

# Metodologie di rilievo integrato per indagini diagnostiche non invasive: la documentazione della Moschea Bianca di Al-Jazzar a San Giovanni d'Acri, Israele

Francesca Picchio

DICAr - Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura, Università degli Studi di Pavia

*pagina a fronte*

**Fig. 3.4**  
Elaborazione  
del modello  
tridimensionale  
con disegno dei  
volumi

## Abstract

The White Mosque of Al-Jazzar is the biggest complex in Israel outside the city of Jerusalem. In the center of the fleeting state of coexistence between the Muslim community and the Jewish community, the complex, part of the UNESCO protection area, is currently involved in a redevelopment project promoted by the Welfare Association and carried forward, in 2017, Experimental Research Laboratory DAda Lab (Drawing Architecture and Document-Action) of Pavia University and the University and Enterprise Joint Laboratory "Landscape Survey & Design" of the University of Florence and Pavia. The research activities has provided a digital survey of the complex and a diagnostic survey based on the relevant data and aimed at identifying any structural problems. The aim of the research is to create a databases useful for the diagnosis of the walls structural instabilities and to propose a masterplan of hypothesis for the restoration activities aimed also to the promotion of the architectural complex in the Cultural Heritage of the city of Acri.

## La Moschea Bianca di Al-Jazzar

La Moschea che domina l'orizzonte di Acri, originariamente chiamata Masjid al-Anwar ma anche conosciuta con il nome di 'Moschea Bianca' per via della sua grande cupola bianca di 25 m di altezza, che solo successivamente è stata dipinta di un verde acceso, risulta essere la più grande moschea in Israele fuori da Gerusalemme. (Fig. 1.1). Il complesso fu voluto e progettato nel 1781 da Ahmed el-Jazzar sul sito dove sorgeva un'antica basilica bizantina, al posto della quale nel 1104 i crociati fecero edificare una chiesa dedicata a S. Giovanni. Gli abitanti di Acri utilizzarono gli ambienti della Moschea con varie finalità, prima tra tutte il rifornimento d'acqua in seguito alla distruzione dell'acquedotto della città durante l'assedio di Napoleone Bonaparte, nel 1799. (Fig. 1.2), (Fig. 1.3).

Il complesso è costituito da un grande cortile trapezoidale, al quale si entra dai due ingressi a Nord e ad Est del perimetro della moschea. Il cortile, dal quale si accede alla moschea, è costituito da un monumentale porticato ad arcate, distribuite sui tre lati Nord, Est e Ovest, le cui colonne, dall'aspetto



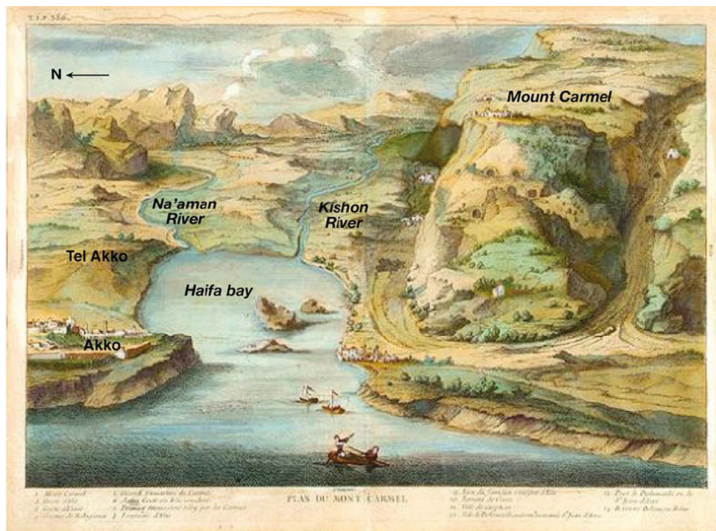
e dalla forma irregolare, provengono dalle rovine del sito di Cesarea. Nello stesso cortile si trova un piccolo edificio costituito da un ambiente unico, sovrastato da due cupole, che ospita le spoglie di Ahmad Pasha, el-Jazzar, e di suo figlio Sül eyman. L'ambiente interno della moschea, che sembra essere uno dei primi ad ospitare un matroneo situato in posizione sopraelevata rispetto alla sala della preghiera, si presenta ricco di decorazioni geometriche in marmo e di alcune iscrizioni coraniche. Dall'interno dell'edificio si accede anche al minareto a pianta circolare che, con i suoi 40 m di altezza, domina lo skyline di Acri. Oltre alla moschea, il complesso comprendeva un ambiente destinato all'Accademia Teologica Islamica e al relativo alloggio per gli studenti, collocato negli ambienti che oggi affacciano sul chiostro, una corte e una biblioteca pubblica. Le dimensioni grandiose del complesso, realizzato essenzialmente per rispondere ad una funzione spirituale, contribuirono a farlo divenire uno strumento politico per consolidare la sovranità dell'el-Jazzar.

Gli ambienti che fanno parte del complesso della Moschea di Al-Jazzar sono la dimostrazione di un'integrazione formale tra il linguaggio architettonico ottomano, bizantino e persiano. Testimonianza di questa integrazione di stili sono il *sabil* (dispensario d'acqua), edificato a fianco dell'accesso al perimetro sacro della moschea e, varcato l'accesso al chiostro, la fontana del sadirvan, posizionata in prossimità dell'ingresso alla moschea ed utilizzata per il rituale delle abluzioni. Questa struttura a pianta ottagonale, tipica dell'architettura ottomana del tardo Ottocento, costituisce un elemento di pregio all'interno del complesso religioso, sia per le sottili colonne di marmo sovrastate da capitelli intagliati, sia per la distintiva cupola verde a bulbo. La facciata monumentale della Moschea, preceduta da un portico con sei grandi colonne, si presenta in marmi policromi con motivi ornamentali che enfatizzano la rigidità geometrica dell'edificio.

La moschea era, ed è ancora oggi il simbolo del benessere e della stabilità economica e politica che doveva rappresentare la figura dell'el-Jazzar, tan-

**Fig. 1.1**  
David Roberts, Veduta di San Giovanni D'Acri del 1839. Oltre il perimetro fortificato della linea di terra si erge il volume della Moschea del Jazzar





**Fig. 1.2**  
La Baia di Haifa con la città di Acri in relazione al Monte Carmelo ed al Tel Akko, luogo dove sorse il primo insediamento

to che, dopo la sua morte, il complesso ha continuato ad essere un punto di interesse per la città, sia come centro culturale della religione musulmana che come sistema identitario nel panorama urbano, tanto da esigere specifiche azioni di intervento per ripristinare il valore che ha assunto nel tempo.<sup>1</sup> (Fig. 1.4).

### Il progetto di documentazione del complesso di Al-Jazzar

A partire dal programma promosso dalla Welfare Association<sup>2</sup> per la redazione di un progetto di riqualificazione della Moschea di Al-Jazzar, è stata sviluppata una proposta di indagine conoscitiva sul manufatto, finalizzata a mettere in luce le anomalie strutturali e gli aspetti di degrado avanzato in cui riversano gli ambienti del complesso.

Per redigere tale programma è stata attuata una strategia di documentazione che ha previsto l'utilizzo di diverse metodologie e strumentazioni digitali, l'integrazione delle quali ha permesso di ottenere *output* variabili ed esaustivi, necessari a rispondere ad una molteplicità di obiettivi richiesti dal progetto, prima tra tutte un'indagine diagnostica non invasiva sul manufatto.<sup>3</sup> (Fig. 2.1). Specialmente su contesti a rischio di conservazione, risulta oggi indispensabile applicare sistemi di documentazione che sfruttano strumentazioni digitali sempre più aggiornate, finalizzate a documentare esaustivamente il Bene e ad incrementarne la stessa conoscenza, sensibilizzando l'opinione pubblica verso la necessità di avviare strategie di tutela e recupero del Patrimonio artistico ed architettonico di ciascun Paese. Per questa ragione risulta sempre più importante realizzare interventi "a prevenzione", che possano permettere a complessi architettonici con valore storico ed artistico, di "resistere" ad eventi disastrosi e limitare il più possibile eventuali danni che possono subire nel tempo, in modo da preservare la memoria e permetterne l'attività di ricostruzione, riducendo sostanzialmente i costi e i tempi di lavoro. (Fig. 2.2), (Fig. 2.3).

<sup>1</sup> Cfr. Talbot, M. The Lights of Ahmad, The Al-Anwar Mosque of Acre. Stamboulina, 2014.

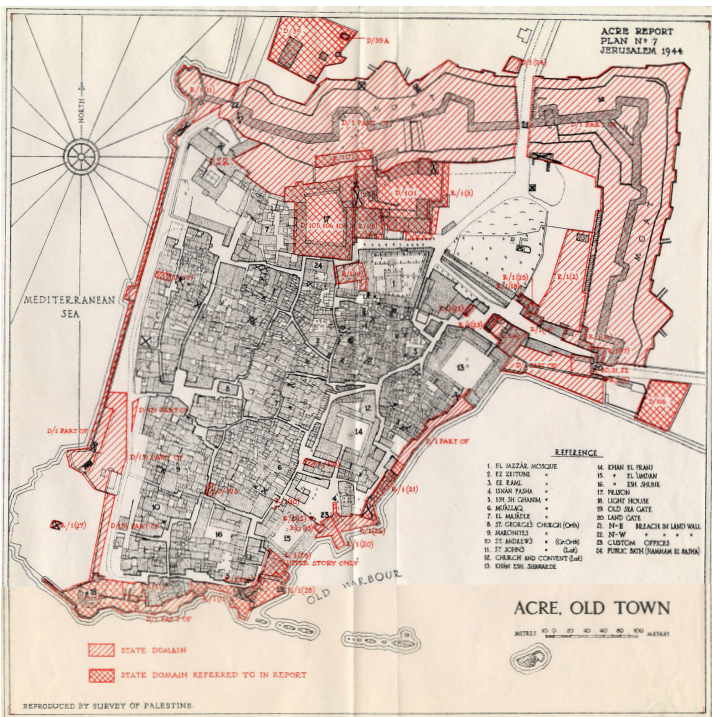
<sup>2</sup> Il progetto di ricerca, di cui responsabile il Prof. Sandro Parrinello e coordinatore tecnico scientifico la Dott. Francesca Picchio, è stato disciplinato da un accordo tra il Welfare Association e il Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura dell'Università degli Studi di Pavia. Al progetto hanno partecipato il Laboratorio Dada Lab (Drawing Architecture and Document Action) e il Laboratorio Congiunto Università e Impresa Inter Ateneo "Landscape Survey & Design" dell'Università di Firenze e Pavia. Alle attività di rilevamento hanno collaborato: Pietro Becherini, Monica Bercigli, Matteo Bigongiari, Mariangela Canestrone, Raffaella De Marco, Anna Dell'Amico, Ksenia Mezenina, Najati Fitiani, Raef Ahmad Touri.

<sup>3</sup> In particolare le tecnologie di acquisizione e rappresentazione tridimensionale quali la *computer vision*, la fotogrammetria e il *laser scanning*, sviluppano informazioni di complessità i cui codici di rappresentazione sono, nonostante le numerose esperienze prodotte, ancora in corso di definizione. Per un approfondimento delle ricerche condotte negli ultimi anni in Terra Santa per la documentazione digitale del Patrimonio cfr. Parrinello, (2017), *A Development Project for the United Nations. The Digital Survey for the Planning of East Jerusalem* in Amoruso G. (a cura di), *Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design*. Proceedings of 5th INTBAU International Annual Event, pp. 551-559.

Fig. 1.3  
Fotografie e Ortofoto  
aeree con mappa della  
città vecchia di Acri  
del 1944

pagina a fronte

Fig. 1.4  
Fotografie storiche  
della Moschea nel  
paesaggio di Acri



Le fasi di documentazione dimensionale, effettuate attraverso un'attività di rilevamento digitale, sono state finalizzate a restituire un *database* di punti rispondente alle geometrie delle murature ed allo stato di conservazione degli ambienti di ciascun elemento del complesso della Moschea di Al-Jazzar. Per ottenere un *database* contenente differenti livelli di informazione è stato necessario predisporre un accurato progetto di rilievo e una documentazione grafica ed informativa dell'intero complesso.<sup>4</sup> Il rilievo critico e la sua conseguente rappresentazione grafica dello stato di fatto e dei fenomeni analizzati (eccentricità delle colonne, deformazioni sul piano verticale dei paramenti murari, mancanze e deterioramento dello strato superficiale), unitamente all'analisi delle fonti storiche e documentarie sul manufatto, hanno costituito un passaggio obbligato nella metodologia di indagine intrapresa per la documentazione della Moschea di Al-Jazzar. L'organizzazione e la gestione delle informazioni acquisite ha permesso di strutturare un sistema documentale finalizzato alla redazione di elaborati bidimensionali e tridimensionali, capaci di descrivere, a vari livelli, la complessità del *database* ottenuto. Il progetto di documentazione è stato pertanto articolato in tre fasi: la prima ha riguardato la realizzazione di un rilievo geometricamente affidabile, capace di descrivere dettagliatamente ciascun elemento all'interno del sistema globale individuato dalla nuvola di punti, realizzata con strumentazioni laser scanner e fotogrammetriche *close range*; la seconda fase ha previsto un'accurata restituzione dello stato di fatto mediante disegni tecnici, elaborati colorimetrici e il censimento



degli elementi. La terza fase ha riguardato l'individuazione degli elementi di criticità del complesso architettonico, predisponendo le basi necessarie all'avvio del progetto di recupero.<sup>5</sup>

Uno degli obiettivi principali che gli elaborati prodotti devono soddisfare è quella di riuscire a trasmettere, attraverso un linguaggio grafico tecnico, affidabile ma anche intuitivo, non solo le problematiche riscontrate nel sito, ma anche quei valori intrinseci del Patrimonio architettonico, l'esplicitazione dei quali risulta indispensabile alla sua conservazione e alla fase di pianificazione di interventi atti a conservarne la vitalità e l'identità nel tempo.

#### **Affidabilità del rilievo digitale integrato ed elaborazione dei dati**

Il rilievo digitale eseguito sul complesso architettonico della Moschea di Al-Jazzar è stato finalizzato a produrre una banca dati tridimensionale dell'oggetto dalla quale estrapolare le informazioni necessarie alla redazione di elaborati specifici, utili per una diagnostica realizzata con metodologie non invasive sul manufatto. Per il progetto di acquisizione dati, organizzato in due campagne di rilevamento, tra Febbraio ed Aprile 2017, sono state previste due principali metodologie di acquisizione: quella *Range-based* mediante strumentazioni laser scanner per l'acquisizione di dati metrici, e quella *Image-based* per l'acquisizione di informazioni colorimetriche legate all'aspetto materico e qualitativo delle superfici, ottenuta tramite fotogrammetria SfM (*Structure from Motion*). Tali sistemi hanno consentito di acquisire un'elevata quantità di informazioni in tempi contenuti, garantendo anche l'ottenimento di banche dati digitali estremamente

<sup>4</sup>La conoscenza del manufatto, per lo stato di conservazione e di deformazione di ciascuno dei suoi singoli elementi o della sua globalità, necessita di una conoscenza non superficiale, poiché l'indagine diagnostica non può prescindere dalla presa di coscienza delle interconnessioni esistenti tra le strutture. Per comprendere il perché risulti fondamentale affrontare un rilievo dettagliato per mettere in evidenza le connessioni strutturali fra le singole unità costituenti Cfr. Bini, Bertocci, *Il rilievo per il restauro dei tessuti storici, in contesti colpiti da eventi sismici*, in DisegnareCon, volume 10/ n.18 - giugno 2017, pp. 0.1-0.4.

<sup>5</sup>Tale approccio metodologico, suddiviso per fasi di lavoro, risulta un procedimento indispensabile su qualunque progetto di documentazione che abbia come finalità l'indagine diagnostica del manufatto o su sistemi urbani. Le strumentazioni laser scanner e fotogrammetriche, escludendo il contatto diretto con la superficie muraria, risultano le tecniche maggiormente efficaci per la diagnostica non invasiva su patrimoni a rischio. Per una riflessione sull'utilizzo dei dati laser scanner funzionali ad un'analisi preventiva delle condizioni strutturali degli edifici Cfr. Pancani, G. *Il centro storico di Poppi, analisi a livello urbano per la valutazione del rischio sismico*, in DisegnareCon, a cura di Bini M., Bertocci S., *The survey for the restoration of historical heritage* volume 10/ n.18 - giugno 2017, pp. 9.1-9.10.

**Fig. 2.1**  
Attività di rilievo sul campo con utilizzo di strumentazioni range based (laser scanner a tempo di volo e a differenza di fase) e image based (fotogrammetria Structure from Motion - SfM) per la definizione della nuvola di punti sul complesso monumentale

<sup>6</sup>Dal momento che il rilievo digitale produce banche dati tridimensionali dalle quali reperire informazioni discrete sullo spazio reale, che possono essere messe a sistema con altre informazioni, per costruire uno strumento informativo interattivo, parlare di banche dati per la documentazione architettonica non riguarda solamente determinare la struttura di un complesso quantitativo di dati significativi circa la condizione di un contesto, ma riguarda più propriamente parlare di un nuovo volto attraverso il quale leggere e interpretare l'architettura stessa delle cose e dello spazio. Cfr. Parrinello, (2017), *A Development Project for the United Nations. The Digital Survey for the Planning of East Jerusalem* in Amoroso G. (a cura di), *Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design*. Proceedings of 5th INTBAU International Annual Event, pp. 551-559.

affidabili.<sup>6</sup> L'applicazione integrata di sistemi laser scanner e sistemi di rilevamento fotogrammetrico ha predisposto all'elaborazione di una nuvola di punti generale del complesso architettonico, comprensivo della Moschea e dei suoi ambienti interni ed esterni, rappresentante l'archivio di riferimento per le informazioni metriche e geometriche sul manufatto.

L'intera documentazione ottenuta dall'attività di rilevamento digitale ha contribuito alla realizzazione di disegni 2D che descrivono lo stato di conservazione ed i reciproci rapporti spaziali tra gli elementi del complesso, al fine di valutare cause ed eventualmente costituire la base affidabile per valutare possibili incrementi del quadro delle deformazioni delle strutture nel tempo. (Fig. 3.1), (Fig. 3.2), (Fig. 3.3).

Il dettaglio della rappresentazione grafica, che ha previsto la trascrizione grafica di ogni elemento necessario alla comprensione dell'immagine del complesso architettonico, è stato garantito dalla densità della nuvola di punti ottenuta dal rilievo laser scanner. A questo aspetto va aggiunto anche l'indispensabile contributo offerto dall'integrazione del dato fotogrammetrico, utilizzato non solo come dato "immagine a colori", descrivente l'oggetto nei suoi rapporti spaziali con l'intorno, ma anche come prodotto di una nuvola di punti 3D derivante dalla procedura di rilievo SfM, che sempre più spesso è necessario comparare, a livello di affidabilità, con quella ottenuta da strumentazione laser scanner in dettagli sui quali lo stesso laser risulta per vari motivi meno efficiente oppure inadatto (come si è verificato, ad esempio, per il rilievo della scala a chiocciola del vano interno del minareto nel quale, per mancanza di spazio utile di ripresa, non è stato possibile collocare il laser scanner).

Agli elaborati 2D sono stati affiancati modelli tridimensionali ottenuti dalla ricostruzione di superfici poligonali, sia di tipo *mesh* (dall'elaborazione



del dato della nuvola di punti) sia di tipo NURBS (dall'elaborazione numerica), integrate con mappature, *texture*, acquisite e generate dall'elaborazione delle immagini<sup>7</sup> provenienti da campagna fotografica *close range* e in quota (sono stati realizzati modelli fotogrammetrici da sequenze fotografiche scattate dal ballatoio della Moschea, dal ballatoio terminale del minareto, dal camminamento perimetrale dell'estradosso del chiostro). (Fig. 3.4)

La gestione e l'ottimizzazione dei modelli in funzione del loro fine comunicativo e l'esportazione delle banche dati in diversi formati che ne permettono la rielaborazione in funzione della finalità del processo di documentazione, contribuiscono a rivoluzionare da una parte la relazione tra soggetto e sistema di fruizione del patrimonio digitalizzato, ma anche a mettere a sistema una metodologia che sfrutta la strumentazione e il dato digitale nella definizione di protocolli metodologici standardizzati a tutela dell'affidabilità.

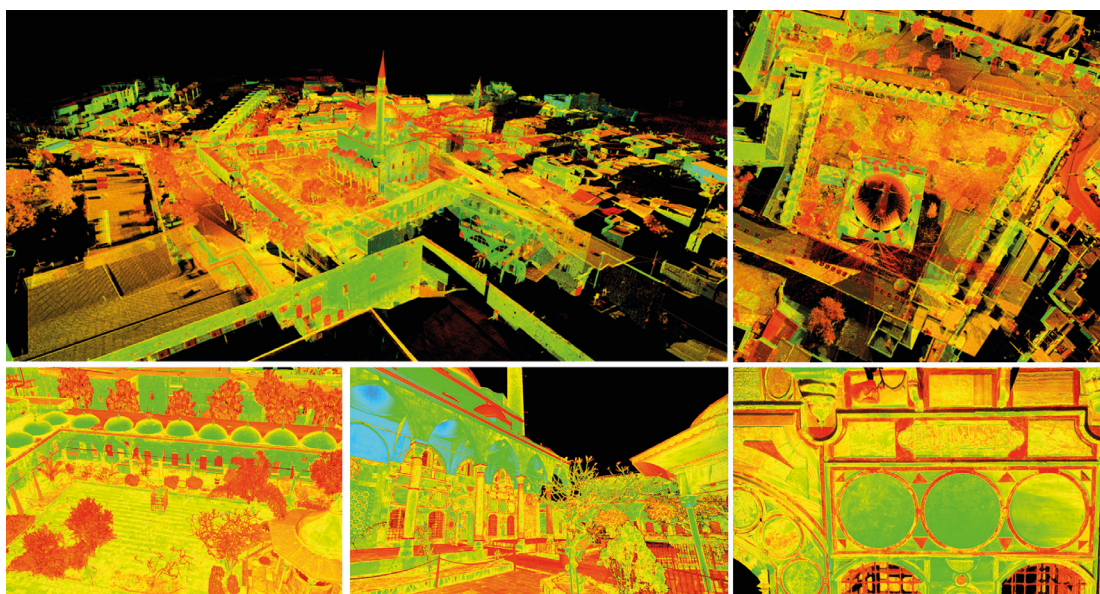
### Individuazione degli elementi di criticità degli ambienti

Alla gestione della banca dati digitale e alla produzione di un *corpus* documentario costituito dallo stato di conservazione e dall'analisi dei degradi di ciascuna superficie, è seguita una successiva operazione di raccolta di riflessioni e indagini circa la stabilità strutturale e l'analisi dello stato di deformazione di ciascun corpo di fabbrica, sfruttando i dati ottenuti dal rilievo 3D. La redazione da una parte di elaborati tecnici, descrittivi aspetti metrici e colorimetrici dei vari sistemi, e dall'altra di elaborati 3D, capaci di configurare ciascun elemento nel suo rapporto spaziale con l'intorno, ha permesso di elaborare analisi strutturali e diagnostiche non invasive sul manufatto.

Fig. 2.2

Nuvola di punti tridimensionale del complesso di Al-Jazzar. La banca dati tridimensionale abbraccia una porzione di centro storico oltre il perimetro del recinto della moschea e riporta una definizione tale da poter apprezzare i dettagli ornamentali con le commettiture tra le singole pietre

<sup>7</sup>Per una trattativa più approfondita sul tema dell'applicazione della metodologia di rilievo per la documentazione di complessi architettonici, affrontati dal Laboratorio DAda Lab (Drawing Architecture and Document Action) e il Laboratorio Congiunto Università e Impresa Inter Ateneo "Landscape Survey & Design" dell'Università di Firenze e Pavia, e finalizzati alla documentazione per la preservazione di siti in territori in emergenza, Cfr. Parrinello, La documentazione di al Nabi Musa nel deserto di el-Bariyah, Palestina. Uno studio attraverso il disegno dell'evoluzione storica e delle caratteristiche architettoniche dell'oasi edificata, in Docci M., (a cura di) Disegnare idee immagini n° 54 / 2017, Gangemi Editore.

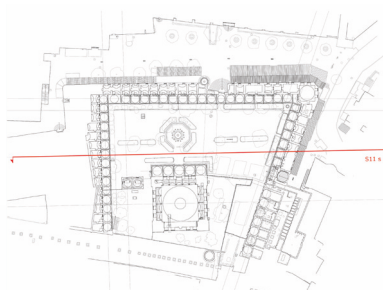




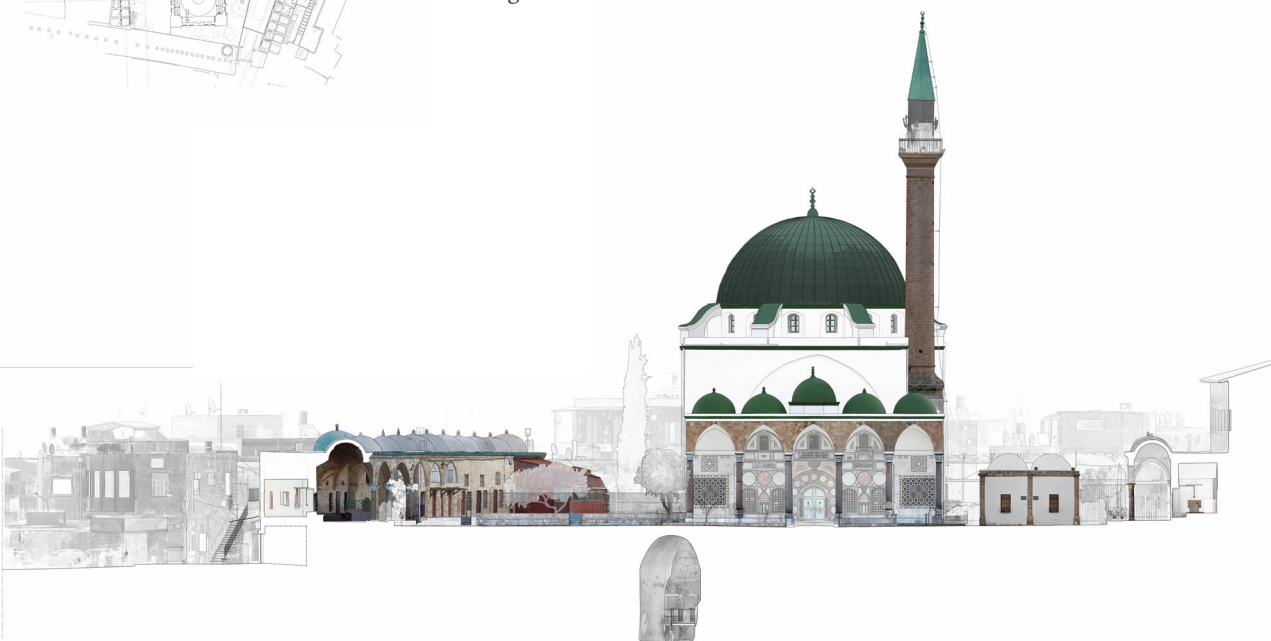
**Fig. 2.3**  
Ricostruzione con metodologia SfM dei fotopiani sui pennacchi sferici della tamburo e per le grandi superfici quali la pavimentazione o i prospetti esterni



**Fig. 3.1**  
Sezione ambientale con trattamento materico che attraversa il cortile e mette in relazione il volume della moschea con il porticato della scuola coranica e con i volumi ipogei delle cisterne crociate



L'accurata documentazione e le attente valutazioni prodotte per l'intero complesso, comprendente tutti gli edifici esistenti nel perimetro della moschea (documentati sia internamente che esternamente), ha permesso di ottenere informazioni esaustive circa la conformazione costitutiva del sistema generale e di ogni singolo elemento strutturale, valutando, ad esempio, lo spessore murario dei diversi setti, la disposizione degli spazi e le eventuali deformazioni rispetto ai piani geometrici ideali, i fuori piombo, ecc.... Tuttavia la presente ricerca non ha avuto come oggetto la redazione di un programma di intervento strutturale sugli edifici, ma bensì quello di presentare un protocollo metodologico capace di configurarsi come uno strumento di indagine non invasiva, anche se ovviamente non esaustiva, per la diagnostica di complessi architettonici a rischio. Tale metodologia, applicabile su vari ambiti di ricerca anche per l'enorme vantaggio di fornire *output* di uscita sempre più affidabili e con tempi e costi ridotti, può essere in grado di fornire informazioni di diversa natura e per molteplici usi, nel comune intento di avviare una più consapevole azione di pianificazione degli interventi di conservazione finalizzata a individuare le zone a ri-



schio e le porzioni che necessiterebbero di approfondimenti diagnostici per un successivo consolidamento e relativa messa in sicurezza delle strutture architettoniche.

Per valutare le interconnessioni strutturali tra gli elementi del sistema ed individuare le possibili cause di dissesto presenti, è stata affrontata l'analisi di ciascun macro-sistema, o sistema strutturale "omogeneo" del complesso (la moschea, il minareto, i fronti esterni, il porticato), scomponendolo nei suoi elementi per valutare puntuali fenomeni di degrado o di dissesto strutturale. Successivamente, i risultati ottenuti dalle indagini per macro-blocchi sono stati confrontati per valutarne le eventuali interconnessioni, al fine di valutarne eventuali correlazioni di causa-effetto.

### *Il porticato e gli ambienti delle scuole coraniche*

Per esaminare dettagliatamente gli elementi e relazionare le informazioni ottenute ad un possibile quadro generale esteso al complesso, è stato necessario redigere una scheda specifica digitale, sulla quale raccogliere i dati qualitativi e le valutazioni di natura e per molteplici usi testuale, numerica e grafica, circa gli aspetti peculiari di ciascun elemento costruttivo analizzato (colonne, volte, ambienti interni). Tale censimento ha interessato anche le attività commerciali degli ambienti situati a piano terreno, accessibili dalla strada carrabile esterna (essendo il piano di calpestio della Moschea rialzato di circa 3 m). In molti casi il rilievo eseguito all'interno degli ambienti che affacciano sul cortile ha evidenziato situazioni critiche: gli ambienti superiori presentano elevate deformazioni interne nell'intradosso delle volte, mentre quelli degli esercizi commerciali a livello inferiore presentano lesioni negli ambienti voltati in corrispondenza del disallineamento dei setti murari tra i due piani di calpestio. Negli ambienti che affacciano sul chiostro oltre ai danni strutturali si riscontrano danni dovuti all'umidità, relativi probabilmente ad una progressiva trasformazione della condizione architettonica originaria: la chiusura di canne fumarie, il tamponamento di numerose finestre, l'innalzamento del livello del piano

Fig. 3.2

Sezione ambientale con trattamento materico che attraversa la moschea e mette in relazione i volumi ipogei delle cisterne crociate con il cortile e con il confine amministrativo esterno, coincidente con gli spazi occupati dal turkish bazaar

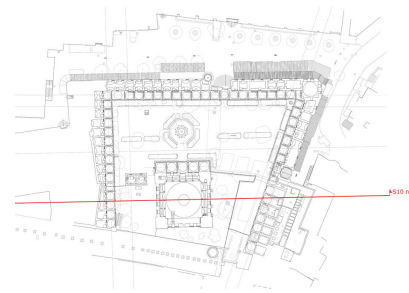


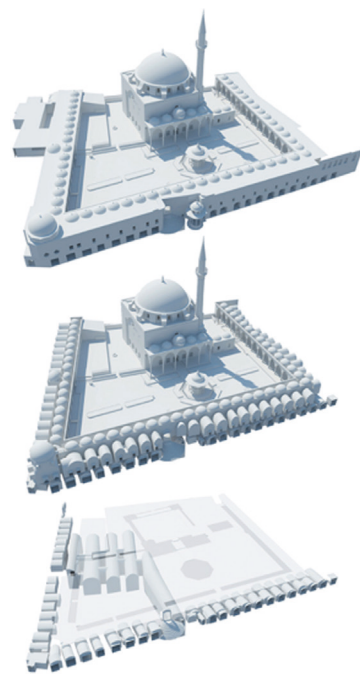
Fig. 3-3  
Particolare del pro-  
spetto principale e  
del portale di accesso  
alla Moschea

di calpestio. (Fig. 4.1). All'esterno le colonne del cortile, spesso composte da rocchi di riuso di diversa provenienza, presentano cerchiature metalliche alle estremità e, nella maggior parte dei casi, anche al centro del fusto. Le cerchiature hanno la funzione di contenere la dilatazione laterale del fusto ed incrementare la forza a compressione che, nelle colonne composte più che in altre, ha determinato molte lesioni e fenomeni di degrado diffuso, dovuto soprattutto alla corrosione degli stessi elementi metallici. (Fig. 4.4). Le volte a catino di ogni campata del portico sono costruite con blocchi trapezoidali disposti a fasce concentriche, di cui spesso sono visibili interventi ed integrazioni successive. Al fine di analizzare l'andamento e l'eventuale eccentricità e deformazione delle volte è stata utilizzata la banca dati ottenuta dal rilievo digitale, dalla quale sono state estrapolate informazioni processate dalla nuvola, attraverso l'utilizzo delle funzioni di *elevation map*, restituite sotto forma di gradienti di colore indicanti la distanza progressiva di ciascun punto dal piano di riferimento assegnato. (Fig. 4.3). Grazie a questa metodologia, applicata anche per le pareti del colonnato del cortile, al fine di valutare i fuori piombo dei piani verticali, è stato possibile analizzare l'entità delle deformazioni dei setti verticali, le deformazioni geometriche di ciascuna cupola e l'eccentricità dell'asse di ciascuna colonna al fine di predisporre elaborati specifici relativi al quadro complessivo delle deformazioni.

#### *I fronti esterni*

L'analisi diagnostica ha riguardato anche i fronti esterni, in corrispondenza degli ambienti che affacciano sul portico e gli esercizi commerciali al piano terra, accessibili dalla strada. Il lavoro ha previsto la lettura dei dis-





sesti, delle lesioni e delle deformazioni degli ambienti ad uso commerciale che si aprono sul fronte strada. Per documentare lo stato di conservazione delle superfici dei fronti esterni è stata effettuata un'accurata valutazione dei degradi superficiali applicando la classificazione delle patologie riportate nelle raccomandazioni NorMaL-1/88, "Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico". Pertanto è stato documentato lo stato di avanzamento di degrado superficiale, costituito per lo più da dilavamenti e da distacchi, oltre ad un quadro fessurativo che ha evidenziato una zona critica in prossimità dell'angolo Nord-Est.<sup>8</sup> Gli elaborati ottenuti dall' *elevation map* delle superfici delle strutture verticali predisposte per valutare le deformazioni dei fronti esterni Nord e Est, hanno confermato la problematicità della zona d'angolo: al di sopra del livello delle coperture del chiostro grava il peso del tamburo che sorregge la cupola di copertura della sala angolare, ragione per cui, a causa dell' intervento di demolizione di una parete interna e dell'apertura di molte finestre su fronte strada, sono comparse fessurazioni a 45° visibili anche sul fronte esterno.

### *Il minareto*

Gli aspetti di conservazione materica, strutturale e tecnico-costruttivi del minareto sono stati approfonditi nel corso della seconda campagna di rilievo, con lo scopo di integrare i dati provenienti dal rilievo architettonico effettuato nel Febbraio 2017. Il minareto della moschea di Al Jazzar può essere suddiviso strutturalmente in quattro parti differenti: la prima basamentale di forma prismatica che si sviluppa all'interno del cantonale

**Fig. 3-4**  
Elaborazione del modello tridimensionale con disegno dei volumi e mappatura con *texture* ad alta risoluzione per la fruizione in remoto del sito

<sup>8</sup> Cfr. NORMA UNI 11182:2006, Materiali lapidei naturali ed artificiali. Descrizione della forma di alterazione - Termini e definizioni.

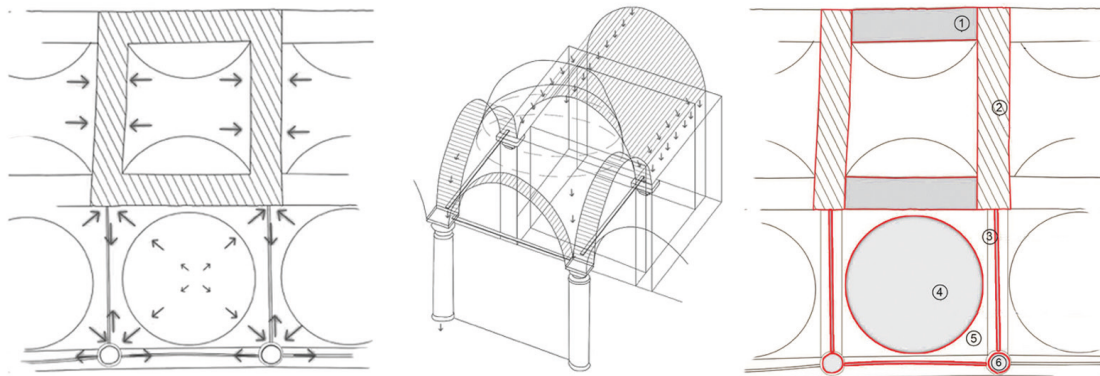
**Fig. 4.1**  
Considerazioni  
sugli elementi  
strutturali degli  
ambienti della  
scuola coranica del  
chiosstro:  
1. muri secondari  
2. pareti portanti  
3. catene metalliche  
4. cupola  
5. pennacchi  
6. colonne

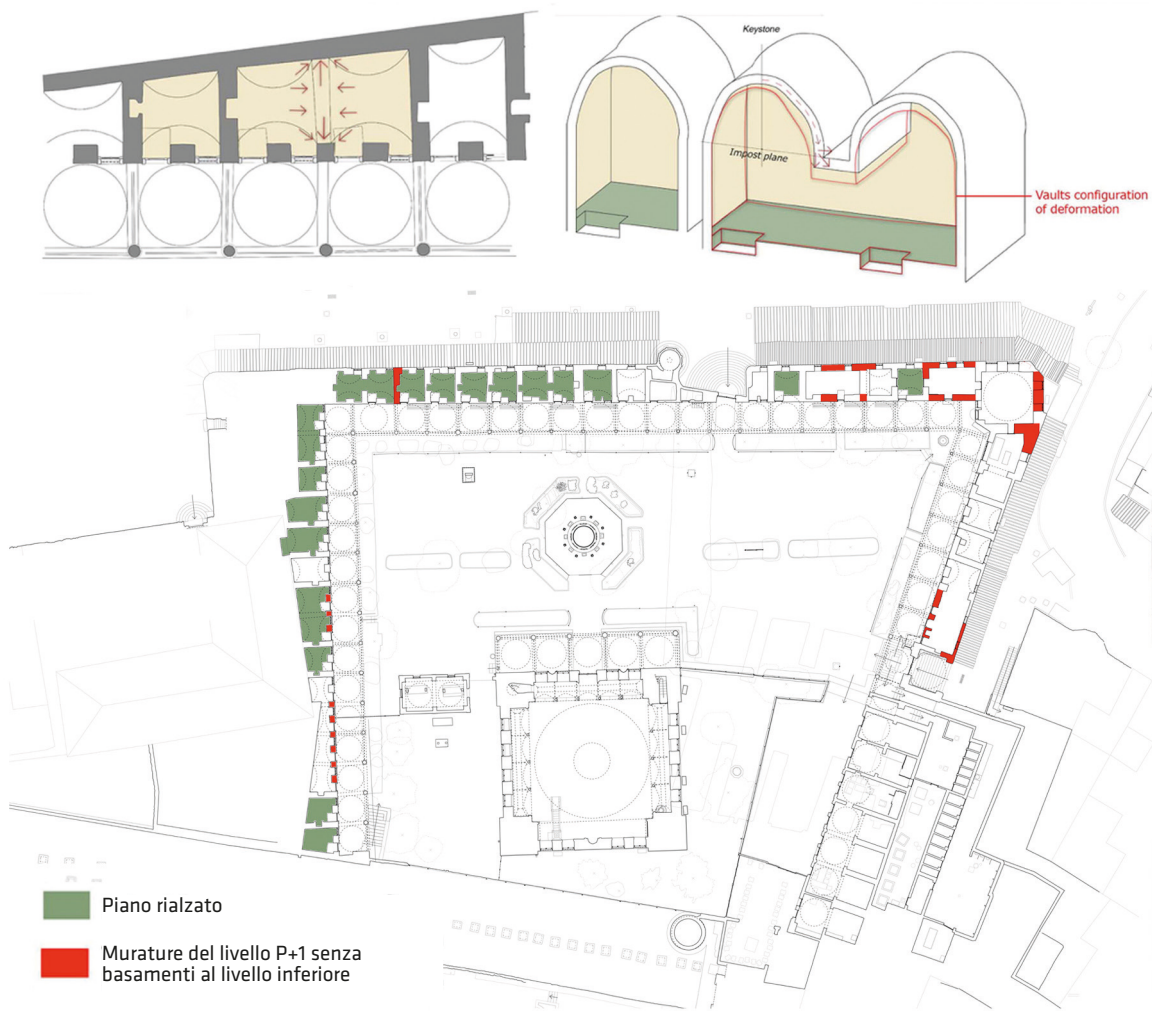
Nord-Ovest della moschea e permette l'accesso alle zone di preghiera per le donne ai piani superiori; la seconda che corrisponde al corpo cilindrico del minareto fino al ballatoio; la terza che si sviluppa dal ballatoio fino alla copertura ed infine la copertura, una struttura con puntoni in legno disposti radialmente e rivestita esternamente da lastre metalliche. L'interno del minareto è costituito da una struttura cilindrica con scala a chiocciola, con scalini poggianti su di un perno centrale che si incastrano nel muro perimetrale. Le ridotte dimensioni della corona circolare del vano hanno reso necessaria l'applicazione di un sistema di rilevamento SfM dell'interno, referenziato successivamente alla banca dati della nuvola di punti grazie a *target* di riferimento, opportunamente posizionati all'estremità inferiore e superiore della struttura del minareto; i *target* di riferimento sono stati rilevati con entrambe le metodologie di rilievo adottate.

Gli elaborati bidimensionali descrittivi l'interno del minareto hanno permesso di redigere una mappatura dei degradi<sup>9</sup>, e valutare come, lungo l'intero sviluppo della struttura, la principale causa di degrado che interessa il minareto sia dovuta anche ad un errato intervento di consolidamento effettuato in epoca recente attraverso l'introduzione di un sottile cappotto interno in calcestruzzo armato che appare non collaborante con la struttura muraria in pietra a causa di una errata disposizione dei ferri; a questo si aggiunge la corrosione dell'armatura metallica all'interno del cappotto in cemento, capace di provocare la rottura del conglomerato cementizio lungo l'intero sviluppo longitudinale della struttura. È stato fondamentale redigere l'elaborato planimetrico delle informazioni legate alla presenza di lesioni strutturali, e confrontare il dato ottenuto con il fenomeno dell'eccentricità del minareto, reso possibile dall'integrazione delle due banche dati ottenute per acquisire interno ed esterno della struttura. Per verificare il problema del disassamento del minareto, evidente anche a colpo d'occhio e confermato dalle sezioni verticali effettuate, è stato redatto un elaborato realizzato mediante sovrapposizione delle piante ai differenti livelli, da cui è stato possibile quantificare effettivamente lo spostamento del centro geometrico della struttura, che appare di verso concorde per ogni

<sup>9</sup> La superficie interna del minareto è cilindrica, motivo per cui, nell'eventuale computo sulle superfici delle aree su cui intervenire è necessario adottare coefficienti di amplificazione. Ogni singolo degrado è stato descritto da una polilinea chiusa campita dal retino di riferimento stabilito dalla normativa NorMaL-UNI.

<sup>10</sup> Lo spostamento del centro geometrico dal livello 0 al ballatoio (livello 9) ammonta a 14,3 cm, tra il livello del ballatoio (livello 9) e quello superiore (livello 10) ammonta a 12 cm poi, tra quest'ultimo (livello 10) e quello ancora superiore (livello 11) altri 8cm.





livello e gradualmente superiore in prossimità della cima del minareto. La verifica ha evidenziato che lo spostamento del centro geometrico, superato il livello del ballatoio, incrementa ulteriormente: questo è probabilmente dovuto al fatto che alla fine del XIX secolo la cella superiore del minareto è stata interamente ricostruita e costituisce quindi un sistema strutturale scollegato dal resto della costruzione<sup>10</sup>.

### Conclusioni

La possibilità di realizzare interazioni fra i dati provenienti dal rilievo laser scanner 3D e fotogrammetrico e di sfruttare le modalità con cui i dati prodotti vengono organizzati e strutturati per avviare indagini diagnostiche sullo stato di conservazione del manufatto, ha permesso di realizzare indagini accurate con una metodologia di analisi, speditiva e non invasiva, per la valutazione del rischio che interessa il complesso della Moschea di

**Fig. 4.2** Considerazioni sulla condizione strutturale delle stanze facenti parte la scuola coranica. Si evidenzia la criticità di alcune murature che sono state rimosse compromettendo l'equilibrio statico dell'intera struttura

**Fig. 4.3**  
Restituzione del paramento murario del loggiato con *elevation map* ottenuta dalla nuvola di punti laser scanner impiegata per controllare lo stato di deformazione delle murature

*pagina a fronte*

**Fig. 4.4**  
Documentazione sullo stato di conservazione delle catene che si ancorano sui peducci delle volte. La deformazione del paramento murario e lo la deformazione del piano verso l'esterno ha gravemente lesionato le catene provocando un effetto domino sul porticato

Al-Jazzar. Le considerazioni diagnostiche e strutturali affrontate per i vari sistemi della Moschea costituiscono la base della redazione di un successivo ed indispensabile progetto di conservazione, una sorta di *masterplan* di interventi, che avrà l'obiettivo di stabilire la priorità delle categorie di interventi da attuare, tenendo conto delle valutazioni relative alle condizioni di stabilità e alla vulnerabilità delle strutture stesse per rispondere ai necessari requisiti di sicurezza posti come obiettivo primario del progetto di recupero e, conseguentemente, alle richieste del progetto di valorizzazione del monumento.

Il sistema digitale costituito durante la prima fase di documentazione del complesso, è da considerarsi come il punto di partenza per ulteriori progetti di recupero della Moschea di Al-Jazzar; questa attività ha permesso di mettere a sistema una metodologia di intervento, replicabile per altri contesti a rischio che, attraverso la fruizione di una banca dati digitale, risultati capace di valorizzare il carattere simbolico della struttura, tutelando al contempo l'oggetto di indagine da eventi o fenomeni di degrado che ne possano compromettere la persistenza nel tempo.





## Bibliografia

Bersche D. 2009, *Ottoman Water Distribution System in Acre*, International Conservation Center, Acre.

Buckingham J.S. 1821, *Travels in Palestine*, Longman, London.

Bertocci S., Minutoli G., Pancani G. 2015, *Rilievo tridimensionale e analisi dei disegni della Pieve di Romena*, in «DisegnareCon», a cura di G. Carbonara, M. Centofanti, R. Mingucci, *Design for Restoration: beyond the survey*, (vol. 8, No 14), pp. 26.1-26.20.

Bini M., Bertocci S. 2017, *Il rilievo per il restauro dei tessuti storici, in contesti colpiti da eventi sismici*, in «Disegnare-Con», a cura di M. Bini, S. Bertocci, *The survey for the restoration of historical heritage*, (vol. 10/n.18), pp. 0.1-0.4.

Cohen A. 2009, *Palestine in the 18th Century*. 2nd edition. Varda Books, Jerusalem.

Conder C.R., Kitchener H. H. 1882, *Survey of Western Palestine: Memoirs of the Topography, Orography, Hydrography, and Archaeology*, Committee of the Palestine Exploration Fund, London.

Dichter B. 1973, *Maps of Acre*, Municipality of Acre, Acre.

Dichter B. 2000, *Akko: Sites from the Turkish Period*, ed. Carmel A. and Baumwoll Z., Gottlieb Schumacher Institute, Haifa.

Giuffrè A. 2003, *La meccanica nell'architettura*, Carocci Editore, Roma.

Goldmann Z. 1994, *Akko in the times of the Crusaders*. ed. Convent of the Order of St. John (2nd ed.), Acre.

Guerin V. 1880, *Description de la Palestine*, Galilee, vol. 2. Paris.

Folda J. 2005, *Crusader Art in the Holy Land, from the Third Crusade to the Fall of Acre, 1187-1291*, Cambridge University Press, Cambridge.

Hortig A. 2010, *Sabil al-Jazzar. Architectural Documentation of the Exterior Wall Fountain of al-Jazzar Mosque*. International Conservation Center, Acre.

Jonquière C. 1904, *L'expédition d'Egypte 1798-1801*. Paris.

Lurie Y. 2000, *Acre City of Walls: Jews Among Arabs, Arabs Among Jews*, Yaron Golan Publication, Tel Aviv.

Pancani G. 2017, *Il centro storico di Poppi, analisi a livello urbano per la valutazione del rischio sismico*, in «Disegnare-Con», a cura di M. Bini, S. Bertocci, *The survey for the restoration of historical heritage*, (vol. 10/n.18), pp. 9.1-9.10.

Parrinello S. 2017, *La documentazione di al Nabi Musa nel deserto di el-Bariyah, Palestina. Uno studio attraverso il disegno dell'evoluzione storica e delle caratteristiche architettoniche dell'oasi edificata*, in «Disegnare idee immagini» a cura M. Docci, (n° 54 / 2017), Gangemi Editore, Roma.

Parrinello S. 2017, *A Development Project for the United Nations. The Digital Survey for the Planning of East Jerusalem*, in «5th INTBAU International Annual Event» a cura di G. Amoruso, *Putting Tradition into Practice: Heritage, Place and Design*, Springer, pp. 551-559.

Petersen A. 2001, *A Gazetteer of Buildings in Muslim Palestine*, Part 1, Oxford University Press, Oxford.

Phillip T. 2001, *Acre: Rise and Fall of a Palestinian City, 1730-1831*, Columbia University Press, New York.

Pringle D. 2009, *Churches of the Crusader Kingdom of Jerusalem*, Vol. 4, Cities of Acre and Tyre with Addenda and Corrigenda to Volumes 1-3, A Corpus: I-III, Cambridge University Press, Cambridge.

Radiojewski B. 2010, *Historical Documentation of the Water Cisterns under the Jazzar Pasha Mosque in Acre*, International Conservation Center, Acre.

Rubin M. 1974, *The walls of Acre: intergroup relations and urban development in Israel*, Holt, Rinehart and Winston, New York.

Rustum A. 1926, *Notes on Akka and its defences under Ibrahim Pasha: prepared for the Archaeological Congress of Syria and Palestine*, University of Michigan.

Schur N. 1990, *A History of Acre*, Dvir Publishing House, Tel Aviv.

Sharon M. 1997, *Corpus Inscriptorum Arabicarum Palaestinae*, Vol. 1, Brill, Netherlands.

Talbot M. 2014, *The Lights of Ahmad, The Al-Anwar Mosque of Acre*.

<http://www.stambouline.com/search?q=Ahmad> (08/17)