

Procedure integrate di analisi e rilievo dell'Arco di Traiano a Benevento per il restauro e la valorizzazione

Marcello Balzani

Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Ferrara

pagina a fronte

Fig. 1.1
Vista di
dettaglio
dell'apparato
decorativo
dell'Arco di
Traiano a
Benevento (foto:
N. Santopuoli)

Abstract

During restoration works carried out under the direction of the Archaeological Superintendence of Salerno, Avellino and Benevento, a three-dimensional survey was carried out aimed at the documentation of performed restoration works, setting-up for museum exhibitions and the monitoring of the Arco di Traiano in Benevento. The potentialities of 3D documentation are wide-ranging and not only limited to the cataloguing, but aimed at different kind of development: analysis of details, planning and structuring of restoration and conservation works, 3D printing to realize scaled copies without plaster cast operations, mapping of the state of conservation. The 3D model becomes a tool of knowledge and analysis, the use of which is expected to grow exponentially in the coming years, also in relation to the increase in computing power and graphical display of devices such as notebooks, tablets, smartphones and dissemination of "broadband" for the interconnection of data transmission.

Introduzione

La ricerca inerente al rilievo avanzato, negli ultimi quindici anni, si è focalizzata sullo sviluppo e la sperimentazione di tecnologie informatiche che mettano a disposizione degli operatori del settore dei Beni Culturali nuovi strumenti di conoscenza e analisi del patrimonio storico e artistico. Su questa logica motori di modellazione digitale/virtuale, sistemi di acquisizione tridimensionale, stampanti 3D, spettrofotometri, camere fotografiche, ecc. sono stati gli strumenti tecnologici su cui molti centri di ricerca hanno sviluppato metodiche, processi e strumenti software specifici per il settore del Cultural Heritage (Balzani et al., 2004; Scopigno, 2006). Un modello tridimensionale coerente (ottenuto da sistemi di scansione 3D) può essere considerato come una rappresentazione digitale fedele (per la sua finalità) e misurabile dell'oggetto, ottenuta integrando le caratteristiche di morfologia, colore, stato conservativo.

Le potenzialità della documentazione tridimensionale sono molteplici e non si limitano alla sola catalogazione ma a diversi gradi di sviluppo: l'analisi di dettagli, la pianificazione e la strutturazione degli interventi di re-



pagina a fronte

Fig. 1.2

L'Arco di Traiano nel suo contesto urbano (foto: N. Santopuoli)

stauro e conservazione, la stampa 3D di parti o di copie in scala senza operazioni di calco, la mappatura dello stato di degrado (De Luca et al., 2011). Il modello diventa uno strumento di conoscenza e analisi, il cui utilizzo è destinato a crescere nei prossimi anni in maniera esponenziale, anche in relazione all'aumento delle capacità di calcolo e di visualizzazione grafica di *device* quali notebook, tablet, smartphone e alla diffusione della "banda larga" per la trasmissione dati di interconnessione; inoltre, una maggiore diffusione delle tecniche di utilizzo del dato tridimensionale sarà generata dalla prevedibile semplificazione delle procedure di creazione e gestione dei modelli tridimensionali e dalla riduzione del costo dei sistemi di acquisizione e modellazione come già l'Unione Europea definisce e incentiva in relazione ai progetti finanziati tra imprese e centri di ricerca¹.

L'Arco di Traiano di Benevento, negli ultimi quindici anni è stato oggetto di particolari attenzioni conservative e di sperimentazione tecnologica, che lo rendono un caso interessante soprattutto per un confronto sull'evoluzione dei processi di analisi, documentazione e di intervento. I restauri del 2003 hanno cercato di risolvere i degradi dovuti all'aggressività dell'ambiente urbano. L'applicazione di tecnologie di indagine successive hanno avviato un primo monitoraggio e soprattutto hanno cercato di innescare un processo di valorizzazione museale, ma i successivi e progredienti segnali di degrado hanno condotto a nuovi scenari di indagine e di intervento. Nel 2014 il problema delle infiltrazioni d'acqua piovana, che continuavano a danneggiare la struttura, si è fatto più evidente e la Soprintendenza Archeologica ha deciso di proteggere il monumento con una copertura temporanea. Questo 'ombrello' è stato necessario per permettere la valutazione dell'entità del danno e per iniziare nuove operazioni di restauro e messa in sicurezza, anche se la comunità di Benevento non ha accettato di buon grado l'impatto visivo della copertura che avvolge il suo monumento simbolo. I lavori sono terminati nel 2015 riportando l'Arco di Traiano alla 'normalità estetica' in tempo per festeggiare i suoi 1900 anni. Le celebrazioni hanno costituito anche un'opportunità per aprire un confronto critico. La Soprintendenza, in collaborazione con le Università di Salerno e del Sannio, stanno individuando un nuovo percorso di mappatura digitale, in cui l'interdisciplinarietà e un approccio ICT, permetteranno di individuare livelli di rischio e modalità di intervento.

I livelli e le scale di approfondimento e di lettura documentale e conservativa

Il progetto relativo all'integrazione di procedure di rilievo e analisi diagnostiche e documentali per il restauro e la valorizzazione dell'Arco di Traiano a Benevento si attesta in un filone di ricerca e sperimentazioni che il Centro dipartimentale DIAPReM sviluppa da quasi due decenni nel campo dei Beni Culturali. I diversi ambiti applicativi che hanno visto l'utilizzo di molteplici metodologie di rilievo integrato, al passo con le rapide innovazioni tecnologiche che caratterizzano gli strumenti di misura, hanno consentito di sperimentare di volta in volta nuove frontiere: strumentazioni sempre

¹ Si vedano i programmi di ricerca finanziati nell'ambito dei programmi FP7 e Horizon 2020 in relazione all'utilizzo di tecnologie informatiche avanzate per la conservazione, la catalogazione, la divulgazione e lo studio del Patrimonio Culturale tangibile e intangibile. Tra i principali si citano la piattaforma Europea, <<http://www.european.eu>>, il progetto CHES - Cultural Heritage Experiences through Socio-personal interactions and Storytelling, <<http://www.chesexperience.eu>>, il progetto 3D-COFORM - Tools & Expertise for 3D Collection Formation, <<http://www.3d-coform.eu>>, il progetto V-MusT.net - Virtual Museum Transnational Network, <<http://www.v-must.net/home>>, il progetto IMPACT-Improving Access to Text, <<http://www.impact-project.eu>> e il progetto EuChic - Cultural Heritage Identity Card, <<http://www.eu-chic.eu>>.



IMPERIAESAEPTIMAEINERVAEFILIO
NERVAEFILIIANOOPTIMOAVG
GERMANICODACORONEMAVTRIB
POTESTINOTIIMPATIIQVONSP
FORTISSIMOPRINCIPSENATVSPQR

Fig. 2.1
Vista superiore della
copertura
dell'Arco
(foto: N.
Santopuoli)

più precise e migliorate nelle caratteristiche di portabilità e leggerezza per agevolare il lavoro sul campo e sempre più focalizzate su automatismi che dovrebbero semplificare la fase di acquisizione e quella di post-processing dei dati di siti anche particolarmente complessi. Dispositivi che consentono di registrare in modo apparentemente 'semplice' caratteristiche metriche e morfologiche di qualsiasi contesto archeologico o architettonico; una semplificazione apparente e in ogni caso esclusivamente strumentale che non deve portare a una semplificazione concettuale o metodologica del progetto di rilievo da eseguire (Angelini e Gabrielli, 2013).

Ecco quindi come, un rilievo tridimensionale eseguito al termine dei restauri del 2002 sotto la direzione della Soprintendenza Archeologica per le Province di Salerno, Avellino e Benevento, e finalizzato alla documentazione degli interventi conservativi realizzati, all'allestimento museale e al monitoraggio dell'Arco di Traiano Benevento, entra all'interno di un protocollo per l'ottimizzazione della documentazione 3D del patrimonio culturale, offrendo la possibilità di valutare criticamente la qualità del dato di rilievo e le potenzialità di valorizzazione.

Il potenziale documentale di un bene culturale, infatti, scaturisce anche dalla sua storia, dalla ricchezza di informazione e soprattutto dalla sua capacità comunicativa non solo di porsi come valore storico e patrimoniale ma anche come sommatoria relazionata ed integrata di significati (storici, artistici, architettonici, urbanistici, sociali) che spesso devono essere tradotti per essere decodificati. L'Arco di Traiano di Benevento, eretto per celebrare la nuova via che porta a Brindisi voluta dall'imperatore, è un perfetto esempio di questa 'complessità stratificata', in quanto permette di acquisire il bene culturale immediatamente come oggetto spaziale, in una real-



tà contestuale definita seppur modificata nel tempo nelle sue diverse scale (geografica, territoriale, urbana), e di passare poi a correlare e comprendere le relazioni con i livelli scultorei che si innestano e articolano a scala architettonica (una semplice tipologia ad unico fornice), attraverso un apparato scultoreo ricco di decorazioni e iconografie che lo rendono uno dei più straordinari monumenti romani.

Le motivazioni dell'erezione dell'Arco, voluto per ordine del Senato tra il 114 e il 120 d.C., collocano questa struttura non solo in un 'versante motivazionale storico' (celebrare l'imperatore Traiano) ma anche ad una scala territoriale (se non geografica) definita dalla politica imperiale che entra nella fase di pacificazione e consolidamento dei confini e delle province dopo la fase espansionistica. La 'scala territoriale' trova, inoltre, una motivazione proprio nella scelta infrastrutturale romana, decisa strategicamente da Traiano nel 109, quando l'imperatore fa costruire la via di collegamento con Brindisi (Minucia Traiana). L'Arco di Traiano a Benevento appare oggi anche come un 'perno storico' dai molteplici significati sovrapposti perché permette di connettere la dimensione territoriale (si abbrevia il vecchio tracciato della via Appia) con quella storico-politica (si favorisce l'espansione dei commerci con l'oriente). Ma non solo. Se ci si avvicina a scala urbana, l'Arco consente ancora di leggere e tradurre le conseguenze e le trasformazioni che si sono determinate a Benevento (lo spostamento del centro urbano, sede del potere politico e amministrativo, nella parte alta della città ai piedi dell'Arco, a cui viene attribuito non toponimo significativo: *Regio viae novae*). L'Arco poi contiene anche una 'proiezione temporale' nel futuro prossimo rispetto a Traiano in quanto gli ultimi tre anni della costruzione cadono sotto Adriano, che viene anch'esso celebrato in due pannelli dell'attico come suo successore. E quest'integrazione offre la possibilità, per chi si accosta all'Arco oggi, di citare Traiano ed Adriano insieme, come creatori di quell'arte imperiale, che si distacca definitivamente dalla visione culturale ellenistica per fondare un 'mondo nuovo', compiutamente romano in cui anche una nuova concezione etico-politica dell'impero e della società doveva essere rappresentata, celebrata e ovunque disseminata. Un'arte identificabile, che doveva celebrare l'impero attraverso una valorizzazione 'estetico-materiale' unica e riconoscibile. Ecco perché l'Arco di Traiano di Benevento permette di 'entrare' nella complessità scultorea attraverso i livelli precedenti di lettura (e di documentazione), interpretando ricchezza e finezza della lavorazione e caratteri stilistici in un rapporto integrato ed unitario (che vede gli studiosi concordi sull'attribuzione autoriale al 'Maestro dell'Arco di Traiano' con le maestranze specializzate della sua officina).

L'Arco consente poi di definire dei livelli di lettura anche 'materiale', in cui l'architettura si compone con grande coerenza dalla dimensione tipologica a quella del dettaglio: il calcare definisce il basamento liscio, il marmo pario riveste tutto l'Arco, il marmo di Carrara ricopre la struttura di blocchi di calcare locale e potenzia l'espressività delle narrazioni scultoree.

Ugualmente l'Arco può essere compreso nella sua composizione stilisti-

Fig. 2.2-2.8
Particolari
del piccolo
fregio superiore,
fronte
est (foto: N.
Santopuoli)



co-architettonica: scandita da quattro semicolonne scanalate con basi atliche su stilobate e capitelli compositi, che sorreggono una trabeazione ionica con architrave tripartito, fregio continuo, (il famoso piccolo fregio con il corteo trionfale oggetto di un rilievo 3D di dettaglio) e cornice dentellata con mensole, che nel coronamento dell'attico perde le mensole.

Dalla dimensione materiale, a quella architettonica si passa poi all'importante 'narrazione storica', che parte dall'alto delle iscrizioni dedicatorie del Senato e del popolo (114 d.C.) in ciascuna facciata con pannelli affiancati scolpiti, per scendere sui due fronti dell'Arco (Tab. 1) e l'interno del fornice (Tab. 2), decorati da pannelli ad altorilievo e celebranti le opere e le imprese (Tab. 3): sono le vittorie, la vita dell'imperatore Traiano dalle guerre con i Daci alle storie romane. Mentre diverso è il valore che viene attribuito dagli storici al piccolo fregio, sorretto dall'ordine principale corinzio, in quanto non rappresenta solo il corteo trionfale dell'imperatore vittorioso che torna a Roma, ma anche una serie di rituali, strumenti, abiti, animali sacrificali e insegne che sono essenziali per comprendere la storia sociale romana e la gerarchia dei comportamenti in uno spaccato storico (attualizzabile dagli studiosi come in una 'cronaca scientifica'), che scorre, senza mai essere interrotto, lungo tutti i lati dell'Arco. Un valore compositivo ed iconografico non facilmente acquisibile dall'osservatore da terra in tutti i raffinati dettagli per l'altezza in cui è collocato.

A questo punto dopo la lettura storica di epoca aurea imperiale traiana, che mette in luce gli aspetti di fondazione e di realizzazione del monumento, i livelli di lettura e documentazione utilizzano la 'macchina del tempo' in un viaggio che scorre verso i nostri giorni. Ecco quindi prendere corpo i conflitti e le incomprensioni (in età medievale l'Arco viene trasformato in Porta Aurea, principale accesso delle mura beneventane e viene depredato delle iscrizioni in oro) mentre nei secoli a seguire si identifica maggiormente il valore storico che viene attribuito al monumento.

Un valore storico documentabile attraverso la rappresentazione da lato e i tentativi di conservazione e restauro dall'altro. Per quanto riguarda il ruolo della rappresentazione l'Arco diviene il soggetto di rilievi e disegni (Giuliano da Sangallo e Sebastiano Serlio), vedute (Gian Paolo Papini) e incisioni (Pierre Jacques Gaultier, Carlo Vanvitelli, Giuseppe Piermarini, Giovanni Battista Piranesi e Giovan Camillo Rossi), in un continuo stimolante confronto tra il disegno della morfologia architettonica e la riproduzione di pannelli e fregi.

Mentre la storia delle azioni conservative che si sono susseguite negli ultimi secoli sembrano già interpretare alcune problematiche del monumento giunto fino ai giorni nostri. La prima tettoia di protezione-restauro viene realizzata dall'architetto Giuseppe Valadier nel 1821-25, mentre il ritorno alla primigenia funzione di Arco celebrativo si deve a Pio IX che ne decreta l'isolamento nel 1854, realizzato definitivamente con l'area di rispetto solo nel 1894-99 (Parisi, 2007). In questo periodo si attuano anche i primi interventi di miglioramento strutturale e di ricostruzione di lacune di cornici. Negli anni Trenta del secolo scorso, con l'adozione del piano regio-

	Lato sud Opere e scene di pace a favore di Roma	Lato nord Opere nelle Provincie
Primo ordine pannello sinistro	“Traiano torna dalla Germania nel 99 d.C., dopo essere stato eletto imperatore”. Traiano si trova davanti alla Curia Iulia, simboleggiata da quattro colonne sul fondo, atteso dal Genius populi romani, da una rappresentanza del senato e da un cavaliere con una corona sulla cima dell’asta.	“Traiano, circondato da comites e littori, alla presenza di Giove Feretrio stringe il patto di pace con i capi dei germani nel 97 d.C.”.
Primo ordine pannello destro	“Il Praefectus Urbis invita Traiano, scortato da littori e cittadini, a reggere l’impero”	“Consolidamento del controllo sulle regioni danubiane” Traiano, seguito da togati e littori che giungono da destra, incontra l’Ercole di Gades, che tiene un cane al guinzaglio ed è circondato da due personaggi con corta tunica. Al centro, sul fondo, una protome equina.
Secondo ordine pannello sinistro	“Provvidenze di Traiano per i veterani” Traiano, seguito da due littori, distribuisce le terre ai veterani, presentati dalla Virtus, reggente il vessillo sormontato da cinque aquile, simbolo delle legioni romane e delle co-lonie Ulpie fondate sul Reno e sul Danubio.	“Riordinamento e rafforzamento dell’esercito” L’imperatore in tunica militare assiste personalmente al reclutamento dei provinciali, inseriti per la prima volta nell’esercito al posto degli italici. Honos in veste eroica, presenta a Traiano, circondato da littori, due giovani coscritti, uno di quali regge tra le mani un labaro (vessillo imperiale) e uno scettro.
Secondo ordine pannello destro	“Provvidenze di Traiano per il commercio” Traiano davanti al Foro Boario (sullo sfondo si trovano le statue di Apollo, Ercole e Por-tunno, protettori dell’area portuale) riceve da tre mercanti il ringraziamento per le provvidenze attuate a favore del commercio.	“Alimentatio Italiae” Alla dea Roma con corona turrata e con in mano un aratro, l’imperatore affida due fanciulli, alla presenza di Marte in armi e di Abbondanza con la cornucopia, mentre Indulgentia si trova alla destra del principe.
Attico pannello sinistro	“Ingresso di Traiano in Campidoglio” In primo piano la Triade Capitolina (Giove, tra Minerva e Giunone). Sullo sfondo Ercole, Bacco, Cerere e Mercurio.	(mitico) “Dei protettori delle terre danubiane e renane” Sono riuniti Bacco, Cerere, Diana e Silvano.
Attico pannello destro	“Due consoli rendono il decreto di concessione del trionfo dacico a Traiano” Traiano davanti al tempio di Marte (o di Giove Custos), riceve i due consoli provenienti dalla Porta Triumphalis, mentre la dea Roma gli indica il successore Adriano.	“Sottomissione della Mesopotamia (o della Dacia)” Davanti a Traiano, in tunica militare e a colloquio con L. Licinio Sura, sullo sfondo i littori, si prostra una donna (la provincia vinta), mentre sullo sfondo su di un ponte si allontana il futuro imperatore Adriano, in toga, con due suoi compagni. Agli angoli del pannello le personificazioni di due fiumi.
Pennacchi dell’archivolto in basso	“Geni delle stagioni con fiori e spighe”	
Pennacchi dell’archivolto in alto	“Personificazioni della Vittoria Augusta e della Fede Militare”	
Chiave di volta	“La dea Roma”	

Tabella 1

Temi dei pannelli narrativi dei fronti nord e sud dell’Arco (Fonte Soprintendenza ai Beni Archeologici delle Provincie di Salerno, Avellino e Benevento)



Interno del fornice: "Impegno di Traiano verso Benevento"	
Primo ordine pannello sinistro	"Inaugurazione della via Traiana." L'imperatore nelle vesti di Pontefice Massimo, circondato da sacerdoti e cittadini di rango, riceve una cassetta per aromi, mentre due vittimari alle sue spalle abbattano un vitello su di un'ara.
Primo ordine pannello destro	"Institutio alimentaria di Benevento del 101 d.C." Si tratta dell'aiuto concesso ai fanciulli bisognosi attraverso i proventi ricavati da mutui a basso interesse che lo stato stipulava con piccoli proprietari agricoli. Sullo sfondo di fasci littori ed alberi, Traiano, a sinistra, e quattro matrone (personificazione di Benevento e di altri tre municipi), assistono all'offerta degli alimenti ai coloni, recanti per mano o sulle spalle i loro figli. Essi si avvicinano e si allontanano da un tavolo dove un curator opera la distribuzione.
Intradosso	Imitazione di soffitto cassettonato con rosoni, con un pannello centrale raffigurante: "L'incoronazione di Traiano da parte della dea Vittoria"

Tabella 2
Pannelli decorativi delle fasce tra i pannelli, della chiave di volta e del fregio continuo (Fonte Soprintendenza ai Beni Archeologici delle Province di Salerno, Avellino e Benevento)

latore, continuano gli interventi di restauro e documentazione degli apparati scultorei, ma solo con i restauri del 1970-73, la Soprintendenza ai Monumenti della Campania, in accordo con la Soprintendenza per i beni archeologici per le province di Salerno, Avellino e Benevento, mettono in atto un primo restauro statico del monumento (Bisogno e Fusco Girard, 2004, pp. 278-280) e cominciano a comprendere come l'aggressione atmosferica e l'inquinamento dovuto allo sviluppo urbano e alle scelte ad esso connesse, richiedano interventi di pulitura e restauro adeguate e continue. Un passaggio concettuale e metodologico che viene affrontato con una sistematica mappatura delle superfici marmoree nel 1987 quando l'ICR, sotto la direzione di Gisella Capponi, segue i lavori di restauro affidati alla ditta Forcellino e alla Roma Consorzio, che continuano fino al 2002 ed oltre. In questi anni si rafforza la consapevolezza di quanto incidono stress fisico, esposizione, dilavazione, depositi induriti nel degrado delle superfici marmoree e di quanto risulti importante operare con diverse e sempre più appropriate tecnologie e metodologie di intervento con attenzione e sistematicità per attuare un vero e proprio programma conservativo e di tutela. Il rilievo prima (per definire il quadro di degrado e di consistenza del monumento) e dopo l'intervento conservativo (per possedere e descrivere un livello di confronto necessario al monitoraggio e al controllo) divengono per l'Arco di Traiano parti fondamentali del progetto di conservazione (Balzani e Santopuoli, 2004).

Il rilievo dell'Arco di Traiano all'interno del *Data Acquisition Protocol*

Nell'ottica di disporre di metodologie sempre più efficaci per la documentazione del patrimonio culturale attraverso strumenti di acquisizione tridimensionale e di aggiornare le linee di ricerca nella direzione tracciata anche dalla Commissione Europea tramite il programma Horizon 2020, che prevede l'uso e riuso di data digitali e di modelli esistenti, il rilievo integrato dell'Arco di Benevento costituisce un caso esemplare del ruolo che le ricostruzioni digitali stanno assumendo nella rappresentazione, analisi, conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale.

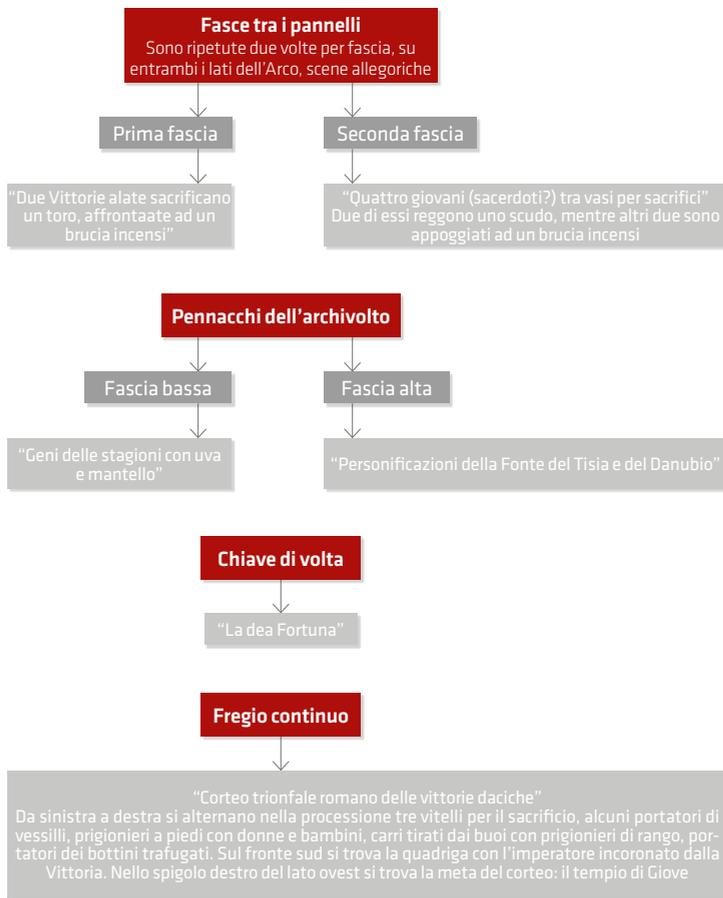


Tabella 3
Decorazioni ad altorilievo dell'interno del fornice (Fonte Soprintendenza ai Beni Archeologici delle Province di Salerno, Avellino e Benevento)

In questa direzione, è stato realizzato un protocollo per l'ottimizzazione della documentazione 3D del patrimonio culturale, dove la metodologia pone come prioritarie le caratteristiche/geometrie non convenzionali, uniche e complesse dell'heritage, evitando la "segmentazione" dei dati acquisiti (metrici, morfologici, diagnostici, ecc.) e facilitando l'accesso e l'utilizzo dei dati (archiviazione, gestione, riuso, integrazione nel tempo) attraverso un approccio inclusivo.

L'elaborazione del protocollo per l'avanzamento della gestione dei dati digitali finalizzati alla conoscenza è parte del progetto *INCEPTION - Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling*², finanziato dalla Commissione Europea (Horizon2020) e coordinato dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Ferrara.

L'elaborazione del *Data Acquisition Protocol* si colloca nell'ambito di una più ampia metodologia di documentazione del patrimonio culturale. Dal momento che ogni bene culturale è unico e richiede analisi e indagini "caso per caso", il protocollo è impostato come uno strumento innanzitutto metodologico e come linee guida flessibili considerando le specificità di ciascun sito e l'unicità del patrimonio culturale.

² Il progetto in corso di sviluppo è stato finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del Work Programme di Horizon 2020 Europe in a changing world – inclusive, innovative and reflective Societies (Call - Reflective Societies: Cultural Heritage and European Identities, Reflective-7-2014, Advanced 3D modelling for accessing and understanding European cultural assets), Grant agreement 665220. INCEPTION è sviluppato da un consorzio di quattordici partner provenienti da dieci paesi europei: oltre al Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Ferrara, i partner accademici sono l'Università di Lubiana (Slovenia), la National Technical University of Athens (Grecia), la Cyprus University of Technology (Cipro), l'Università di Zagabria (Croazia), i centri di ricerca Consorzio Futuro in Ricerca (Italia) e Cartif (Spagna). Le piccole e medie imprese comprendono: DEMO Consultants BV (Paesi Bassi), 3L Architects (Germania), Nemoris (Italia), RDF (Bulgaria), 13BIS Consulting (Francia), Z+F (Germania), Vision e Business Consultants (Grecia).

Il protocollo non fa riferimento esclusivamente a step metodologici da seguire durante le fasi di acquisizione dati, ma è relativo anche all'archiviazione e alla gestione dei dati, per l'aggiornamento dei rilievi eseguiti precedentemente e verso strategie di riuso di modelli esistenti. Il protocollo considera una vasta gamma di strumenti di acquisizione 3D; essendo, inoltre, gli strumenti di rilievo soggetti a continui aggiornamenti ed evoluzioni, il protocollo sarà continuamente aggiornato per recepire i progressi tecnologici del settore. In ogni caso, l'applicazione del protocollo garantisce uniformità e omogeneizzazione nell'acquisizione dei dati a seconda degli obiettivi e delle esigenze del progetto di rilievo (Balzani e Maietti, 2016). Il flusso di lavoro è stato suddiviso in otto fasi principali, che definiscono requisiti specifici e i relativi indicatori di attività: 1. Progetto di rilievo, 2. Sicurezza, 3. Requisiti nella risoluzione dei dati acquisiti, 4. Modalità di registrazione dei dati, 5. Controllo della rete topografica integrata, 6. Controllo della qualità, 7. Controllo e verifica dei dati, 8. Archiviazione dei dati.

Ogni step del flusso di lavoro deve essere inteso come una serie di domande a cui il tecnico incaricato di svolgere il rilievo deve rispondere al fine di perseguire una corretta acquisizione dei dati. Queste 'domande' diventano il sistema di misura per verificare i requisiti del rilievo, e la capacità di trovare la risposta giusta definisce il livello di qualità. Sulla base di questo presupposto, ogni singola domanda diventare un indicatore di attività che contribuisce a determinare una specifica graduatoria di valutazione.

Non tutti gli indicatori di attività sono sempre obbligatori: se nella campagna di rilievo solo il numero minimo di domande trova una risposta, la procedura di acquisizione sarà classificata nel range più basso. Viceversa, se ogni elemento è preso in considerazione, si otterrà il range più elevato.

In caso di procedure direttamente misurabili, lo specifico indicatore di attività definisce un intervallo di valori accettabili. Quando invece sono disponibili procedure alternative, il protocollo specifica la loro conformità con le categorie di valutazione. A tale scopo, esistono quattro categorie incrementali definite come segue:

B: È la categoria minima, destinata ad essere utilizzata per edifici molto semplici o per la creazione di modelli che non necessitano di un elevato grado di dettaglio, come ad esempio per ricostruzioni digitali da utilizzare per applicazioni di Realtà Virtuale e Realtà Aumentata e scopi di visualizzazione. In questo caso, il valore metrico del modello è subordinato a quello morfologico.

A: Questa categoria è finalizzata a progetti di documentazione in cui i dati metrici e morfologici sono equivalenti in termini di utilizzo del rilievo, che ha bisogno di essere programmato e progettato preliminarmente. Il processo di registrazione dei dati 3D acquisiti non può basarsi solo sul morfologico ma dovrebbe essere integrato dai dati topografici della rete di controllo o GPS.

A+: questa categoria è la più adatta per rilievi a fini conservativi; i dati conformi a questa categoria possono essere un utile strumento per il progetto di restauro, che necessita di dati metrici estremamente corretti. Dal ri-

lievo classificato in questa categoria è possibile ottenere modelli BIM e disegni CAD 2D fino alla scala 1:20. La fase di progetto del rilievo diventa più importante rispetto alle categorie precedenti, al fine di programmare e gestire la campagna di rilievo e scegliere gli strumenti di acquisizione più appropriati. Il processo include anche il controllo di qualità.

A ++: questa categoria è adatta per edifici molto complessi dove il processo di rilievo deve essere documentato e tracciato al fine di ottenere il massimo controllo sui dati, o quando il monitoraggio è svolto in un arco di tempo non continuo. La categoria A ++ è utile quando diverse squadre di tecnici lavorano insieme, simultaneamente o in sequenza, con diversi strumenti di rilievo a diverse precisioni e caratteristiche. La categoria A ++ permette di analizzare come un rilievo è stato effettuato in ogni fase, consentendo di integrare il rilievo in tempi diversi.

In questo contesto metodologico il rilievo integrato dell'Arco di Traiano a Benevento si attesta nella categoria A++. Le finalità di monitoraggio dei lavori di restauro eseguiti a partire dalla banca dati tridimensionale, di controllo morfologico degli apparati scultorei, di integrazione di indagini superficiali (e relativo monitoraggio nel tempo della risposta delle superfici lapidee all'azione del tempo) a fini conservativi e di applicazione del modello 3D a fini di valorizzazione e per nuove modalità di fruizione, sono requisiti che hanno portato ad una progettazione della campagna di rilievo integrato considerando le esigenze di implementazione nel tempo e di aggiornamento dei dati acquisiti.

Il rilievo dell'intera struttura monumentale è stata eseguita con laser scanner a tecnologia a tempo di volo³, mentre per il rilievo dell'apparato scultoreo è stato utilizzato uno scanner a triangolazione ottica⁴ (Tab. 4). Nel caso del rilievo integrato dell'Arco di Traiano a Benevento è stato particolarmente significativo affiancare alla campagna di rilievo 3D ad alta densità anche il rilievo spettrofotometrico⁵ delle superfici restaurate e consolidate, utili a successivi monitoraggi e per verificare, nel tempo, la risposta agli agenti atmosferici del materiale lapideo restaurato.

La tecnologia di rilievo 3D si è evoluta negli anni, soprattutto migliorando le prestazioni di velocità di acquisizione e di accuratezza. Eppure, come dimostra questo caso studio, ciò che è importante nell'applicazione di tecnologie digitali di rilievo e di indagine sui beni culturali non è tanto la classe di qualità strumentale, quanto un approccio metodologicamente corretto e una procedura rigorosa di lavoro e gestione dei dati base, secondo quanto richiesto e applicato attraverso il *Data Acquisition Protocol*. La progressiva facilità di realizzazione e utilizzo dei nuovi modelli, infatti, riduce il grado di consapevolezza dell'operatore e del ricercatore, generando risultati non sempre congrui e finalizzati, e portando al rischio di un utilizzo 'acritico' del dato 3D: orientando la ricerca verso quelle strategie necessarie agli utilizzatori finali e alle istituzioni responsabili della gestione dei beni culturali per ampliare conoscenza, valorizzazione e disseminazione attraverso modelli digitali in grado di aumentare l'inclusività e l'accessibilità del patrimonio culturale europeo.

³La campagna di rilievo dell'intera struttura monumentale è stata effettuata con il laser scanner 3D Leica Geosystems HDS 2500. Sono state utilizzate cinque stazioni di ripresa per un totale di oltre 88 milioni di punti rilevati attraverso l'esecuzione di una prima maglia d'inquadramento di 4x4 cm ed un successivo raffittimento a maglia 1x1 cm.

⁴Per tutto l'apparato scultoreo del Piccolo Fregio celebrativo (posizionato a circa 10 metri dal suolo, per una lunghezza di circa 45 metri e un'altezza di circa 50 cm) è stato eseguito un rilievo 3D ad alta definizione dei caratteri morfologico-dimensionali, tramite più scansioni. La scansione è stata effettuata con l'ausilio di un braccio mobile motorizzato, per mezzo del laser scanner 3D Konica-Minolta Vivid 900i, per un totale di 704 scansioni per circa 130 milioni di punti rilevati e oltre 257 milioni di poligoni rilevati.

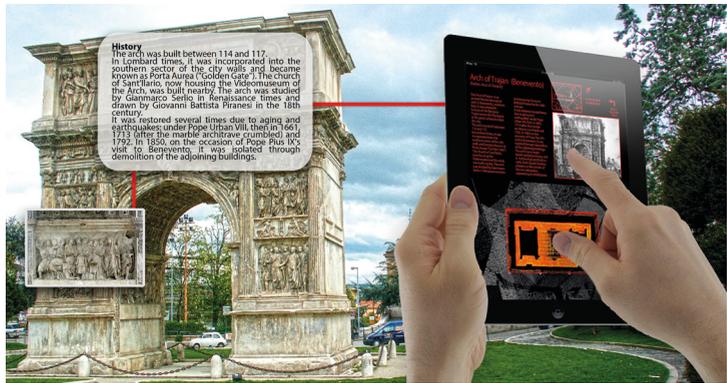
⁵I dati colorimetrici di una serie di zone rappresentative dell'Arco di Traiano sono stati acquisiti tramite spettrofotometria, un tipo di indagine non distruttiva da eseguire in situ, che consente di campionare i dati per valutazioni sia di tipo qualitativo che quantitativo. Per la campagna di rilievo diagnostico è stato utilizzato uno spettrofotometro di tipo portatile Konica-Minolta Cm-503i che opera nel range del visibile, da 400 a 700nm.

Fig. 3.1
Applicazione di realtà virtuale per Web Browsing avanzato e interattivo

Fig. 4.1
Analisi di curvatura del modello per la verifica di realizzazione del modello fisico in relazione alle diverse tecnologie di prototipazione impiegabili

pagina a fronte

Tabella 4
Tabelle di rilievo laser scanner



D'altro canto, la realizzazione di modelli 3D di alta qualità può ancora richiedere un elevato dispendio di risorse (sia economiche che dal punto di vista del tempo di acquisizione dati e di post-processing), e il risultato è spesso fornito in formati non interoperabili e quindi difficilmente accessibili. Questa sfida è ancora più importante per le architetture complesse e i siti di ampia estensione e articolazione, che comportano una grande quantità di dati da acquisire, gestire e arricchire di informazioni aggiuntive (metadati). Le procedure messe a punto tramite il *Data Acquisition Protocol* puntano a risolvere la problematica della gestione di grandi quantità di dati, guidando i processi di digitalizzazione del patrimonio culturale, rispettandone esigenze e specificità.

La valorizzazione attraverso la prototipazione solida di parti scultoree

La prototipazione solida per la restituzione di copie in scala ha aperto, già da diversi anni, nuovi scenari per la conoscenza e la valorizzazione dei beni culturali nell'ambito dell'utilizzo di tecnologie digitali a supporto della ricerca e come fondamentale supporto alle metodologie tradizionali, contribuendo ad arricchire il dibattito scientifico e innescando nuove possibilità di applicazioni pratiche, come la sperimentazione nella stampa 3D di apparati scultorei. Modelli ricostruttivi e prototipi vengono realizzati per l'allestimento museale o per finalità didattiche e percorsi multisensoriali, oltre che per simulare azioni di restauro, ricostruire parti mancanti e proporre nuove interpretazioni sulle caratteristiche morfologiche dell'opera. Le più recenti innovazioni nel settore e l'utilizzo di diversi materiali per la prototipazione rapida consentono inoltre di passare dal modello virtuale al modello solido, secondo una corretta espressività semantica ed un controllo scientifico dei parametri di texture e colore⁶, per lavorare su simulazioni delle caratteristiche di superficie senza ricorrere alle tecniche di tonalizzazione richieste, ad esempio, dalla stampa a polvere di gesso, tecnica utilizzata nell'ambito della ricerca sull'Arco di Traiano.

Nel caso dell'Arco di Traiano di Benevento, la realizzazione della copia del fregio scultoreo superiore (fascia ad altorilievo) è stata eseguita secondo due livelli di approfondimento: il lato Ovest del fregio⁷, realizzato in scala 1:5, e una serie di particolari del fregio scultoreo superiore, selezionati



Rilievo dell'Arco	
Dati rilievo (CyraX 2005)	
Numero stazioni di scansioni	5
Maglia generale di inquadramento	4 cm
Maglia di dettaglio	1 cm
Numero punti rilevati	88.295.329
Dati modellazione	
Numero punti del modello	22.077.079

Rilievo del fregio scultoreo	
Dati rilievo (Minolta Vivid 900i)	
Numero scansioni effettuate	704
Numero punti rilevati	130.662.400
Numero poligoni rilevati	257.596.416
Dati modellazione	
Numero punti del modello completo	43.554.133
Numero poligoni del modello completo	85.865.472

sulla base del pregio del dettaglio decorativo e stampati anche in scala reale. Il fregio complessivo è stato ottenuto attraverso l'unione delle singole parti fissate mediante resina cianoacrilica. I particolari del fregio scultoreo superiore sono stati riprodotti a diverse scale (1:1, 1:2 e 1:2,5 rispetto all'originale⁶) a seconda del livello di dettaglio decorativo. Attualmente i prototipi realizzati sono depositati negli archivi del museo archeologico della città di Benevento presso l'ex convento San Felice in attesa di organizzare un'opportuna sala destinata all'Arco di Traiano.

Contestualmente alle operazioni di prototipazione tridimensionale, sono stati infatti proposti alcuni scenari di allestimento finalizzati alla valorizzazione dell'Arco; dalla schedatura degli ambienti e vani interni dove sviluppare gli scenari museali alla definizione dei criteri principali di localizzazione e di organizzazione degli spazi attraverso l'analisi dei vincoli ambientali, ergonomici e di contenuto. L'analisi ergonomica, ad esempio, ha portato alla proposta di progetto di elementi espositivi per diverse tipologie di utenti (tra cui bambini, disabili, non vedenti e ipovedenti), stabilendo la collocazione ottimale di mappe tattili, oggetti tangibili, prototipi ed elementi di interattività.

Conclusioni

Il progetto di ricerca sull'Arco di Traiano a Benevento dimostra l'efficacia di una metodologia che va oltre l'applicazione di tecnologie per il rilievo tridimensionale e sfocia nel tema, estremamente attuale, dell'arricchimento della conoscenza interdisciplinare del patrimonio culturale da parte di studiosi, ricercatori e non esperti tramite modelli interoperabili e grazie a un approccio inclusivo.

Le innumerevoli potenzialità insite nel data base tridimensionale, attraverso nuovi utilizzi e applicazioni e grazie all'aggiornabilità del dato tramite l'applicazione del protocollo di acquisizione, portano a nuovi scenari di conoscenza e analisi del patrimonio culturale.

L'integrazione dei dati acquisiti digitalmente con rilievi aggiornati e un arricchimento in termini semantici e di metadati, e le possibilità di riutilizzo delle risorse digitali rappresentano una delle sfide principali per la conoscenza, l'analisi e la conservazione degli edifici e dei siti storici, oltre che per una efficace gestione a lungo termine.

Il mero 'dato digitale' non è sufficiente per aumentare il livello di cono-

⁶ Si vedano ad esempio i lavori frutto della collaborazione tra il Dipartimento Architettura e Territorio (d'ArTe) dell'Università Mediterranea di Reggio Calabria, il MARC, Museo Archeologico Nazionale di Reggio Calabria, e il Museo Archeologico Regionale L. Bernabò Brea di Lipari. Per il MARC, si è messo in atto il programma di realizzazione di modelli ricostruttivi e di prototipi in scala reale per l'allestimento del sistema museale. Per il Bernabò Brea si è avviato il progetto di realizzazione di modelli ricostruttivi e prototipi di maschere teatrali per finalità didattiche e percorsi multisensoriali. In entrambi i casi si sono effettuate scansioni con tecnologia 3D di reperti finalizzati alla modellazione e alla prototipazione, e si è affrontato il passaggio dal modello virtuale al modello analogico, secondo una corretta espressività semantica ed un controllo scientifico dei parametri di texture e colore.

⁷ Il lato Ovest del fregio scultoreo (Piccolo Fregio) è stato prototipato con stampante tridimensionale a polvere di gesso infiltrata con resine cianoacriliche ZCoprotraion Z406.

⁸ Le copie sono ottenute attraverso la prototipazione delle parti e l'unione dei singoli pezzi; che hanno dimensione massima di 24 cm di lunghezza, 20 cm di altezza e 4-5 cm di profondità e uno spessore di materiale adatto alla forma.

pagina a fronte

Fig. 3.1
Esempio di
applicazione
di Realtà
Aumentata
sull'Arco di
Traiano

scienza e consapevolezza e quindi migliorare la qualità della gestione del patrimonio culturale: l'integrazione, l'accessibilità e l'aggiornamento/arricchimento dei dati rappresentano la principale sfida odierna verso la conservazione del patrimonio culturale a rischio di perdita.

Modelli digitali integrati, archivi e *repository* della 'memoria geometrica' sono strumenti sempre più strategici nel supportare iniziative volte alla salvaguardia.

Come ampiamente sottolineato dalla Commissione Europea, che, nell'ambito del Programma Horizon 2020, include il tema del *Cultural Heritage*, le tecnologie di acquisizione 3D e, in generale, i processi di digitalizzazione, diventano cruciali nel permettere nuove modalità di analisi, visualizzazione e interpretazione dei beni culturali, preservandone memoria e identità. I modelli digitali devono diventare rappresentazioni, sfruttando il nuovo ruolo che l'acquisizione e la modellazione tridimensionale stanno assumendo per l'analisi e la conservazione del patrimonio; devono accrescere conoscenza e consapevolezza e consentire soprattutto il riuso del dato digitale (come dimostra il caso dell'Arco di Traiano a Benevento) anche per applicazioni creative ed innovative. Le rappresentazioni tridimensionali devono essere in grado di andare oltre la mera visualizzazione supportando l'integrazione di informazioni semantiche (storiche, iconografiche, morfologiche, conservative, ecc.) per uno studio sempre più approfondito del patrimonio da parte di esperti o semplici utilizzatori.

Crediti

La presente ricerca è stata oggetto di una Convenzione tra la Soprintendenza Archeologica per le Province di Salerno Avellino e Benevento e il Consorzio Futuro in Ricerca. Soprintendenza Archeologica per le Province di Salerno, Avellino e Benevento: Soprintendente: Dott.ssa Giuliana Tocco, Responsabile scientifico dei lavori di Restauro dell'Arco di Traiano: Dott.ssa Giuseppina Bisogno; Responsabile dei lavori di Restauro dell'Arco di Traiano: Arch. Anna Maria Fusco Girarde; Gabinetto fotografico della Soprintendenza Archeologica – Documentazione del Piccolo Fregio: Leonardo Vitola. Consorzio Futuro in Ricerca – DIAPReM, Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Architettura: Responsabile scientifico della ricerca: Marcello Balzani (Direttore); Indagini diagnostiche sullo stato conservativo delle superfici: Nicola Santopuoli, Anna Maria Geranzani, Monica Sorrentino; Rilievo 3D: Federico Uccelli, Ing. Sergio Tralli, Matteo Fabbri, Monica Bettocchi, Alessandro Grieco; Modellazione 3D e prototipazione: Federico Ferrari, Federico Uccelli, Matteo Fabbri, Monica Bettocchi, Stefano Settimo; Tonalizzazione prototipi e trattamenti protettivi superficiali: Nicola Santopuoli, Matteo Fabbri, Gabriella Brunetti, Fabio Bevilacqua e Giuliana Veltroni della C.R.C. Restauri di Bologna, Elisabetta Concina; Scenari di allestimento museale: Monica Bettocchi. Supporto tecnico: Leica Geosystem HDS - Cyra Technologies Inc., Sam Ramon, California; Konica-Minolta Italia Spa, Milano; CMF Marelli Srl, Cinisello Balsamo (Milano) per la parte di prototipazione rapida.



Bibliografia

Angelini A., Gabrielli R. 2013, *Laser Scanning e Photo Scanning. Tecniche di rilevamento per la documentazione 3D di beni architettonici ed archeologici*, «Archeologia e Calcolatori», no. 24, pp. 379-394.

Balzani M., Santopuoli S. 2004, *Dal restauro al rilievo. Un percorso metodologico per una banca dati tridimensionale dell'Arco di Traiano a Benevento*, «Paesaggio Urbano», no. 5, pp. 24-36.

Balzani M., Callieri M., Fabbri M., Fasano A., Montani C., Pingi P., Santopuoli N., Scopigno R., Uccelli F., Varone A. 2004, *Digital representation and multimodal presentation of archeological graffiti ad Pompei*, in *VAST 2004: The 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, ed. Y. Chrysanthou, K. Cain, N. Silberman and F. Niccolucci, The Eurographics Association, pp. 93-103

Balzani M., Uccelli F., Scopigno R., Montani C. 2006, *Pisa, Piazza dei Miracoli: il rilievo 3D della Cattedrale per l'integrazione con i sistemi informativi di documentazione storica e di restauro*, «Recupero e conservazione», no.12, pp.76-81.

Balzani M., Maietti F. 2016, *The architectural space in an inclusive protocol for the 3D integrated acquisition of Cultural Heritage for documentation, dia-*

gnosis, representation, enhancement and conservation, in *Le ragioni del Designo. Pensiero, Forma e Modello nella gestione della complessità*, a cura di Stefano Bertocci, Marco Bini, Gangemi Editore, Roma, pp. 1039-1044.

Bisogno G., Fusco Girard A. M. 2004, *Il restauro dell'Arco di Traiano a Benevento*, in *Restauro 2004, Salone dell'arte del Restauro e della Conservazione dei Beni Culturali e Ambientali*, Grafiche Zanini, Bologna, pp. 278-280.

De Luca, L., Busayarat, C., Stefani, C., Véron, P., Florenzano, M. 2011, *A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage*, «Computers & Graphics», Vol. 35, no. 2, pp. 227-241.

Docci, M., Chiavoni E., Filippa M. 2011, *Metodologie integrate per il rilievo, il disegno, la modellazione dell'architettura e della città*, Gangemi Editore, Roma.

Gaiani M. 2012, *Creare Sistemi informativi per studiare, conservare, gestire e comunicare sistemi architettonici e archeologici complessi*, «Disegnarecon», 5(10), pp. 9-20.

Iuliano, L., Minetola, P. 2005, *Rapid manufacturing of sculptures replicas: a comparison between 3D optical scanners*, in *CIPA XX International Symposium*, Turin, pp. 384-389.

Migliari, R. 2012, *Geometria-Costruzione-Architettura*, «Disegnarecon», 5(9), pp. 1-4.

Parisi R. 2007, *Iconografia di una città pontificia: Benevento in età moderna e contemporanea*, in *Iconografia delle città in Campania. Le province di Avellino, Benevento, Caserta e Salerno*, a cura di C. de Seta, A. Buccaro, Electa, Napoli, pp.173-194.

Pignatelli F. 2013, *L'evoluzione della stampa 3D e le sue applicazioni in campo museale*, «SCIRES-IT», vol. 3, no. 2, pp. 143-158.

Salvione P., Castracane E. 1985, *Benevento e l'arco di Traiano: prospettive per il recupero*. *Restauro* (7778), ICCROM, pp. 142-144.

Scopigno R. 2006, *Gestione efficiente dei dati prodotti dai sistemi di scansione tridimensionale*, in *Laser Scanner e GPS: Paesaggi Archeologici e Tecnologie Digitali*, a cura di Stefano Campana, Riccardo Francovich, All'insegna del Giglio, Firenze, pp. 41-68.