

Sistemi di documentazione per l'analisi ed il progetto di recupero del Forte San Lorenzo el Real del Chagres, Colón, Panama

Sandro Parrinello
Francesca Picchio

DICAr, Dipartimento di Ingegneria Civile ed
Architettura Università di Pavia

pagina a fronte

Fig. 1.1
Fotografia
del Forte
San Lorenzo
el Real del
Chagres. (Foto J.
Kingston)

Abstract

The paper is a summary of some studies that have focused on the documentation for the restoration and enhancement of the Fort San Lorenzo el Real del Chagres in Panama. The aim of the project is to develop an experimental methodology for the creation of descriptive atlases with an informative and reliable metric survey systems; a documentary corpus necessary for the understanding of the historical events which have affected this place, today declared UNESCO heritage, and for the definition of guidelines for restoration and enhancement. The monument is unique for both the special relationship with the surrounding context for defensive strategies terms, and for the deep connection with the events that have affected not only the colonization and development of Panama, but the entire Central America. From the first project of a "Castillo" to the creation of present's fortified fortress overlooking the outfall of the Chagres River, the paper is going to explain the major historical events that have influenced the image of the building, illustrating the documentation and the recovery project.

Introduzione (SP)

All'epoca del dominio spagnolo nelle Indie Occidentali, ovvero in quei territori oltreoceano che da tempo si figuravano come il principale interesse commerciale degli stati Europei, vennero istituite specifiche amministrazioni per regolamentare il traffico navale da e verso i territori costieri del Nuovo Mondo. Le prime rotte del commercio, quelle che collegavano la Spagna a Veracruz (Messico) e Tierra Firme (Colombia) a Portobelo e San Lorenzo del Chagres (Panama), furono presto oggetto di interesse della pirateria e dei contrabbandieri che sempre più frequentemente intercettavano in quei "cammini dell'oro" le ricchezze provenienti dal Perù, destinate a confluire nei grandi centri costieri panamensi da cui partivano le navi per la Spagna¹. Alla fine del XVI secolo venne denunciata la necessità di fortificare il sistema difensivo delle coste caraibiche contro la minaccia della flotta inglese, decisa a conquistare quei punti strategici che avrebbero consentito l'accesso del Centro America ed il pieno control-

¹ Fino al XVI secolo la traversata dell'istmo di Panama avveniva principalmente via terra, tramite sentieri che addentrandosi nella foresta tropicale collegavano le coste pacifiche della Città di Panama con la Baia di Portobello, principale porto atlantico da cui salpavano le navi per l'Europa. La scoperta del Rio Chagres, destinato a diventare percorso privilegiato di comunicazione tra i due Oceani, si deve al navigatore Lope de Olano, nel 1510, ed al capitano Hernando de La Serna che pochi anni più tardi risalì il fiume fino al lago Gatún gettando le basi per l'inizio del commercio fluviale.



lo delle abbondanti ricchezze nel Nuovo Mondo. L'importanza strategica del luogo sul quale oggi è situato il Forte di San Lorenzo venne immediatamente compresa da Filippo II che, nel 1587, inviò l'Ing. Battista Antonelli in una missione di perlustrazione al fine di attuare un piano strategico per inscenare un teatro di fortificazioni necessarie a rendere sicure le colonie e dalle quali poter poi estendere capillarmente il processo di colonizzazione del Nuovo Mondo. Grazie alla relazione redatta da Battista Antonelli "*Relazion de Costas sobre Fortificaciones de Cartagena de Yndias, Portobello, Rio Chagres, las Caza R.s de Panamá y el Morro de La Havana*" e alla bolla reale emanata in seguito, nel 1588 venne disposta la progettazione delle fortificazioni di La Habana, Puerto Rico, Santo Domingo, La Florida, Puerto Caballos, Bahía de Fonseca, Santa Marta, Cartagena de Indias, Nombre de Dios, Portobello, Rio Chagres e della città di Panama. Nel punto in cui il fiume Chagres sfocia nell'Oceano Atlantico vi era una struttura difensiva rudimentale, costituita da trincee realizzate con tronchi e zolle di terra, insufficienti per la difesa della rotta commerciale. Compito dell'Antonelli fu di realizzare una fortezza di notevoli dimensioni, interamente in pietra, a difesa di quello che rappresentava, per i conquistatori spagnoli, la via più breve per raggiungere la costa pacifica e collegare il Centro America con i territori del Sud. L'operazione di difesa intrapresa dall'ingegnere italiano non si limitò alla sola progettazione della fortezza, ma anche a strutturare un efficace e policentrico sistema difensivo sul perimetro costiero.² (Fig. 1.1) (Fig. 1.2)

I progetti per la difesa del Rio Chagres (SP)

Il primo progetto di Battista Antonelli per la difesa dello sprone di roccia alla foce del Chagres si componeva di due elementi funzionali: una torre nella quale erano previsti gli alloggiamenti della guarnigione e una piattaforma, con un parapetto perimetrale, destinata agli otto cannoni '*a baberta*'. Alla struttura *Plataforma y Torre* si sostituì, come è possibile riscontrare nei documenti d'archivio, la dicitura di Castillo San Lorenzo El Real. In questo senso il termine Castillo indicava il raggruppamento della piattaforma e della torre connesse attraverso un camminamento *cubierto*, generando così un unico elemento del sistema difensivo. (Fig. 2.1)

La struttura, di cui ne venne iniziata la costruzione nel 1595, presentò fin da subito alcuni difetti tecnici che contribuirono a condurre il complesso fortificato in pessimo stato nel giro di un ventennio. Il sopralluogo di Cristóbal de Roda nel 1620 evidenziò le condizioni fatiscenti della struttura soggetta ad una forte erosione dello stato superficiale della pietra, ed alcune lesioni strutturali sia nella Piattaforma che nella Torre, sintomo di alcune possibili cedimenti delle fondamenta, come documentato nel disegno del Roda nello stesso anno.

Gli attacchi di pirateria nel litorale panamense e a Cartagena richiesero l'urgenza di una nuova fortezza, molto più grande ed efficace della prima. Nel 1596 le fortezze spagnole dell'istmo subirono numerosi attacchi da parte del celebre pirata Sir Francis Drake che, con una flotta di 23 navi, si av-

²Dopo alcuni viaggi di perlustrazione Antonelli cercò di convincere il Re di Spagna a far spostare il punto di attracco delle flotte navali dalla baia di Nombre de Dios a quella di Portobello, perché più consona ad un'eventuale azione di difesa. Tale operazione strategica venne realizzata qualche anno dopo il primo progetto del Forte di San Lorenzo, con la sistematica costruzione di una serie di fortezze lungo la costa di Portobello.

vicinò alle coste panamensi, attaccando e conquistando Nombre de Dios. Drake morì durante uno scontro nella baia di Portobelo, ma la notizia della minaccia inglese bastò per far rafforzare la difesa della fortificazione alla foce del Chagres.

Il progetto della nuova fortezza, ad opera del Roda, ricalca i modelli di fortificazione italiani del periodo rinascimentale: angoli regolari in entrata ed in uscita, disposti secondo uno schema a raggiera (5-6 angoli salienti). La piattaforma doveva essere un corpo basso, diviso per raggi rettilinei, all'interno dei quali collocare lo spazio dell'artiglieria e un capannone dove ubicare la cappella e il corpo di guardia, disposto in direzione Est. Nella pianta superiore dovevano trovare alloggio la cassa di munizioni, le truppe e la torre, con funzione di alloggio per il castellano e alcuni ufficiali. I lavori di smantellamento della precedente opera in rovina e della realizzazione della nuova opera fortificata durarono un anno e mezzo. Tuttavia un violento ciclone e le piogge incessanti ridussero la struttura in rovina, costringendo la Corte del Consiglio de Indias ad intervenire con urgenza. Nel 1631 le truppe e l'artiglieria vennero temporaneamente spostate, poco prima che le mura della piattaforma crollassero definitivamente, lasciando la situazione difensiva della foce del rio Chagres totalmente scoperta. (Fig. 2.2)

Allo sfortunato progetto del Roda subentrò la proposta di Enrique de Sotomayor, nel 1637. L'impianto a 'stella' del precedente progetto rimase ma furono apportate varianti compositive alla piattaforma in modo da coprire con il fuoco dei cannoni l'entrata alla bocca del Chagres e furono previste una torre alta 90 piedi per l'alloggiamento del castellano e della guarnigione di 25 uomini, una polveriera, realizzata sulla collina a protezione del versante di terra e una Trincea (*cortadura*), formata da due baluardi collegati da una cortina lunga 40 piedi e alta 20, con parapetto continuo, dotata di un ampio controsaripa per aumentarne la sicurezza. Purtroppo i frequenti attacchi al forte fecero ritardare l'inizio dei lavori e la struttura rimase in rovi-

Fig. 1.2

A sinistra i sistemi di fortificazione della Corona Spagnola oltreoceano ad opera della famiglia degli Antonelli. A destra i camminamenti dell'epoca coloniale che collegano la costa atlantica alla costa pacifica, strutturati sulla fascia territoriale più stretta dell'Istmo panamense. Queste rotte hanno determinato nuclei insediativi storici ubicati sul territorio in gran parte fortificati. Il percorso principale sfrutta la presenza del Rio Chagres dove è possibile riscontrare numerosi nomi di forti oggi scomparsi, specialmente in seguito agli interventi di costruzione del canale.

- 1524_ Camino Real
- 1597_ Da Panama a Portobelo
- XVII_ Camino D Cruces
- XVII_ Da Nombre de Dios a Portobelo
- XVII_ Da Panama Viejo alla nuova Panama

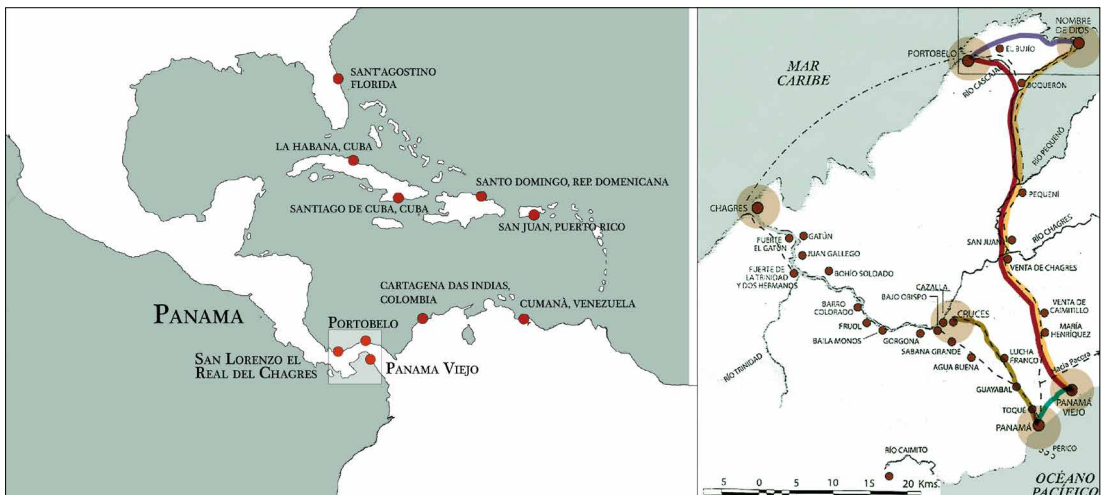


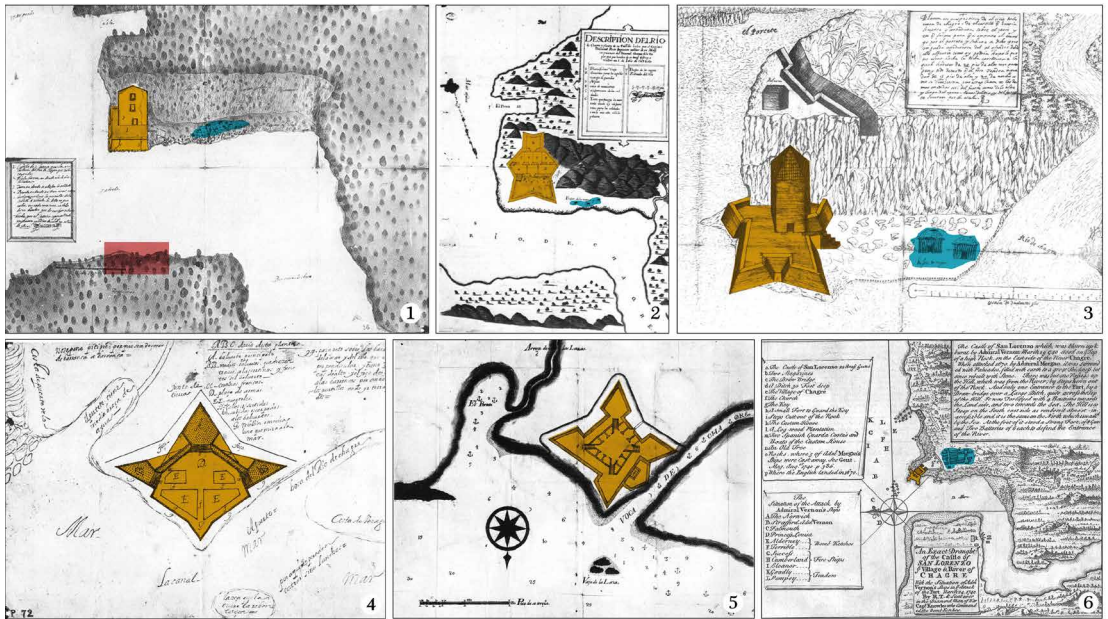
Fig. 2.1
Tracce del
cammino
cubierto
progettato da Bat-
tista Antonelli
e mantenuto
nel progetto di
Hernandez.

na fino al 1645, soggetta a continui saccheggi da parte di pirati e di bucanieri. Nel 1656 la flotta inglese perlustrò le coste panamensi con l'obiettivo di esaminare l'efficacia del sistema difensivo alla foce del fiume Chagres, la via più rapida per raggiungere e conquistare la città di Panama. Il progetto di un nuovo forte per ostacolare il piano di attacco dell'Inghilterra fu affidato nel 1660 a Fernando Ibanez de la Riva Agüero che disegnò una pianta triangolare seguendo il gusto di fine XVI secolo, con uno dei tre baluardi rivolto verso Nord e gli altri due a Ovest ed Est. Il progetto racconta un'architettura più legata al tecnicismo rigoroso che ad una reale funzione difensiva e, valutato inefficace, fu sostituito con la proposta di Don Juan de Somovilla che, nell'anno successivo, predispose una pianta quadrangolare dalla conformazione di un ripido cubo regolare. Come è possibile osservare dalle cartografie storiche al lato del forte, che

Posizione in cui si doveva trovare la Batteria secondo il progetto di Antonelli

Cammino Cubierto





presidiava la foce del fiume, sorgeva anche un'importante città (anch'essa in parte fortificata) e un villaggio (indicato come case di pescatori) che si estendeva lungo le sponde della baia. La città di San Lorenzo, importante centro commerciale, è rimasta abitata fino all'inizio del XX secolo, quando la costruzione del Canale ha deviato il flusso navale dal lago Gatún alla baia dell'attuale Colon, seconda città per dimensione dello Stato di Panama. Al termine del canale di navigazione fluviale era presente una dogana, sul versante opposto al forte, così come altre batterie difensive andate distrutte. In seguito alla conquista di Portobelo nel 1688 il pirata Henry Morgan intraprese la prima spedizione in perlustrazione del Chagres. Le condizioni del forte al tempo erano talmente drammatiche da non permettere né l'alloggiamento dell'artiglieria di copertura né degli ambienti per la guarigione. Trovato terreno fertile all'attacco via mare, la seconda missione di Morgan, salpato dall'Isola di Santa Catalina nel 1671, vide l'espugnazione del Forte, impresa che costò la conquista della città di Panama per mano dello stesso Morgan. Nonostante un ulteriore tentativo di realizzare una fortificazione da parte della Corona Spagnola su un progetto del *Generale De Batalla* Don Luis Venegas Y Osorio, e dell'Ing. Ceballos Y Arce nel 1680, l'ultimo e devastante attacco Inglese avvenne nel 1739 per mano dell'ammiraglio Edward Vernon che, senza difficoltà, conquistò sia Portobello che il Forte del San Lorenzo del Chagres.

La ricostruzione del XVIII secolo e l'attuale condizione del Forte (SP)

In seguito alla conquista di Vernon, l'ingegnere Manuel Hernandez venne chiamato per intervenire con un progetto di ricostruzione del sistema difensivo della Baia di Portobello e della foce del Chagres. Per quest'ultimo

- In giallo è evidenziato il complesso del Castello del San Lorenzo nelle varie proposte e realizzazioni.
- In azzurro l'insediamento, presente fin dai primi progetti.
- In rosso la Dogana che, secondo i progetti di Battista Antonelli, avrebbe occupato il versante opposto alla foce del fiume, ma di cui non rimane alcuna traccia.

Fig. 2.2

- In alto da sinistra.
1. Disegno del 1620 di Cristóbal de Roda che mostra le lesioni presenti nella struttura realizzata da Battista Antonelli nel 1595.
 2. Descrizione del Rio del Chagres e pianta del suo Castello, 1626, dal progetto di Cristóbal de Roda.
 3. Pianta in prospettiva del 1637, progetto di Enriquez de Sotomayor.
 4. Progetto a pianta triangolare del 1660, opera di Don Fernando Ibáñez de la Riva Agüero.
 - 5 e 6. Progetto di Juan de Somovilla Tejada del 1667, ovvero la situazione del Castello al momento dell'attacco distruttivo di Vernon. (Archivio Generale de Indias, Sevilla. Sign. Mapas y Planos, Panamá. Tratta da J.M. Zapatero, Historia del Castillo San Lorenzo el Real de Chagres, Madrid, 1985).

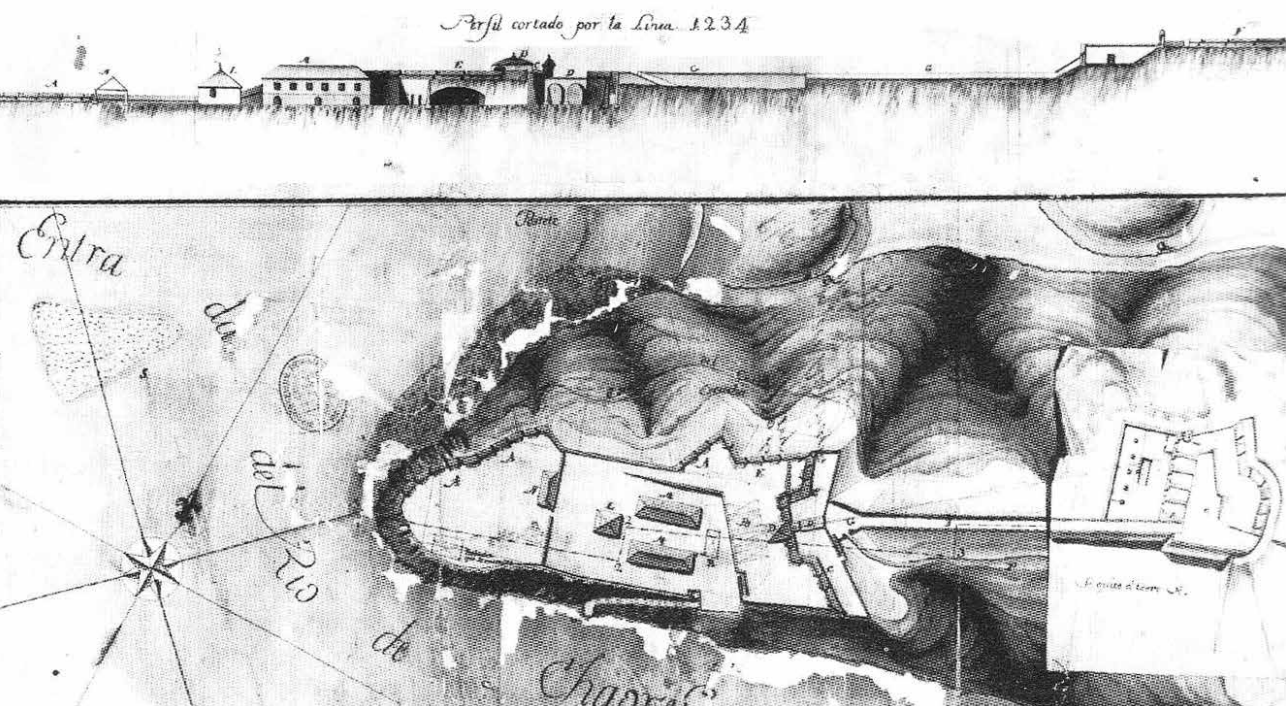
Fig. 3.1
A sinistra progetto di Manuel Hernandez del 1763. A destra sono evidenziate le componenti del contesto rilevato da Augustin Crame nel 1779. La Cartografia mostra un sistema funzionante, fuori e dentro le mura evidenziate in rosso.

nel 1763 elaborò il progetto di fortificazione del complesso monumentale visibile ancora oggi. Il progetto, diversamente dai precedenti, prevedeva una struttura irregolare, asimmetrica, che si adattasse alla conformazione geofisica del terreno favorendo con visuali preferenziali per la difesa. (Fig. 3.1)

Con il declino della vicina Portobello causato da una riduzione e il cambio delle rotte commerciali, nel XVIII secolo la foce del Chagres divenne il porto principale verso l'Atlantico. Il Castillo del San Lorenzo continuò ad essere utilizzato dagli spagnoli fino al 1821 quando, con l'indipendenza di Panama, il forte fu temporaneamente abbandonato per poi essere utilizzato dapprima come prigione dall'esercito Colombiano e poi come ufficio postale per la corrispondenza proveniente dall'Inghilterra. Con il completamento della ferrovia di Panama, avvenuto nel 1855, il traffico navale fu dirottato su Colón, capolinea Atlantico del *ferrocarril* e la città di San Lorenzo fu lentamente abbandonata, fino al completo trasferimento degli abitanti del 1916. La costruzione del Canale e la difesa della *Canal Zone* implicarono un diverso sfruttamento della foresta circostante da parte dell'esercito americano che fece realizzare, lungo la strada che conduce al San Lorenzo, Fort Sherman e numerose batterie che ancora oggi si trovano in stato di abbandono tornate sotto la giurisdizione panamense nel 1999, col trattato di Torrijos Carter.

Oggi la fortezza rispecchia l'immagine del progetto di Hernandez anche se a causa dell'incuria e fenomeni di erosione, nel tempo alcuni corpi di fabbrica sono andati persi o risultano, ad oggi, di difficile lettura. L'area della piattaforma bassa, nella quale si trovano la *Plaza de Armas*, l'edificio del Capitano e gli alloggi per le truppe, riporta numerosi danni per la sua esposizione verso Nord. (Fig. 3.2)

³ Altro elemento che testimonia la presenza di una struttura urbana compiuta è la palma monumentale, ancora oggi visibile, simbolo identificativo del centro storico di San Lorenzo. Numerosi villaggi di fondazione spagnola in queste regioni riportano l'utilizzo di una palma monumentale posta al centro della piazza principale quadripartita, in sostituzione del consueto pozzo o albero.



La piattaforma alta, che cinge la *Plaza de Armas*, si presenta invece in condizioni migliori, anche se il disegno delle tronere risulta poco definito per il crollo parziale del muro dell'hornaveque. Il fossato che circonda la struttura segue la forma del baluardo e del mediobaluardo che anticipano l'ingresso alla fortezza. La porta di ingresso, identificata da un volume cubico accessibile da un ponte levatoio, collega visivamente la piattaforma alta con la lunetta esterna, sulla quale era previsto un fuoco di copertura di 12 cannoni rivolti verso Sud. A poco più di 100 metri dal fossato che separa la lunetta dalla terraferma si trova un'altra struttura difensiva: la batteria alta, prevista per la difesa di terra che comprendeva alcuni edifici militari, di cui oggi non rimane traccia in elevato. La Batteria si collocava a fianco di quello che doveva essere un importante nucleo insediativo, ma di cui non resta memoria, se non per alcune mura difensive, che addentrandosi nella foresta appaiono visibili ma inglobate nelle radici delle mangrovie, testimonianza della volontà di Hernandez di fortificare l'intero nucleo abitato di San Lorenzo³. (Fig. 3.3)

Metodologia di indagine e modalità di acquisizione dei dati (FP)

L'identità storica e culturale assunta dal Forte San Lorenzo el Real del Chagres sul territorio del Centro America, che ha valso al sito la nomina UNESCO nel 1980, ha condizionato solo recentemente le amministrazioni locali nel promuovere azioni volte a tutelare un bene così prezioso attraverso operazioni di documentazione finalizzate a progetti di recupero del complesso. La collaborazione tra il Patronato de Portobelo y San Lorenzo e l'Università di Pavia⁴ ha contribuito a produrre materiale documentario per la comprensione dello stato dei luoghi. I rilievi eseguiti a negli anni 80 dal Asesor Histórico Militar Comandante Dr. Juan Manuel Zapatero e dall'Arch. Dr. Se-

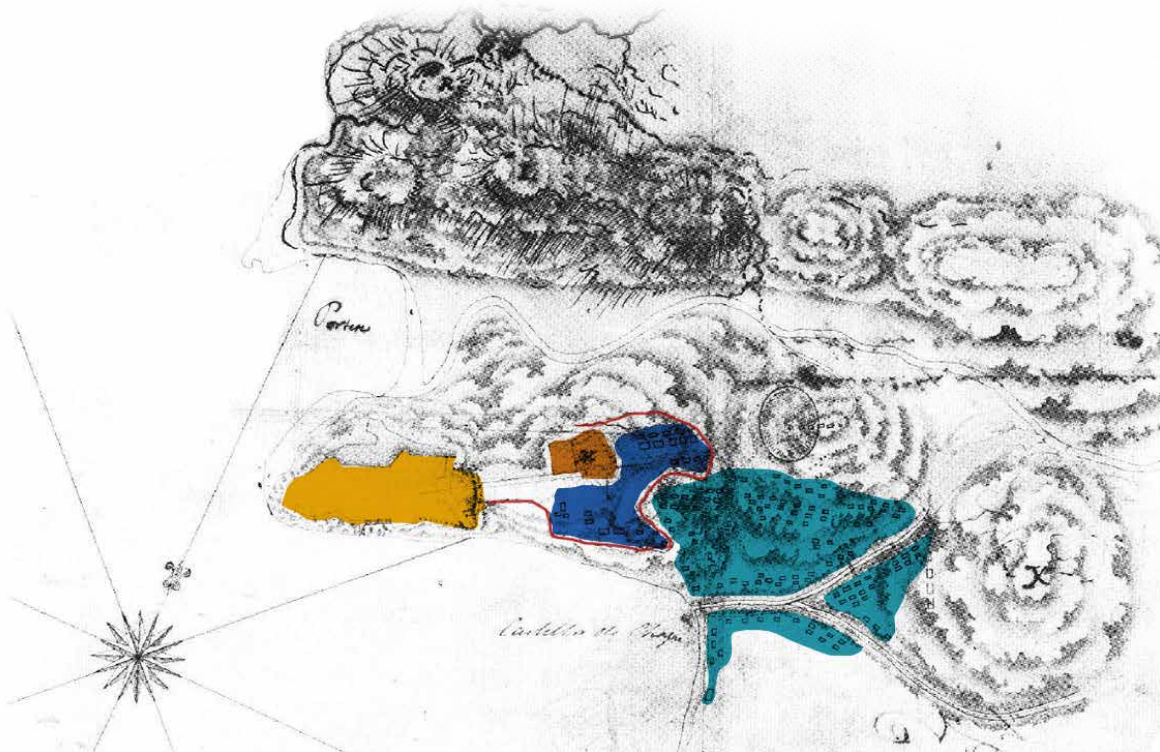
pagina seguente

Fig. 3.2

Panoramica dal Castello e fotografia aerea del sistema del parco Naturale di San Lorenzo del Chagres. Legenda degli elementi del complesso fortificato al 2013.

1. Rovine della città di San Lorenzo;
2. Resti delle abitazioni e area dei reperti in ceramica;
3. Batteria di Terra;
4. Ponte di accesso al primo fossato;
5. Ponte di accesso al forte e ingresso;
6. Ambienti coperti per le truppe;
7. Cisterna;
8. Piazzale d'armi e casa del Capitano e delle truppe;
9. Resti di batterie;
10. Batteria di testa.

⁴Le ricerche per la documentazione dei siti antonelliani a Panama sono state avviate nel 2010 con un progetto, di cui responsabile Sandro Parrinello, di collaborazione tra Università e Patronato de Portobelo y San Lorenzo. Il progetto ha riguardato prevalentemente il rilievo metrico delle strutture fortificate presenti nella baia di Portobelo e del Forte di San Lorenzo per la creazione di banche dati affidabili sul patrimonio. Missioni di ricerca sono state condotte fino al 2015.







bastián Panza, hanno prodotto un utile documento sullo stato di fatto del San Lorenzo, predisponendo le basi per un progetto di restauro preliminare avviato all'inizio degli anni '80 ma mai portato a termine. L'aggiornamento tecnologico e l'affidabilità raggiunta dalle attuali strumentazioni per il rilievo hanno motivato il Patronato ad avviare una nuova campagna d'indagine al fine di verificare l'effettivo stato di deterioramento dell'apparato lapideo, restaurato e non, per ricostruire l'identità storica del sito. (Fig. 4.1)

Durante la missione di ricerca del gennaio 2013 sono state effettuate escursioni e ricognizioni via mare e via terra al fine di verificare la presenza di ruderi o resti di eventuali insediamenti lungo le sponde e nell'entroterra della foresta che circonda il Rio Chagres. In particolare sono stati verificati quei siti che, nelle cartografie storiche, erano descritti come nuclei insediativi o sistemi difensivi. Le ricognizioni effettuate attorno all'area visitabile della fortezza hanno permesso di ottenere una maggior consapevolezza





circa la dimensione e la conformazione territoriale dello sprone roccioso. La morfologia del territorio con pendii scoscesi e la fitta vegetazione, assieme all'accessibilità degli ambienti e la complessità delle singole murature (per la maggior parte presentanti discontinuità superficiali per l'avanzata fase di deterioramento o il parziale crollo di alcune porzioni), hanno in qualche misura vincolato la scelta della strumentazione più efficace per acquisire dati di natura metrica che permettessero di restituire la forma e l'immagine del sistema architettonico.

Per ottenere un elevato livello di accuratezza metrica e colorimetrica di ciascun elemento è stata scelta una metodologia di acquisizione dati tramite strumento fotografico, sfruttando principi di acquisizione *image base*, capace di elaborare modelli tridimensionali altamente affidabili in grado di descrivere e trasmettere le specificità di ogni ambiente e di ciascuna superficie muraria. La fortezza è stata suddivisa in porzioni in modo da determinare una struttura organizzativa dei diversi ambienti utile alla costruzione di un archivio digitale, una banca dati ordinata 'a cascata' dal generale al particolare. La scomposizione per aree, per ambienti e per parametri murari, ha consentito di utilizzare al meglio la strumentazione di acquisizione e di ottenere modelli tridimensionali esaustivi di ciascuna superficie, capaci di descrivere nel dettaglio lo stato di conservazione e la conformazione delle singole porzioni rilevate. (Fig. 4.2)

Al rilievo *structure from motion* è stata affiancata una campagna topografica condotta per elaborare una nuvola di punti sufficientemente descrittiva dell'intero complesso. Il rilievo topografico è stato impiegato per referenziare rispetto ad un'unica terna cartesiana i singoli modelli provenienti dalle sequenze fotografiche, stabilendo una struttura generale dalla quale organizzare la produzione degli elaborati specifici relativi a ciascun ambiente. (Fig. 4.3) (Fig. 4.4)

Il modello tridimensionale ottenuto allo sviluppo di tale metodologia ha garantito molteplici output nel progetto di documentazione, sia circa la

pagina a fronte

Fig. 3-3

In alto una vista panoramica verso Sud. A sinistra si intravede la Batteria di Terra, dietro alla quale sono stati ritrovati resti di mura difensive lungo il perimetro dell'insediamento di San Lorenzo. Addentrandosi nella foresta è possibile rinvenire tracce dei resti della città: al lato di un canale nel quale passa un ruscello che conduce alla baia indicata come "Portete" nelle cartografie storiche. Sul lato destro si apre la spianata davanti alla fortezza, sulla quale è possibile riconoscere alcune tracce del villaggio: sono presenti fondazioni di 4 edifici di piccole dimensioni ed è possibile individuare sul versante che scende a picco sul mare, resti di ceramiche e cocci.

Fig. 4.1

Immagini a confronto tra la vecchia catalogazione, prima dell'intervento di restauro degli anni 80' e il nuovo progetto di documentazione delle superfici murarie.

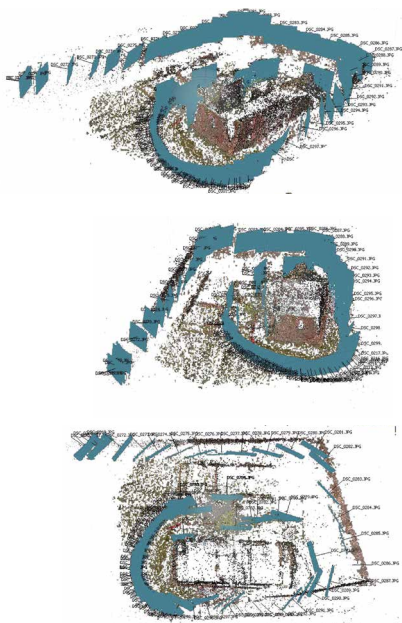


comprensione delle relazioni esistenti tra i diversi elementi costruttivi, sia circa la produzione di apparati descrittivi per la conservazione dell'immagine e lo sviluppo di progetti di restauro virtuale. A verifica della bontà del rilievo condotto nel 2013, sono state poi eseguite nel 2015 scansioni laser utilizzate per definire metodologicamente *workflow* più efficaci in termini di comparazione del dato fotogrammetrico precedentemente ottenuto. (Fig. 4.5) (Fig. 4.6)

Analisi dello stato di conservazione del complesso e progetto di recupero (FP)

Fine ultimo dell'operazione di documentazione del San Lorenzo è stata la produzione di elaborati capaci di descrivere accuratamente lo stato di fatto dell'opera architettonica, corpus documentario fondamentale e irrinunciabile alla programmazione delle operazioni di salvaguardia, restauro e manutenzione dei paramenti murari.

L'operazione è stata resa possibile dall'utilizzo di modelli fotogrammetrici *High Poly*, capaci di mantenere inalterate le caratteristiche di struttura e di qualità del dato emerso dalla campagna fotografica. La metodologia di indagine e acquisizione fotogrammetrica ha previsto un lungo processo di elaborazione dati, al fine di dotare ogni modello delle informazioni necessarie ad una corretta lettura dello stato di conservazione di ogni unità muraria. Per consentire che il modello potesse essere un valido strumento di gestione dei dati digitali, interrogabile nel tempo per rispondere alle necessità di monitoraggio e di proposte di recupero delle superfici murarie, ne è stata prevista la fruizione su piattaforma virtuale, sia da tecnici





e restauratori sia da utenti non necessariamente specializzati nel settore. Il modello fotogrammetrico della Fortezza ha consentito di ottenere una serie di elaborati bidimensionali sulla base dei quali sono state redatte carte tematiche relative allo stato di conservazione del manufatto. Leggere i degradi nelle tre dimensioni invece che negli elaborati tradizionali 2D ha facilitato la loro identificazione, aiutando a comprenderne le cause e le implicazioni sull'intera superficie della pietra invece che sul solo piano frontale. (Fig. 5.1) (Fig. 5.2)

L'elaborazione fotogrammetrica 3D di ciascuna porzione di muratura ha generato un ambiente tridimensionale nel quale le informazioni non solo si riferiscono all'attuale conformazione morfologica della struttura, ma consentono di visualizzare la componente colorimetrica di ciascun punto o micro porzione della superficie lapidea incrementando il contenuto informativo con alcuni degradi non visibili dalla sola visualizzazione poligonale del modello o dalla nuvola di punti ottenuta da rilevamenti laser scanner (come ad esempio le alterazioni cromatiche, le macchie o le incrostazioni).

Il sistema così ottenuto si configura come un prodotto ad elevate potenzialità nell'ambito del restauro: poter intervenire direttamente nelle tre dimensioni non solamente riproducendo la forma astratta della porzione di paramento mancante, ma imitandola attraverso la riproposizione della stessa geometria irregolare della pietra ottenuta da sistemi di *reverse modeling*, consente di proiettare l'intervento sul manufatto verso quello che ormai sta diventando un processo che si esplica interamente nell'ambito del virtuale. (Fig. 5.3)

La questione della rappresentazione virtuale, ancora poco utilizzata nei settori della diagnostica e del restauro architettonico, offre invece molti spunti di ricerca sul tema della conservazione attraverso processi 'non invasivi'. (Fig. 5.4)

La digitalizzazione del sistema architettonico consente di testare le operazioni previste, la qualità degli interventi ed infine l'impatto visivo che condizionerà o meno l'immagine del manufatto a seconda degli interventi progettuali programmati. Nel progetto di restauro virtuale della fortezza la metodologia di acquisizione e post-produzione adottata ha promosso un sistema di recupero sperimentale non invasivo, basato sulla ricostru-

Fig. 4.2
Il rilevamento dei ruderi posti nella Plaza de Armas. In blu la sequenza fotografica per l'ottenimento del modello *structure from motion*.

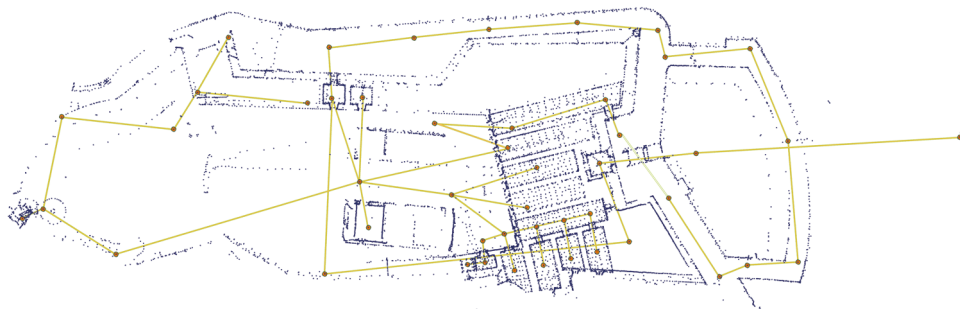


Fig. 4.3
Il prodotto del rilievo topografico in vista planimetrica, con evidenziati in rosso le posizioni di stazione, in giallo il progetto di acquisizione del complesso e in blu i punti acquisiti da ciascuna stazione.

Fig. 4.4
Georeferenziazione dei singoli modelli *structure from motion* al sistema generale ottenuto da rilevamento topografico.

zione digitale degli elementi costruttivi. Alcune macrostrutture che presentano porzioni mancanti sono state digitalmente integrate con microstrutture dello stesso materiale (estrapolato da superfici che si presentavano in buono stato conservativo), per riproporre l'ideale conformazione geometrica e colorimetrica dell'elemento all'interno della struttura nella quale originariamente veniva configurato. L'accuratezza del dettaglio morfologico dell'elemento ricostruito e la sua collocazione all'interno della struttura può inoltre contribuire a limitare eventuali interpretazioni della messa in opera durante le fasi di cantiere.

Allo stesso tempo questo tipo di operazione può essere utilizzata per promuovere lo sviluppo di sistemi di navigazione in remoto, ovvero di esplorazione del sito mediante l'utilizzo di avatar tramite i quali fruire lo spazio virtuale interattivo del modello virtuale. All'interno del museo virtuale entrano a far parte informazioni di vario genere: alla ricostruzione digitale

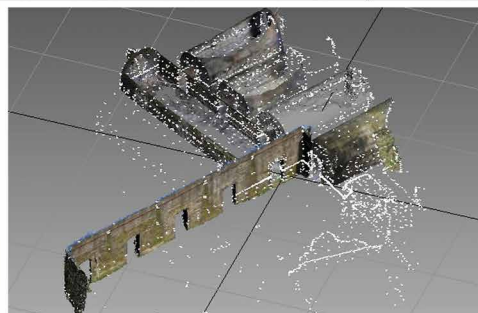
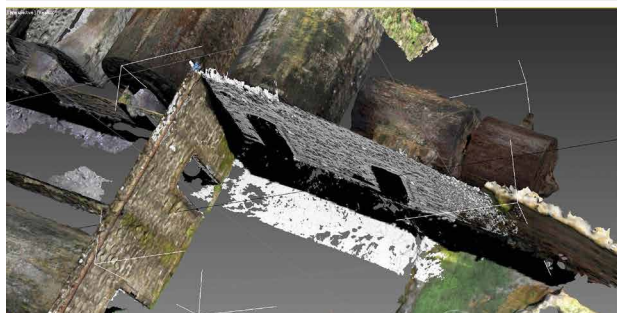




Fig. 4.5
Sovrapposizione del rilievo effettuato nel 1980 (in bianco) con il rilievo topografico e fotogrammetrico eseguito nel Gennaio 2013 (elaborato materico). Le differenze più rilevanti del prodotto più recente con quello precedente sono evidenziate dalle aree in giallo, che mostrano sostanziali traslazioni di volumi che influiscono sulla qualità del progetto di recupero del manufatto.

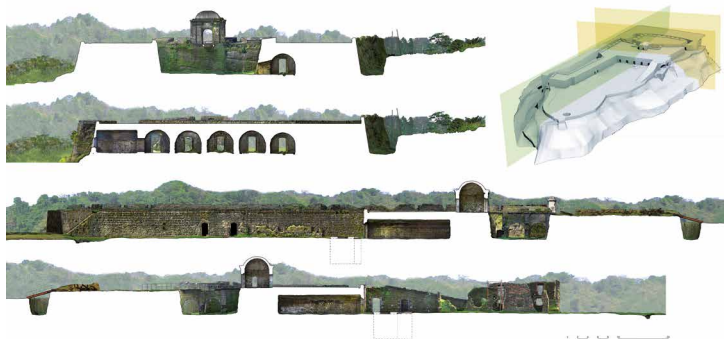


Fig. 4.6
Alcune sezioni ambientali del complesso fortificato, ottenute elaborando i dati provenienti dal rilievo integrato tra metodologia topografica e metodologia *structure from motion*.

delle porzioni del forte si aggiunge la possibilità di realizzare simulazioni di trascorsi storici, trasformando la piattaforma interattiva in una macchina del tempo con la quale poter visitare la fortezza nelle diverse epoche e ritrovare le tracce della storia e delle strutture architettoniche andate perdute. (Fig. 5.5) (Fig. 5.6)

Conclusioni (SP)

L'esperienza descritta è parte di un progetto di ricerca teso a sperimentare, su differenti contesti architettonici, l'applicazione della metodologia *structure from motion* per la creazione e lo sviluppo di banche dati affidabili sul patrimonio. La gestione dei dati provenienti da campagne di rilevamento estensive e l'organizzazione delle informazioni per costruire strumenti utili alla programmazione degli interventi di recupero, di manutenzione, o per la creazione di piani di tutela del patrimonio attraverso metodologie integrate di analisi che sfruttano la fotogrammetria, rientrano tra le attività previste dal progetto. Il disegno e la strutturazione aprioristica di un sistema di discretizzazione del dato, per ridurre e gestire la complessità non solo morfologica del contesto reale, produce un modello-struttura dal quale attingere le indicazioni per generare un sistema di catalogazione e archiviazione dei dati e degli elementi costituenti il manufatto. La lettura dello spazio reale e la sua discretizzazione in elementi finiti secondo una gerarchizzazione critica dello spazio consente di riflettere sul come le informazioni vengono disposte ed elaborate dal rilevatore, permettendo

Fig. 5.1
Legenda dei
degradi di un lato
del ponte che
consente l'accesso
all'hornaveque della
Fortezza.

pagina a fianco

Fig. 5.2
Abaco dei degradi.

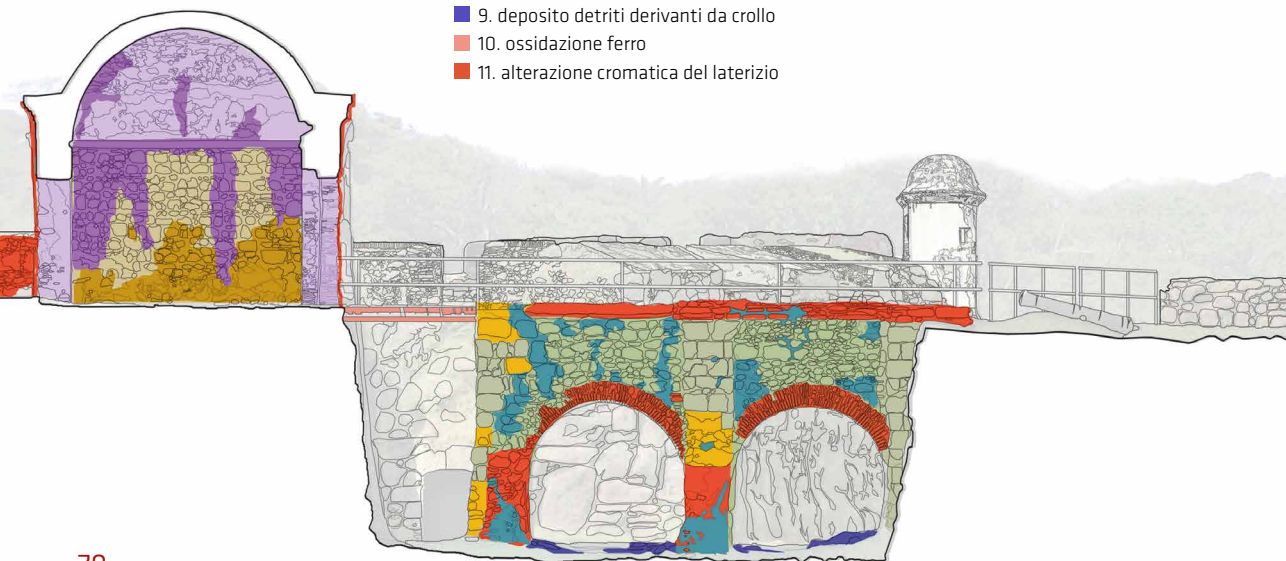
di sperimentare la validità dei modelli rappresentativi, tridimensionali e non, per lo sviluppo di sistemi efficaci di fruizione del dato. Attraverso il rilievo digitale l'acquisizione dei dati produce una mole di informazioni che possono generare numerosi prodotti per la valorizzazione, gestione e sviluppo di ambienti complessi. Tra strumenti rappresentativi per il restauro e modelli per la promozione dell'immagine esiste un divario funzionale la cui principale lacuna è riscontrabile nell'incapacità dei modelli 3D di mantenere un certo grado di affidabilità metrica e di capacità gestionale delle informazioni necessarie all'interrogazione quantitativa per la produzione di computi e, più in generale, per la gestione del processo di intervento. Al contempo gli strumenti tridimensionali consentono di sviluppare il restauro in forma virtuale permettendo valutazioni comparative sulle diverse soluzioni possibili. I modelli *reality based*, se opportunamente costruiti, acquistano la valenza di strumenti di comunicazione del progetto di restauro interfacciandosi con sistemi parametrici e proiettando il disegno e la rappresentazione del progetto verso la definizione di banche dati dinamiche nelle quali raccogliere il passato, il presente e il futuro del manufatto edilizio.

DEGRADI INTERNI

- 1. deposito superficiale
- 2. macchie
- 3. incrostazione e polverizzazione
- 4. distacco intonaco

DEGRADI ESTERNI

- 5. mancanza/ perdita dovuta a crollo della struttura
- 6. presenza di vegetazione
- 7. avanzata erosione e distacco materiale lapideo
- 8. lieve erosione materiale lapideo
- 9. deposito detriti derivanti da crollo
- 10. ossidazione ferro
- 11. alterazione cromatica del laterizio



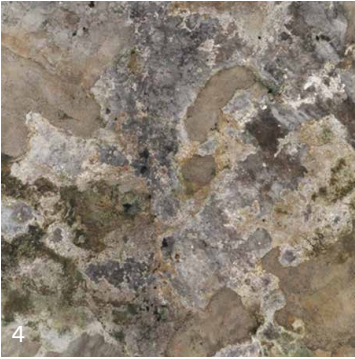
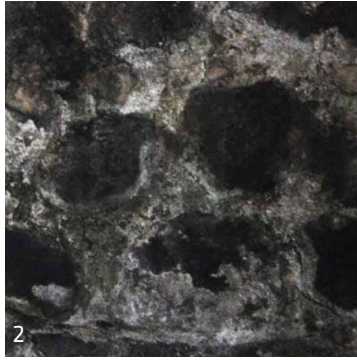
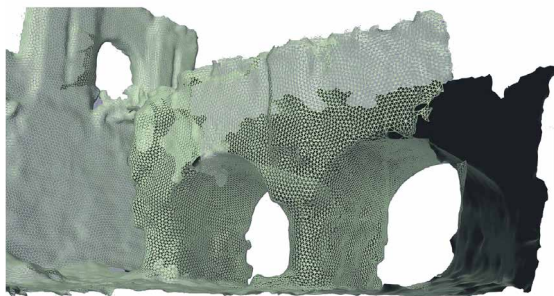


Fig. 5.3

Dettaglio morfologico del modello fotogrammetrico, dal quale risulta evidente la capacità della strumentazione utilizzata di descrivere lo stato di conservazione del paramento murario. Alla struttura ad altissimo dettaglio *High Poly* viene associata la corrispondente componente materica *texture*, attraverso la quale è possibile avviare l'indagine conoscitiva del manufatto e predisporre il progetto di recupero e ricostruzione morfologica.



pagina a fronte

Fig. 5.4

Progetto di ricostruzione morfologica mediante *Reverse Engineering Modeling* applicata ai modelli ottenuti da rilevamento fotogrammetrico.

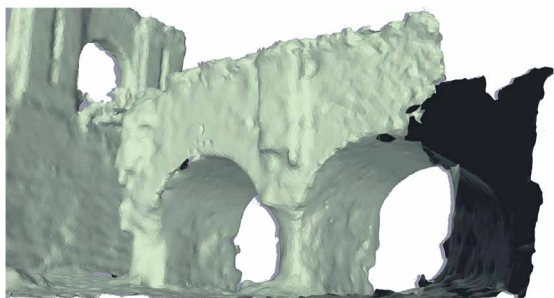


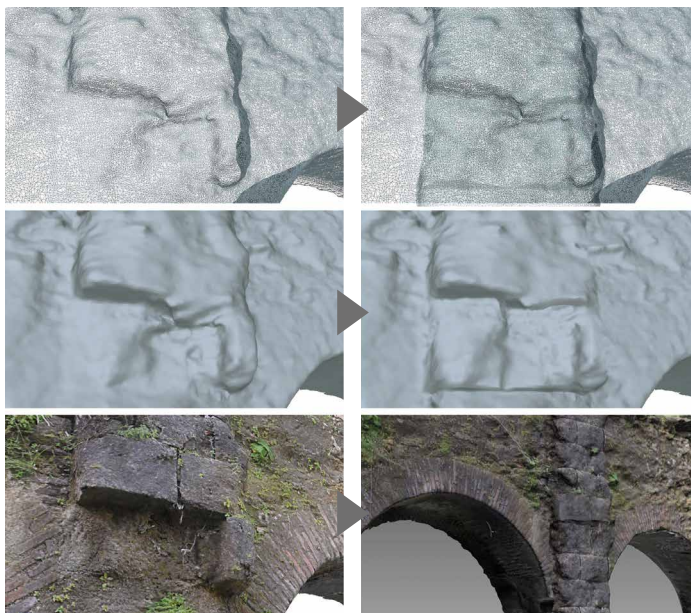
Fig. 5.5

Vista della nuvola di punti ottenuta con metodologia di acquisizione dati mediante strumentazione laser scanner. La scansione è stata eseguita un anno dopo la missione di ricerca (2014) al fine di verificare l'effettiva corrispondenza tra il modello fotogrammetrico e il modello laser scanner, metricamente più affidabile. Alla maggiore affidabilità morfologica va però corrisposto minor efficacia nella restituzione cromatica, per la quale viene preferito l'uso della fotografia, fondamentale strumento per la diagnostica e il restauro del manufatto edilizio.



Fig. 5.6

Vista del modello 3D per il ricostruzione virtuale del ponte di accesso all'hornaveque. Gli elementi architettonici che presentavano porzioni mancanti o deformazioni morfologiche sono stati reintegrati nella struttura utilizzando porzioni del modello mesh ottenute dall'acquisizione fotografica. L'aspetto del modello risulta omogeneo, senza mostrare differenza tra i volumi aggiunti e quelli esistenti, nella volontà di ristabilire l'originale immagine del manufatto.





Bibliografia

Benedetti B., Gaiani M., Remondino F. (a cura di) 2009. *Modelli digitali 3D in archeologia: il caso di Pompei*, Edizioni della Normale, Pisa.

Bertocci S., Bini M. 2012. *Manuale di rilievo architettonico ed urbano*, Città Studi Edizioni, De Agostini Scuola SpA, Novara.

Bertocci S., Parrinello S. 2014. *UNESCO World Heritage List, Digital Survey and Documentation of the Archaeological and Architectural sites*. Edifir Edizioni. Firenze.

De Luca L. 2011. *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*, Dario Flacovio Editore, Palermo.

Gaiani M. (a cura di) 2015. *I portici di Bologna, Architettura, Modelli 3D e ricerche tecnologiche*, Bononia University Press, Bologna.

Merlo A., Sánchez Belenguer C., Vendrell Vidal E., Fantini F., and Aliperta A. 2013. *3D Model visualization enhancements in real-time game engines*. In Boehm J., Remondino F., Kersten T., Fuse T., Gonzalez-Aguile D. (a cura di), *3D-ARCH 2013 – 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, Trento, Italy. pp. 181-188.

Parrinello S. 2013. *La rotta degli Antonelli: documentazione e valorizzazione di una rete di siti UNESCO in Centro America*. In Conte A., Filippa M., *Patrimoni e Siti UNESCO. Memoria, misura e armonia*, Gangemi Editore, Matera. pp. 779-786.

Parrinello S., Picchio F. 2013. *Dalla fotografia digitale al modello 3D dell'architettura storica*, in Rodriguez-Navarro P. (a cura di), *Disegnare con la fotografia Digitale*. Vol. 6, no. 12. pp. X / 1-14.

Parrinello S., Picchio F. 2015. *The complex of San Lorenzo del Chagres in Panama: historical development and survey project for the documentation of the Caribbean fortress*, in Rodriguez-Navarro P. (a cura di), *FORTMED2015 - International Conference on Modern Age Fortifications of the Western Mediterranean coast*, Valencia. pp. 265-272.

Rodriguez-Navarro P. 2012. *Automated digital photogrammetry versus the system based on active 3D sensors*. in Revista EGA, no. 20, Anno 17, Valencia. pp. 100-111.

Zapatero J.M. 1985. *Historia del Castillo San Lorenzo el Real del Chagres*, Ministerio de Obras publicas y urbanismo, Ministerio de Defensa Servicio Historico Militar, Madrid.