments presented here, see Bertocci, S., Parrinello, S., Bua, S. & Picchio, F. (2014).

[2] (Trad.) *The determination of modalities of interaction with public space, travel time and rest periods and the functions that condition these behaviours that take place in the urban area, are useful in the search for a new criterion for assessing the contents of the city itself and of space interiors in the urban fabric.* Cit. Bertocci, S., Parrinello, S., Bua, S. & Picchio, F. (2014).

[3] The Joint University-Enterprise laboratory Landscape, Survey & Design of University of Pavia and University of Florence together with the Experimental Laboratory DAda Lab. of University of Pavia.

[4] For a deepen study of the relationship between East and West in terms of survey influences in artistic and architectural representation, see Parrinello, S., Picchio, F. & De Marco, R. (2016).

[5] Within the program "Productivity and Urban Renewal Program in East Jerusalem" (PURE), promoted by United Nations, multiple actions have been developed for the

knowledge, documentation, analysis and production of digital databases, aimed at defining the foundations for a redevelopment and enhancement of the area of Sultan Suleiman and Salah Eddin Streets, in order to evaluate the elevation project of existing buildings with an added level intended for commercial and administrative use.

[6] For a more specific treatise on the type of investigations conducted, the results obtained, and the project proposals developed, see Bertocci, S., Parrinello, S. & Pivetta, M. (2018)

[7] "PURE - Productivity and Urban Renewal in East Jerusalem" Urban and architectural survey for the area and buildings in Sultan Suleiman and Salah Eddin streets in Jerusalem (Israel)" (2016). Scientific Board: Prof. S. Bertocci, Prof. S. Parrinello; "Architectural documentation and 3D laser scanner survey of Al-Jazzar Mosque in Acre" (2017). Scientific Board: Prof. S. Bertocci, Prof. S. Parrinello; "Management and control of urban growth for the development of heritage and improvement of life in the city of Bethlehem" (2018-2021), Scientific Board: Prof. S. Parrinello.

[8] The informative virtualization of the city is increasingly linked to deductive processes developed by the combined

comparison of heterogeneous information from multiple acquisition channels, whose integration is fundamental for the extension of a truly definable global documentation. For further discussion, refer to the research work of prof. C. Ratti, in particular see Ratti, C. & Claudel, M. (2016). *The City of Tomorrow: Sensors, Networks, Hackers, and the Future of Urban Life.* New Haven: Yale University Press.

[9] For a more extensive discussion on the objectives of integration of Lidar sensor databases and aerial photogrammetry aimed at analysing the urban agglomerations of the historic center of Bethlehem, see Parrinello, S., Picchio, F. & De Marco, R. (2018).

[10] For an in-depth analysis of urban and architectural surveying methods for the static analysis of monumental environments and sections within the historic city, see Picchio, F. (2017); Picchio, F., Bigongiari, M. & Canestrone, M. (2018); Canestrone, M., De Marco, R. & Dell'Amico, A. (2018).

[11] For a more detailed description of the levels and sectors of decomposition, descriptors and scales on urban quality, concerning the query of semantic models developed on the districts of East Jerusalem, see Parrinello, S., Bercigli, M. & De Marco, R. (2017).

[12] To better understand how the models were built, subdivided by elements and made more easily usable and managed on Web, see Parrinello, S., Picchio, F. & Bercigli, M. (2016).

[13] For further information about modelling methods addressed in the different architectural case studies in Middle East, see Picchio, F., Bercigli, M. & De Marco, R. (2018).

Esperienze di modellazione urbana per la rappresentazione della città in Terra Santa

INTRODUZIONE

L'analisi per la comprensione dei diversi contesti urbani, contestualmente alle trasformazioni del tessuto sociologico, culturale ed economico, è sempre più vincolata da strategie di comunicazione e fruizione virtuale degli spazi, nonché allo sviluppo tecnologico utilizzato a fini di documentazione e rappresentazione dei dati.

Le informazioni contenute in un centro storico, la cui immagine risulta essere il risultato dei molteplici eventi che si sono susseguiti nel corso degli anni, costituiscono un insieme eterogeneo e complesso di dati che possono essere organizzati e ripresentati in forma "semplificata", attraverso un disegno della città nel quale gli episodi, anche accidentali, trovano un loro ordine.

Nonostante il mutare dei linguaggi adottati da una comunità attraverso lo sviluppo di modelli che si ambientano in paesaggi digitali, rimane immutato il desi-

derio di diffondere le informazioni che contribuiscono a definire l'immagine di un contesto culturale sia a scopo documentale che per promuovere il patrimonio, per consentire la trasmissione di quei valori identitari e culturali a sé stessi, al prossimo e anche alle generazioni future.

Il tentativo di rendere le diverse informazioni accessibili, attraverso l'uso di sistemi multimediali capaci di integrare nuove strategie di comunicazione, impone la definizione di programmi operativi per lo sviluppo di *database* digitali "intelligenti" che possano fornire le basi per strumenti di gestione più consapevoli e attivare processi di valorizzazione del patrimonio storico [1].

Stiamo assistendo ad una progressiva trasformazione delle banche dati che da "contenitori" di eventi diventano spazi interattivi in cui possono configurarsi molteplici scenari espressivi, in cui è possibile sviluppare nuove forme di fruizione dello spazio pubblico, sociale e globale.

Lo spazio "fisico" acquista flessibilità, l'utente non è solo uno spettatore ma anche un costruttore della nuova configurazione della città, partecipando alla creazione di sistemi di relazioni in grado di generare un'implementazione dei contenuti. La condivisione di spazi digitali e lo sviluppo di chiavi di lettura utili al trasferimento delle diverse informazioni che la città digitale può offrire, cambia sostanzialmente il modo di fare esperienza del patrimonio [2].

Negli ultimi anni, la necessità di sviluppare opportune attività di documentazione, in grado di generare *database* per la protezione del patrimonio architettonico e la diffusione di valori culturali, ha sensibilizzato le amministrazioni, gli enti per lo sviluppo e le municipalità verso un maggiore interesse nell'utilizzo di tecnologie innovative per la documentazione e l'analisi urbana, finalizzate ad una gestione più consapevole del territorio. Nelle aree urbane l'utilizzo di strumenti legati al "*fast survey*", in grado di acquisire una moltitudine di dati metricamente affidabili in poco tempo,

ha notevolmente contribuito a stimolare l'uso di metodologie di acquisizione integrate anche su ampie porzioni di centri storici, tali da produrre un quadro cognitivo aggiornato sia del singolo prodotto sia del contesto circostante. Tempi e modalità di acquisizione e post-produzione dei dati si sono trasformati, nel tentativo di chiarire le relazioni materiali e immateriali tra individuo e contesto in modelli descrittivi, realizzando *output* destinati a molteplici finalità, dall'aggiornamento della cartografia alla produzione di sistemi digitalizzati nel territorio, dallo studio per la prevenzione e conservazione alla diffusione e fruizione virtuale del patrimonio architettonico e culturale. A partire dal 2015, i laboratori DAda Lab. e LS3D [3] sono stati coinvolti in alcuni progetti di documentazione dei centri storici della Terra Santa, sperimentando tecnologie di rilievo integrato per la produzione di banche dati interattive e procedure metodologiche che possano essere utilizzate in altri contesti di aree urbane, al fine di ottimizzare e rendere più intelligenti non solo gli output, ma l'intero processo di rappresentazione, dalla campagna di rilievo fino alla fruizione virtuale del patrimonio.

CENTRI STORICI IN MEDIO ORIENTE: IDENTITÀ E COMPLESSITÀ MORFOLOGICA

Lo sviluppo culturale nei territori del Medio Oriente si è conformato a partire dall'impatto tra Occidente e Oriente, permettendo ad entrambe le componenti di imprimere profonde influenze nell'immagine della città e delle sue architetture, in termini di forma, colore, segno e *texture* urbane e paesaggistiche [4]. Oggi le città di queste regioni sono testimoni di un'intensa attività edilizia e un'aspra situazione politica presente su vari livelli della vita comunitaria, che incrementano una generale instabilità urbana. In questo panorama, l'incontrollato processo di saturazione della città diventa pericoloso, generando edifici di scarsa qualità formale e costruttiva, superfetazioni ed interventi fortemente invasivi, che aggrediscono le strutture storiche compromettendone la stabilità strutturale. L'assenza di strumenti di controllo e di linee guida per la gestione, il monitoraggio e la salvaguardia del patrimonio sottolinea quanto precaria sia la condizione di tali contesti anche in relazione

alle possibilità di intervento da parte delle amministrazioni locali.

A Gerusalemme, nella zona est al di fuori delle mura, dalla porta di Damasco alla Porta di Erode, si trova una delle principali zone commerciali della città araba. Lungo le strade che circondano il cimitero di Bab a-Zahar si trovano attività commerciali, scuole, alberghi, moschee e la principale stazione degli autobus il cui traffico alimenta il brulicare di coloro che entrano nella città vecchia per raggiungere la spianata. L'intera area, costituita da edifici risalenti alla seconda metà del XX secolo, è interessata da fenomeni di degrado, superfetazioni, edilizia abusiva, installazioni a vista e numerosi interventi che hanno nel tempo alterato il decoro delle facciate degli edifici. Gli edifici sono dunque spesso caratterizzati da installazioni che ne deturpano l'aspetto e presentano problemi di natura strutturale che ne compromettono la stabilità.

In questa zona il programma PURE [5] prevedeva una generale riqualificazione del tessuto attraverso la sopraelevazione di un piano degli edifici presenti. Le indagini condotte per verificare la possibilità di tale intervento, mediante la creazione di banche dati digitali e lo sviluppo di sistemi di gestione della città storica, hanno però convinto la comunità ad una diversa strategia di valorizzazione fondata sul recupero dei caratteri identitari del tessuto storico [6].

A Betlemme la coesistenza di architetture crociate, ottomane e di nuovi interventi qualifica l'immagine di un centro storico dove le diverse tipologie edilizie, scandite dai blocchi grezzi di pietra locale, sono state modificate e adattate indiscriminatamente alle differenti funzioni degli edifici.

L'attuale configurazione urbana è il risultato del susseguirsi di diverse popolazioni, culture, religioni e politiche urbane nel tempo. A partire dal primo insediamento, inalterato fino al XIX secolo, la città si è sviluppata organicamente per quartieri, seguendo l'orografia del terreno, concentricamente al complesso della Natività, fino allo sviluppo incontrollato degli ultimi venti anni che ha visto la totale saturazione dei campi in tessuto urbano. Le recenti politiche edilizie hanno generato nuove costruzioni e interventi sull'esistente di scarso valore, spesso senza adeguate verifiche e controlli strutturali, tecnologici e ambientali da parte delle amministrazioni, evidenziando di-

screpanze formali rispetto alle tipologie ed ai materiali degli edifici tradizionali.

Altre volte, le politiche incontrollate di trasformazione architettonica per incrementare le attività commerciali, situate ai piani terra di edifici storici esistenti, sono fautori di danni strutturali considerevoli, compromettendo seriamente la stabilità e la persistenza di porzioni o di interi complessi architettonici nel tempo. La moschea bianca di Al-Jazzar, costruita nel 1781 sopra una basilica bizantina e utilizzata per vari scopi nel corso degli anni dagli abitanti di Aciri, presenta al giorno d'oggi considerevoli deformazioni e danni strutturali nella porzione perimetrale del complesso, che comprende anche una parte del suk della città. Nelle stanze a volta al livello inferiore, che ospitano le attività commerciali accessibili dalla strada pubblica, si trovano numerose fessurazioni in corrispondenza del disallineamento delle sezioni murarie tra i due livelli, superiore ed inferiore, a causa delle trasformazioni che il complesso ha subito nel corso degli anni, tali da necessitare di urgenti azioni di recupero.

Il crescente interesse verso queste realtà territoriali, che assumono un valore simbolico per l'importanza storica e culturale che rivestono, ha portato a promuovere alcuni programmi di rinnovamento del patrimonio storico, aggiornare il database esistente e sviluppare, attraverso un sistema digitale 3D, pratiche per la conservazione e il ripristino del patrimonio architettonico, tali da aver ricadute sul miglioramento della qualità della vita. Le attività di documentazione presentate hanno permesso di applicare tecnologie di indagine producendo un nuovo *database* e sviluppando sistemi per una gestione e una fruizione più consapevole del patrimonio architettonico e dello spazio urbano [7].

PROCESSI COMPARATIVI DI ANALISI DELLA CITTÀ PER LA PRODUZIONE DI BANCHE DATI MULTIMEDIALI DEL TERRITORIO

La crescita della domanda di documentazione dei centri storici in Terra Santa è intesa dalle stesse municipalità ad includere un ampio catalogo di segni e stratificazioni di comparazione unitaria per l'analisi dell'evoluzione architettonica e dell'identità urbana contemporanea. Dall'impianto mamelucco e ottoma-

no ai più attuali interventi “europeizzati”, sono evidenti esigenze di conoscenza orientate sull’implementazione di due fondamentali obiettivi di processo: la globalità della documentazione ed il dettaglio edilizio. La prima è indirizzata a garantire una copertura totale della complessità materica e spaziale urbana, non solo limitata alle configurazioni standard di rappresentazione, nei prodotti di planimetrie e fronti stradali, ma estesa oltre i “coni” marginali degli ambienti semi-pubblici e di risulta urbani, in tutta la loro reale complessità tridimensionale di conservazione e gestione. Parallelamente, il dettaglio edilizio è portato oltre la configurazione geometrica catastale verso un’implementazione rappresentativa sia per livello tematico, non solo architettonico ma costruttivo, tecnologico e socio-culturale, che per scala di dettaglio, approfondita fino alla variazione morfologica muraria. Il fine è quello di rintracciare e codificare informazioni su evoluzioni e comportamenti costruttivi di complessi architettonici ed aggregati urbani nei segni formali e strutturali delle murature in pietra.

In questo quadro di esigenze, l’uso di strumentazione e metodologie digitali per la documentazione architettonica, oggi usualmente applicate nel campo del rilievo come ridondante politica di base, è offerto invece come ragionata strategia di analisi ed opportunità di rappresentazione dei centri storici della Terra Santa. Tale scelta è assunta in funzione della possibilità di controllo critico delle variabili di acquisizione, risoluzione e comunicazione dei dati spaziali ed urbani, calibrati alla ricerca di valori ottimali mirati sulle specifiche morfologiche e fruibili del contesto di studio.

Parametri multimediali divengono così ambito di sperimentazione per lo sviluppo di elaborati digitali estesi alla dimensione della città come supporto di una nuova generazione di piani di gestione e sviluppo del territorio [8], producendo banche dati calibrate “ad hoc” per densità di acquisizione, adattabilità di applicazione ed integrazione strumentale, implementazione temporale e comunicazione aumentata.

La strategia di rilevamento si struttura ed ottimizza su un processo unitario sviluppato complessivamente per le “*Holy Land cities*” ma declinato secondo le specifiche caratteristiche di ogni contesto urbano di studio. L’analisi urbana si specializza così dalla complessità strutturale ed evolutiva di unità e aggregati dei

quartieri *ahwash* del centro di Betlemme all’integrazione costruttiva città-monumento di San Giovanni d’Acridi, fino al più evidente rapporto di modernizzazione della città storica nei contemporanei quartieri di Gerusalemme.

La digitalizzazione rimane quale base programmatica comune di impostazione della ricerca, specializzandosi attraverso strumenti e procedure che, dalla discretizzazione di capisaldi morfologici, trovano sviluppo trasversalmente alle capacità di manovra di camere *range*, RGB e termiche, di applicazione terrestre ed aerea, contenibili nei labirintici *ground pathway* della città araba ma anche espandibili alla complessiva scala di controllo urbana. *Scan stations* e mappature ad ampio raggio ne strutturano il processo operativo, con missioni di acquisizione in situ adattabili e gestibili tra la definizione del complessivo sistema urbano e l’implementazione delle singolarità edilizie all’interno delle specifiche componenti tessuarie.

METODOLOGIE DI ACQUISIZIONE ED INTEGRAZIONE DI DATI DIGITALI PER LA RAPPRESENTAZIONE ARCHITETTONICA URBANA

Le sperimentazioni di documentazione sono state sviluppate sui casi studio della Terra Santa a cavallo tra tipologie costruttive, strutturali e monumentali spesso ibridizzate nel contesto urbano. Le esperienze hanno configurato processi certificati di acquisizione e post-produzione, conducendo dalla scomposizione architettonica del “reale” alla ricomposizione del patrimonio costruito in forme “virtuali”, graficamente rigenerate e per questo rese cognitivamente e criticamente comunicative di rinnovate considerazioni sulla realtà costruita.

I progetti di documentazione architettonica condotti sui siti di Gerusalemme, Betlemme e San Giovanni d’Acridi, tra Israele e Palestina, evidenziano le potenzialità di acquisizione ed integrazione di forme e dati, di prevalente base metrica e fotogrammetrica, su diversificati programmi di intervento. La ricerca di prodotti e linguaggi di rappresentazione utili a definire soluzioni per le specifiche esigenze di progetto, mira a sintetizzare scenari ed elementi urbani della Terra Santa in un’azione di gestione, valorizzazione e trasposizione unificata del patrimonio culturale alla propria collettività.

Le azioni di rilevamento condotte hanno generato apparati di analisi strutturati per diversificati sistemi morfologici, livelli di analisi, censimento e scale di indagine, la relazione dei quali è concorsa a processi unificati di codifica dei dati (*Range*, RGB e *query*). In termini di versatilità ed automazione, la valutazione metodologica è svolta sia nell’ambito della calibrazione del dettaglio formale ed informativo, che in quello di acquisizione nell’estensione di registrazione dei dati dall’unità architettonica alla scala urbana, comparati e certificati in termini di affidabilità metrica, referenziazione e catalogazione.

La sperimentazione di strategie integrate per la digitalizzazione della “città costruita” nella “città virtuale”, dal forte impatto storico-identitario in un contesto quale quello del vicino Medio Oriente, è realizzata attraverso progetti di acquisizione programmatica testati su aree circoscritte e successivamente espansi. Ne consegue l’applicazione di strumenti metodologicamente diversi ma dai prodotti complementari, attraverso gamme di azione ed affidabilità adattate alle specifiche tipologie urbane.

La conformazione altamente densa e labirintica tipica della città araba condiziona una strategia combinata di documentazione strutturata per livelli di copertura, percorsi urbani ed obiettivi di analisi, e composta da più set di azioni: un processo di acquisizione “statica” del dettaglio costruttivo, condotto dal livello del suolo ed incentrato su ambienti e fronti urbani; un’acquisizione “mobile” estesa per le direttrici stradali e le competenze territoriali; ed un’azione “aerea” di controllo e coordinamento generale finalizzata alla ricostruzione ed integrazione dei livelli superiori di copertura e degli aggregati architettonici alla scala paesaggistica. L’indagine integrata condotta nel centro storico di Betlemme, trova applicazione con l’uso congiunto di strumentazione Lidar e fotografica, proceduralmente distinte in tipologia terrestre con applicazione statica (Laser Scanner terrestre, Camera Reflex per fotogrammetria *close-range*) e acquisizione dinamica (Mobile Stencil, Ricoh Camera), e di tipo aereo (droni per fotogrammetria SfM ed indagine fotografica), garantendo una copertura totale del centro urbano condotta a più livelli di osservazione e stratificazione del sistema costruito [9]. L’acquisizione tramite laser scanner struttura lo sviluppo di un database di punti altamente denso focalizzato sui

fronti urbani, con l'uso di nuvole fotogrammetriche per la ripresa di coperture e fasce superiori di edificio, ed il completamento di nuvole rade da scansioni *mobile* per le aree a più rarefatta densità costruttiva, il tutto integrato attraverso la selezione di certificati punti di controllo tra i diversi prodotti.

L'opportunità di strutturazione ed integrazione di dati spaziali da laser scanner e fotogrammetrici SfM sviluppa processi di post-produzione e lettura del dato virtuale finalizzati alla localizzazione e quantificazione di criticità statiche e di cedimento, diffuse e puntuali, indotte da trasformazioni di indebolimento e frammentazione della continuità strutturale degli apparati urbani. L'affidabilità metrica consentita dall'acquisizione *range* è adottata in modo diretto, interagendo con la nuvola di punti complessiva nell'interrogazione di parametri geometrici e aree fuori piano, e come *golden standard* di controllo ed integrazione di un catalogo di Unità Strutturali SfM referenziate all'interno di realtà miste architettonico-urbane, acquisite in termini di dettaglio formale implementato alla dimensione lapidea ed in funzione di spazi di dimensioni ridotte e conseguente limitata azione strumentale [10].

In tal modo, le banche dati prodotte delle operazioni di rilievo metrico e fotografico rappresentano un archivio di documentazione necessitante di operazioni d'ordine e processi interpretativi per il collegamento di informazioni tematizzate, e la loro lettura interpretativa censuaria e di catalogazione in settori informativi specifici. La strutturazione di un sistema archivistico interattivo richiede la capacità di inserire e fornire informazioni per l'intervento operativo sulla pianificazione della città di Gerusalemme, coprendo nel modo più ampio i settori dall'indagine edilizia al censimento commerciale e di servizi. La banca dati della forma urbana è così declinata attraverso la definizione di descrittori omogenei, *keywords* e *query* di ricerca, ancorati a campi di inserimento e scale valori, secondo settori architettonici, tecnologici e culturali di elementi, monumenti e servizi [11]. L'eterogeneità degli oggetti urbani, visibili sia come fabbricati architettonici che come contenitori tecnologici e commerciali struttura un'indagine conoscitiva sintetica e di immediata comprensione da parte dei diversi utenti e fruitori coinvolti, fornendo supporto per l'intervento operativo sulla pianificazione della città.

DAL DATABASE AL MODELLO 3D DELLA CITTÀ STORICA

Al fine di promuovere la banca dati digitale ottenuta dall'integrazione di strumentazioni *range-based* e *image-based*, per ciascuno dei contesti urbani e dei complessi architettonici analizzati ed illustrati nel presente contributo è stata predisposta la realizzazione di un modello tridimensionale, strutturato in funzione della capacità di rispondere ad una molteplicità di finalità gestionali e comunicative.

Da un lato tali contesti hanno evidenziato la necessità di creare uno strumento digitale interattivo volto al monitoraggio e alla diagnostica per interventi più o meno puntuali sul bene (come per la moschea di Al-Jazzar); altre volte il modello diventa lo strumento per nuove configurazioni della città, un "simulatore" di scenari virtuali, capaci di evidenziare la "possibilità" di realizzare interventi progettuali sull'esistente e analizzare l'immagine dello spazio urbano senza interagire direttamente con la realtà fisica (Gerusalemme).

A scala più ampia, un database del centro storico, implementato dei contenuti informativi relativi alle caratteristiche del costruito e dello spazio pubblico, espressi attraverso schede censuarie, mappe tematiche e dati infografici, può generare un modello 3D "intelligente" della città, ovvero un sistema interattivo che può configurarsi come base per divenire un utile strumento di gestione del centro storico ad integrazione dei sistemi G.I.S. attualmente utilizzati dalle amministrazioni locali (Betlemme).

La natura di tali modelli, la loro scomposizione in elementi e l'ottimizzazione delle superfici, rispondono principalmente alla necessità di codificare attraverso forme semplificate le complessità della struttura urbana, dal dettaglio architettonico all'aggregato urbano, con un procedimento di organizzazione semantica del modello 3D che, attraverso il disegno, definisce l'interpretazione critica della scena virtuale permettendo di generare una struttura organizzativa utile sia all'archiviazione del dato che alla sua visualizzazione virtuale per mezzo di sistemi Web [12].

Dei diversi *database* prodotti dalle nuvole di punti ottenute dalle campagne di rilievo integrato sui contesti territoriali illustrati, sono state eseguite due metodologie di modellazione. La prima ha riguardato procedure di *reverse modeling*, ovvero la conversione

del modello numerico prodotto dalla nuvola di punti in superfici *mesh*, generando maglie poligonali che, sottoposte ad operazioni di *merging*, riduzione, ottimizzazione e *smoothing*, hanno consentito di ottenere modelli tridimensionali dei centri storici costituiti da altissima densità di dato. Questa tipologia di modellazione ha riguardato principalmente contesti territoriali di grande estensione, nei quali, grazie all'utilizzo integrato di strumentazioni fotogrammetriche da terra e in quota (droni) combinate a strumentazioni *laser scanner mobile*, è stato possibile ottenere anche dati estremamente dense e complesse. Il progetto di ricerca sviluppato per Betlemme, per il quale è prevista la realizzazione di un modello tridimensionale dell'intero centro storico, sta attualmente interessando la sperimentazione di procedure *reverse modeling* integrate da procedure *range-based* (laser scanner) ed *image-based* (droni), al fine di ottenere un modello qualitativo affidabile dell'intero territorio che, opportunamente ottimizzato e semantizzato, avrà l'obiettivo di fornire la base sulla quale strutturare un sistema GIS tridimensionale. Il modello *mesh* è infatti ottimizzato per una più fluida gestione, in funzione dei livelli di approfondimento a cui l'operatore vuole accedere, dai caratteri topologici al sistema degli agglomerati urbani, al fine di incrementare la definizione della maglia poligonale man a mano che si scende verso la scala del dettaglio del singolo fronte edilizio, fornendo informazioni molteplici che vanno dal quartiere all'edificio.

Parallelamente, la modellazione ha riguardato la costruzione di superfici di tipo NURBS, capaci di descrivere l'oggetto per mezzo di equazioni parametriche, semplificando estremamente le superfici architettoniche attraverso forme geometriche interpretative, ma comunque rispondenti, della banca dati digitale. Tale scelta è stata vincolata dalle finalità comunicative a cui i modelli della porzione di Gerusalemme e di San Giovanni d'Acri dovevano rispondere. I due modelli, che rappresentano una porzione più ridotta rispetto al centro storico di Betlemme, e quindi più rapida nella realizzazione attraverso superfici NURBS, dovevano rispondere a finalità maggiormente legate ad aspetti descrittivi e progettuali, piuttosto che gestionali ed informativi, schematizzando le differenti complessità in forme geometriche più facilmente gestibili e fruibili dall'utenza, affidando alla *texture* ottenuta da proce-

ture SfM la componente di verosimiglianza al reale [13].

SISTEMI DI FRUIZIONE INTERATTIVA E REMOTA DELLA CITTÀ STORICA

La visita virtuale di un centro storico digitalizzato è un'esperienza di tipo multimediale, che si avvale delle più attuali tecnologie che, legate al mondo della comunicazione visuale, permettono non solo un diverso approccio alla conoscenza del luogo, ma anche di potervi interagire a diversi livelli di approfondimento immersivo/conoscitivo. I modelli tridimensionali ai quali vengono associate le possibilità offerte dalla navigazione virtuale, caratterizzate dall'uso preminente di un'interfaccia visuale e da una struttura multimediale interattiva, diventano veri e propri contenitori emozionali dello spazio, capaci di creare una nuova modalità di interazione con il tessuto urbano. La fluidità della narrazione offerta da quei modelli 3D capaci di semplificare, attraverso forme universalmente riconoscibili, la complessità dei centri storici del Medio Oriente, permette di incrementare il valore del sistema 'banca dati' ottenuto dall'integrazione dei differenti *output* generati in fase di rilievo. Analogamente, anche le informazioni acquisite acquistano un proprio valore all'interno dei sistemi di archiviazione, poiché ad esse è associato il compito di completare il modello digitalizzato di tutti quegli aspetti "non immediatamente visibili" presenti sul sito, innescando un circolo virtuoso dove oggetto reale e sua rappresentazione digitalizzata diventano l'uno strumento di valorizzazione dell'altro. Il modello tridimensionale del quartiere di Gerusalemme, così come la porzione di città che circonda il complesso monumentale della moschea di Acri, inseriti all'interno delle rispettive ambientazioni virtuali, hanno consentito non solo di fruire in remoto del bene architettonico digitalizzato, ma anche di sfruttare la possibilità dello spazio virtuale di configurare scenari irreali, migliorativi, per figure interventi di risanamento urbano, ma anche simulare azioni di criticità, come nel caso della moschea di Acri, nelle quali possibili futuri cedimenti strutturali, scaturiti dalle indagini emerse dalle attività di rilievo, possano compromettere il mantenimento di quel determinato patrimonio nel tempo.

La possibilità di generare prodotti per la configurazione di un modello digitale 3D, in parte applicati ed in parte ancora in fase di sperimentazione nei casi studio qui illustrati, consente un approccio diverso alla rappresentazione, rivalutandone limiti, finalità e potenzialità espressive. I videogiochi, le stampe di modelli 3D, la realizzazione di siti *web*, le applicazioni di realtà aumentata, sono sistemi rappresentativi virtuali che stanno consentendo, per molti contesti che si trovano ad affrontare processi di sviluppo urbano non sempre rapidi e immediati, di intraprendere un percorso critico ma allo stesso tempo più consapevole all'ambiente, incrementando l'interazione tra utente e informazione digitalizzata.

L'allestimento della scena 3D virtuale si consolida oggi verso processi sempre più automatizzati di calibrazione di parametri di illuminazione e texturizzazione, preimpostati da librerie standard o intuitivamente associabili attraverso *orthomosaics* generati dal dato fotografico rilevato in sito. L'introduzione degli scenari aumentati, al contrario, arricchiti delle potenzialità di fruizione immersiva offerte dai visori quali *Oculus Rift*, presenta nuove considerazioni di fruizione della "città virtuale" sull'attenzione a metodi di locomozione virtuale, sollecitazioni grafiche, acustiche ed informative concesse dalla declinazione di linguaggi di programmazione (come C# Script, Javascript, Boo) a procedure di *Application Programming Interface* (API) per la simulazione di azioni "pratiche" all'interno degli scenari urbani simulati.

I principi di gerarchizzazione ed organizzazione critica dei *layer* urbani, architettonici e tecnologici che compongono la città storica stratificata, si trova riproposta nella conversione di *GameObjects*, *Hierarchies* e *Scene Views*. L'architettura e tutto quanto non produce un movimento diretto all'interno del modello trova così animazione nell'associazione di *Components* e *Colliders* "comportamentali" alle componenti edilizie ed urbane, riproponendo in forma esplicita specifiche relazioni che ne qualificano forma o contenuto.

L'esperienza percettiva nella fruizione del modello si arricchisce di esperienze informative che si concretizzano nella collisione tra utente virtuale (*RigidBody* o *CapsuleCollider* a seconda dei gradi di libertà motoria) e *Triggers* interattivi, dai quali viene ricostruita, pur tramite simulazioni talvolta sconnesse dalla scena e dall'ambientazione 3D, la dinamicità sensoriale della

città "reale". In più queste connessioni arricchiscono l'esperienza immersiva attraverso l'interazione con tutte le informazioni che, pur specifiche e vincolate a certe finalità, è possibile voler trovare proprio allocate sull'elemento che descrivono, così da rendere l'interazione più avvincente trasformando il modello gestionale, il videogioco, il modello per lo sviluppo turistico e il modello per il controllo degli interventi di conservazione, nello stesso strumento, calibrato in funzione di differenti interazioni attivabili con differenti chiavi di accesso che abilitano o sbloccano determinate informazioni rispetto ad altre. La modellazione della città storica diviene il contenitore di quelle informazioni che descrivono e animano la città storica stessa, specchio della dimensione reale, nella quale tutto è semplificato e gerarchizzato e, proprio come nelle più futuristiche ambientazioni cinematografiche di Spielberg, nella quale è possibile scoprire notizie e "segreti" sulla storia e sulla vita della città e della civiltà reale.

CONCLUSIONI

La presente ricerca si è posta come sfida lo sviluppo di un iter procedurale per la realizzazione di banche dati, modelli 3D e piattaforme informative su centri urbani della Terra Santa, sia storici che contemporanei, che fossero metricamente affidabili ed efficaci dal punto di vista descrittivo, dai quali sviluppare piattaforme multimediali capaci di fornire una chiave di lettura alle complesse relazioni che concorrono alla definizione dello spazio percepito. Le complessità di questo protocollo, attualmente in fase di definizione, sono ancora strettamente legate alle difficoltà di gestione dei *big data* prodotti durante la campagna di rilievo, nonché alla difficoltà nel trovare procedure automatiche di modellazione a partire da nuvole di punti che soddisfino i requisiti di rispondenza geometrica al contesto storico analizzato. Quanto appreso da questi anni ci persuade a credere che, in ogni caso, segni ed immagini potranno qualificare strutture che comunque, nelle diverse forme virtuali, saranno in grado di rispondere sia ad esigenze di tipo gestionale che emozionale, producendo scenari e linguaggi globali posti in luoghi fuori da ogni mappa, vincoli geografici o muri di separazione.

NOTE

[1] Per un approfondimento sulle metodologie e gli indirizzi di ricerca che hanno mosso tali considerazioni e definito i caratteri delle sperimentazioni qui presentate, Cfr. Bertocci, S., Parrinello, S., Bua, S. & Picchio, F. (2014).

[2] *La determinazione delle modalità di interazione con lo spazio pubblico, il tempo di percorrenza e di sosta e le funzioni che condizionano tali comportamenti che hanno luogo nell'urbano, sono utili nella ricerca di un nuovo criterio di valutazione dei contenuti stessi della città e dello spazio interno del tessuto urbano.* Cit. Bertocci, S., Parrinello, S., Bua, S. & Picchio, F. (2014).

[3] Il laboratorio congiunto Università e Impresa Landscape, Survey and Design dell'Università di Pavia e dell'Università di Firenze assieme al Laboratorio Sperimentale DAda Lab. dell'Università di Pavia.

[4] Per una migliore comprensione dei rapporti tra Oriente ed Occidente in termini di influenze nella rappresentazione artistica e architettonica, cfr. Parrinello, S., Picchio, F. & De Marco, R. (2016).

[5] All'interno del programma "Productivity Program and Urban Renewal Program in East Jerusalem (PURE)", promosso

dalle Nazioni Unite, sono state sviluppate azioni di conoscenza e documentazione, analisi e produzione di banche dati digitali della zona, volte a porre le basi per un intervento di riqualificazione e di valorizzare dell'area di Sultan Suleiman e Salah Eddin Streets, in previsione del progetto di sopraelevazione degli edifici esistenti con un livello destinato ad uso commerciale ed amministrativo.

[6] Per una trattativa più specifica sul tipo di indagini condotte, i risultati ottenuti e le proposte progettuali sviluppate, Cfr. Cfr. S. Bertocci, S. Parrinello, M. Pivetta, (2018)

[7] "PURE - Productivity and Urban Renewal in East Jerusalem" Urban and architectural survey for the area and buildings in Sultan Suleiman and Salah Eddin streets in Jerusalem (Israel)" (2016). Scientific Board: Prof. S. Bertocci, Prof. S. Parrinello; "Architectural documentation and 3D laser scanner survey of Al-Jazzar Mosque in Acre" (2017). Scientific Board: Prof. S. Bertocci, Prof. S. Parrinello; "Management and control of urban growth for the development of heritage and improvement of life in the city of Bethlehem" (2018-2021), Scientific Board: Prof. S. Parrinello.

[8] La virtualizzazione informativa della città è sempre più legata a processi deduttivi svi-

luppati dalla comparazione combinata di informazioni eterogenee da più canali di acquisizione, la cui integrazione è fondamentale per l'estensione di una documentazione realmente definibile come globale. Per una maggiore trattazione, si rimanda all'opera di ricerca del prof. C. Ratti, in particolare cfr. Ratti, C. & Claudel, M. (2016). *The City of Tomorrow: Sensors, Networks, Hackers, and the Future of Urban Life.* New Haven: Yale University Press

[9] Per una trattazione più estesa sugli obiettivi di integrazione di banche dati da sensori Lidar e fotogrammetria aerea finalizzate all'analisi degli agglomerati urbani del centro storico di Betlemme, Parrinello, S., Picchio, F. & De Marco, R. (2018).

[10] Per un approfondimento sulle metodologie di rilevamento urbano ed architettonico funzionali all'analisi statica di ambienti e comparti monumentali all'interno della città storica, cfr. cfr. Picchio, F. (2017); Picchio, F., Bigongiari, M. & Canestrone, M. (2018); Canestrone, M., De Marco, R. & Dell'Amico, A. (2018).

[11] Per una descrizione più dettagliata dei livelli e settori di scomposizione, descrittori e scale valori sulla qualità urbana, inerenti l'interrogazione query applicabile a modelli semantici sviluppati sui quartieri di Gerusalemme Est, cfr.

Parrinello, S., Bercigli, M. & De Marco, R. (2017).

[12] Per meglio comprendere come i modelli sono stati costruiti, scomposti per elementi e resi più facilmente fruibili e gestione su Web, cfr. Parrinello, S., Picchio, F., Bercigli, M. (2016).

[13] Per maggiori indicazioni circa le modalità di modellazione affrontata nei differenti casi studio illustrati, cfr. Picchio, F., Bercigli, M. & De Marco, R. (2018).