

NUOVE TECNOLOGIE PER LA CONOSCENZA E LA COMUNICAZIONE DI LUCCA ROMANA*

«Ecco la bellezza di Lucca, questi tessuti che appaiono e sempre sorprendono, stesi nei punti più imprevisi, e sparsi per tutta la città dentro le mura, si gira l'angolo ed ecco il bellissimo quadro; i secoli, i secoli che continuano a parlare con la loro voce.

Gli antenati, sono loro che ci dominano.»

(MARIO TOBINO, *Gli ultimi giorni di Magliano*)

1. INTRODUZIONE

Lucca moderna è il risultato della stratificazione di epoche diverse, a partire dalla sua fondazione nel 180 a.C. come colonia romana fino ai giorni nostri. Nell'impianto generale, la città conserva numerose evidenze del tessuto urbano romano: all'interno della cerchia di mura rinascimentale sono ancora chiaramente riconoscibili l'assetto della città antica e il tracciato dei principali assi viari. Un settore dell'antica cinta muraria è inglobato nella parete della chiesa di Santa Maria della Rosa. L'attuale Piazza Anfiteatro coincide con l'arena dell'antico anfiteatro, il cui perimetro è immediatamente leggibile; le arcate, i pilastri e le mensole in marmo sono ancora visibili inglobati nella facciate esterne degli edifici di età posteriore. La memoria del foro è tramandata dal toponimo San Michele in Foro: scavi archeologici hanno confermato in quest'area la localizzazione del cuore di Lucca romana. Il campanile di San Salvatore in muro, unico elemento superstite della chiesa che nel Tardo Medioevo viene sostituita con la chiesa di Sant'Agostino, si appoggia ai resti di alcune strutture appartenenti al teatro romano. Le indagini archeologiche, condotte a partire dagli anni Ottanta e ancora in corso, hanno contribuito ulteriormente alla definizione del tessuto urbano antico, confermando in molti casi le ipotesi ricostruttive.

Lucca è un caso esemplare di centro urbano stratificato, nel quale i manufatti antichi hanno continuato a vivere nelle epoche successive trovandosi inseriti in una città diversa: la loro conservazione è stata possibile grazie a questa trasformazione. L'ubicazione spaziale frammentaria delle evidenze archeologiche relative a Lucca romana e il loro frequente inserimento in edifici posteriori rendono non immediata la comprensione dell'impianto generale: la percezione d'insieme del tessuto della città antica è possibile soltanto in una visione zenitale.

* In questo contributo vengono esposti i risultati del progetto *Tecnologie informatiche per la conoscenza e la comunicazione di Lucca romana*, condotto nell'ambito del Dottorato di Ricerca in Tecnologie e Management dei Beni Culturali presso la Scuola di Dottorato IMT Alti Studi Lucca.

Per comprendere la città antica è necessario conoscerla, sia attraverso uno studio imprescindibile dei monumenti che la compongono, sia mediante un processo di separazione e ricomposizione della realtà che la città moderna propone. La conoscenza non si ferma dunque alla materia e alla forma, ma si compie anche con l'individuazione delle possibili relazioni con il contesto spazio-temporale ed umano, che significa attribuire significati. Per questo è necessario individuare e trasmettere nuovi linguaggi, cioè nuovi modi di comunicare, che rendano possibile una fruizione corretta della città antica nel suo insieme.

Le nuove tecnologie possono contribuire a rivelare in maniera efficace i caratteri di Lucca romana, non solo perché consentono di ricreare spazi e simulare visite reali, ma anche perché possono suggerire percorsi alternativi e facilitare quelli spesso non praticabili nella realtà. Attraverso un sistema di relazioni capace di correlare luoghi, architetture e oggetti distanti nello spazio e nel tempo, si può definire una nuova lettura, generata non dall'addizione degli elementi, ma dalla loro composizione e integrazione. Grazie alle ICT è possibile non solo arricchire il processo di conoscenza e documentazione di dati provenienti da differenti ambiti disciplinari, ma anche disporre di un prezioso supporto in tutte le operazioni di conservazione, valorizzazione e gestione del patrimonio culturale.

La ricerca è stata suddivisa in tre distinte fasi teorico-operative, ognuna delle quali è stata contraddistinta dall'adozione di specifici strumenti d'indagine. Nella prima fase l'obiettivo è stato quello di configurare un ambiente di conoscenza, dove archiviare e gestire in maniera integrata tutta la documentazione esistente su Lucca romana. In contesti di questo tipo i Sistemi Informativi Geografici (GIS) possono rappresentare lo strumento d'indagine più idoneo per l'analisi di fenomeni complessi, in grado dunque di rivelare la città antica. Nell'ambito della ricerca è stato realizzato LUCA (*Looking at an Urban Context Archive*), un GIS concepito per poter acquisire ogni tipo di dato relativo a Lucca romana, consentendo di "visitare" la città antica attraverso itinerari alternativi e non sempre possibili nella realtà, nei quali spazi, monumenti e tracce archeologiche sono messi in relazione fino a definire la città antica all'interno di quella moderna.

Contemporaneamente è stata compiuta un'ulteriore sperimentazione: grazie a una tecnologia innovativa di rilievo tridimensionale, lo ZScan, che permette di estrarre nuvole di punti da una scansione fotografica, è stato possibile elaborare modelli tridimensionali di alcuni elementi dell'anfiteatro romano, che hanno contribuito a migliorare la conoscenza dei piedritti dell'ingresso orientale, l'unico originario, e di tre arcate particolarmente ben conservate.

La ricerca è stata quindi rivolta alla creazione di un ambiente per la comunicazione dei dati ottenuti dalla prima fase e relativi alle testimonianze

romane individuate come più rappresentative della città antica, come ad esempio i resti dell'anfiteatro, del teatro e delle mura: è stato quindi costruito un modello tridimensionale di Lucca romana, capace di rendere immediatamente comprensibile lo spazio della città antica. Per consentire una navigazione all'interno del modello 3D, è stata utilizzata la tecnologia XVR (*eXtreme Virtual Reality*), un ambiente di sviluppo integrato per la produzione di applicazioni di Realtà Virtuale.

È stato infine affrontato l'aspetto legato alla diffusione del lavoro svolto, con l'obiettivo di ottimizzare la condivisione delle informazioni in maniera semplice e intuitiva. Il sito <http://www.luccaromana.com/> è stato realizzato per comunicare i risultati della ricerca e per facilitare da una parte la navigazione nei dati contenuti in LUCA, dall'altra l'esplorazione della città romana attraverso i modelli tridimensionali d'insieme e di dettaglio.

L.C.

2. IL PROGETTO DI CONOSCENZA: LUCA, UN GIS URBANO

Per l'archiviazione e la gestione integrata di tutta la documentazione relativa ai beni archeologici di Lucca romana è stato realizzato LUCA, un Sistema Informativo basato su tecnologia ESRI ArcGIS Desktop (CAMIN 2006). L'utilizzo di una piattaforma GIS permette infatti di catalogare, rappresentare, analizzare e interrogare grandi quantità di informazioni, provenienti da molteplici ambiti disciplinari, rappresentando uno strumento di supporto alle operazioni di tutela e valorizzazione del patrimonio culturale.

I dati raccolti sono stati informatizzati secondo un'architettura relazionale in cui il livello più alto è rappresentato da due tabelle distinte e indipendenti fra loro, la Scheda MA-CA (Monumenti/Complessi Archeologici), in cui sono state catalogate tutte le evidenze archeologiche costituite da una singola costruzione e con caratteristiche strutturali, tecniche, morfologiche e funzionali proprie, come ad esempio l'anfiteatro, il teatro, le mura o i tratti di strada, e la Scheda SI (Siti Archeologici), in cui sono stati invece archiviati tutti quei luoghi dove gli scavi stratigrafici hanno portato alla luce contesti pluristratificati.

La struttura di entrambe le tabelle è basata sui tracciati catalografici delle schede MA-CA (MA-CA, ver. 3.00) e SI (SI, ver. 3.00) definiti dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD), al fine di garantire la trasferibilità delle informazioni nell'ambito del Sistema Informativo Generale del Catalogo (SIGEC) elaborato dallo stesso Istituto. Alla Scheda MA-CA e alla Scheda SI sono collegate tutte le altre tabelle per la gestione di dati specifici relativi al bene archeologico in esame, come ad esempio le notizie storiche, le fonti bibliografiche, la documentazione grafica e fotografica.

La base dati è stata configurata all'interno di un Personal Geodatabase in ambiente MsAccess: in questo modo gli attributi descrittivi sono stati

archiviati nello stesso contenitore dove sono memorizzate le informazioni geografiche e sono stati evitati ulteriori passaggi per realizzare il collegamento spaziale delle informazioni descrittive a quelle vettoriali. Inoltre, interrogando i dati in ambiente ArcGIS è possibile visualizzare le informazioni sfruttando l'interfaccia grafica realizzata per il database relazionale in MsAccess.

All'interno del Sistema Informativo LUCA sono state gestite diverse tipologie di dati, derivanti dalle ricerche bibliografiche e di archivio (cartografia storica ed attuale; immagini ed iconografia; rilievi generali e di dettaglio; dati descrittivi relativi alle entità archeologiche; dati bibliografici).

L'accesso alla base dati alfanumerica di LUCA può avvenire anche separatamente dall'ambiente GIS, tramite un'apposita interfaccia che introduce ai seguenti percorsi di consultazione:

- Monumenti/Complessi Archeologici
- Siti Archeologici
- Bibliografia

I primi due percorsi consentono di accedere alle maschere delle schede dei Monumenti Archeologici e dei Siti Archeologici, che presentano una struttura pressoché simile (Fig. 1). Entrambe, infatti, sono suddivise in una serie di moduli all'interno dei quali le informazioni sono archiviate secondo la categoria di appartenenza. Nel modulo *Dati generali* sono presenti i campi per la registrazione anagrafica del bene (Ente preposto alla tutela, localizzazione geografica e definizione tipologica), mentre il modulo *Dati analitici* è impostato per una puntuale descrizione del bene schedato. Una serie di pulsanti consente di consultare le tabelle correlate, dove sono gestite tutte le informazioni di dettaglio, come ad esempio la localizzazione catastale attuale e storica, i dati di scavo, le fonti e la bibliografia, la documentazione grafica e fotografica, le notizie storiche, i restauri. Poiché alcune parti strutturali del teatro e dell'anfiteatro sono inglobate in edifici di epoca posteriore, per agevolare la loro lettura è stata aggiunta la tabella *Dettaglio*, nella quale sono riportati i dati specifici relativi a quel determinato elemento, insieme ad un corredo esplicativo di immagini.

Solo nella scheda MA-CA è stato previsto il modulo *Dati tecnici* in cui sono archiviate le misure e lo stato di conservazione del bene in esame. Un apposito pulsante apre la maschera *Campioni e Analisi*, che raccoglie indicazioni sugli eventuali campioni prelevati dal bene e sulle analisi scientifiche effettuate (Tipo campione e Tipo analisi).

Il modulo *Cronologia* contiene sia la cronologia generica (Fascia cronologica di riferimento e Frazione cronologica), sia quella più specifica e l'ambito culturale in cui si colloca il bene schedato. Nel modulo *Condizione giuridica* sono riportate le indicazioni riguardanti l'attuale proprietà o pertinenza del bene e gli strumenti urbanistici in vigore; il pulsante *Provvedimenti di tutela*

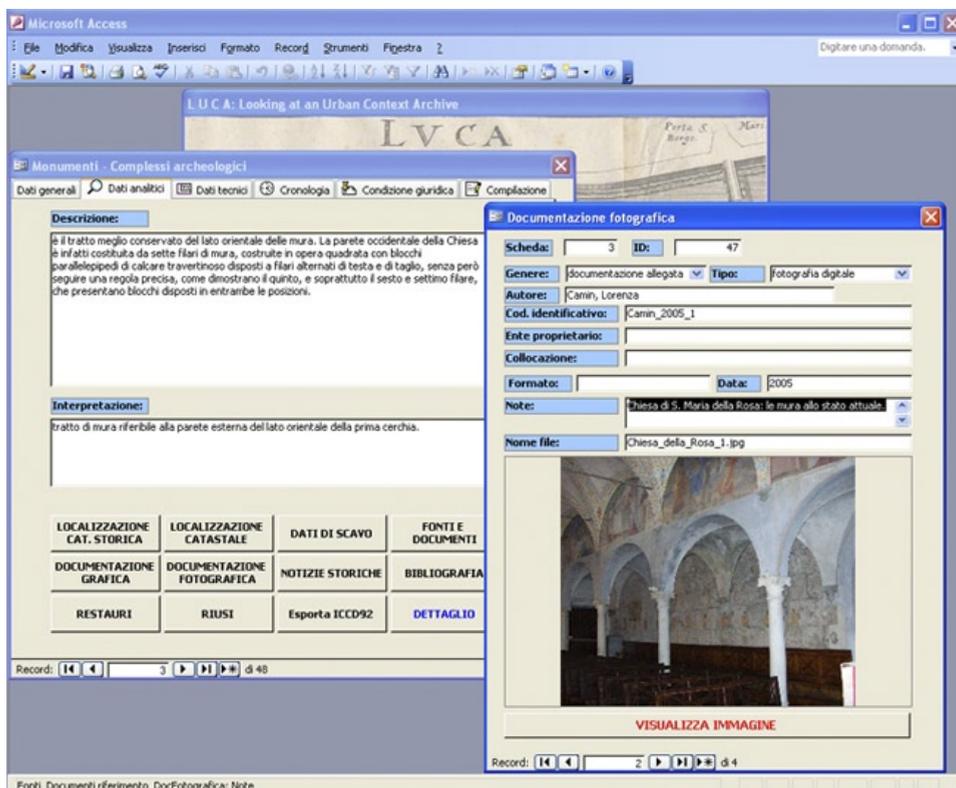


Fig. 1 – Ambiente MsAccess: maschera relativa al tratto di mura conservato nella chiesa di Santa Maria della Rosa (MA). In sovrapposizione la tabella della Documentazione fotografica.

apre la maschera con i dati relativi ai provvedimenti che interessano il bene catalogato. Completa entrambe le schede il modulo *Compilazione*, con le informazioni sulla redazione e trascrizione della scheda e le specifiche di accesso ai dati. In questa finestra, il campo *Osservazioni* permette l’inserimento di notizie supplementari sul bene catalogato.

Per tutti i dati descrittivi sono state previste forme di “normalizzazione” e “uniformazione” del lessico, definite sia per agevolare l’inserimento dei dati nelle tabelle del database, sia per garantire l’efficienza delle ricerche che saranno effettuate all’interno del Sistema.

Tutta la bibliografia relativa ai beni archeologici di Lucca confluisce nella tabella *Bibliografia*, a cui si accede dal pannello iniziale.

La banca dati di LUCA, così strutturata, è dunque caratterizzata da un alto potenziale analitico in prospettiva del Sistema Informativo, perché da essa è possibile generare all’interno del GIS una serie di layer informativi

corrispondenti alle varie voci inserite, come ad esempio carte tipologiche, sincroniche o diacroniche. All'interno della base dati sono stati sistematicamente schedati tutti i beni archeologici relativi a Lucca romana, compresi in un arco cronologico che va dal II secolo a.C. al III secolo d.C. e ripartiti in 48 schede di Monumenti Archeologici e 27 di Siti Archeologici.

In ambiente GIS, l'integrazione delle informazioni ha consentito di rappresentare su una base cartografica (costituita dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:2000 in formato vettoriale e da un'ortofoto in bianco e nero, entrambe georiferite nel sistema di riferimento spaziale Gauss-Boaga fuso ovest) tutte le evidenze archeologiche censite.

È stato creato il feature dataset (un insieme di feature class, collezione omogenea di elementi geografici con lo stesso riferimento spaziale) Beni Archeologici, all'interno del quale sono state inserite la feature class MonumentiArcheologici e la feature class SitiArcheologici: alla prima è stata associata una geometria di tipo poligonale, alla seconda una di tipo puntuale.

Alle entità geometriche riportate sulla cartografia e rappresentanti i monumenti o i siti archeologici sono stati associati gli attributi descrittivi contenuti nelle tabelle Scheda MA-CA e Scheda SI. La caratteristica principale di un sistema informativo basato su tecnologia GIS è infatti quella di interrelare in maniera univoca il dato alfanumerico, proveniente da archivi di database, a quello geometrico.

All'avvio del progetto GIS compare una schermata che contiene la Carta Tecnica Regionale con in sovrapposizione i vari tematismi rappresentati nella legenda (TOC - *Table of Contents*), posizionata a sinistra. Ogni tematismo, puntuale, lineare o poligonale, riferito alle emergenze archeologiche censite, ha una rappresentazione simbolica che definisce in maniera immediata la tipologia dell'informazione.

Per consultare le informazioni contenute nella banca dati è stata realizzata una Barra degli strumenti personalizzata, chiamata LUCA e contenente sei comandi principali: *Seleziona oggetto*, *Consulta siti archeologici*, *Consulta monumenti archeologici*, *Consulta impianto urbano*, *Sintesi siti e monumenti* e *Pulisci selezione*. Grazie a specifiche procedure sviluppate in linguaggio VBA (*Visual Basic for Application*), dopo aver selezionato un punto o un poligono con l'apposito pulsante della barra LUCA, cliccando sullo specifico pulsante *Consulta siti archeologici* o *Consulta monumenti archeologici* è possibile aprire direttamente la relativa maschera del database (Fig. 2).

La scelta di realizzare delle funzionalità personalizzate nasce con l'obiettivo di facilitare la consultazione dei dati descrittivi, superando le difficoltà che spesso si incontrano nell'utilizzo degli strumenti propri dell'ambiente GIS. In questo modo, invece, l'utente può consultare i record all'interno del software MsAccess, che possiede strumenti più semplici e intuitivi per la gestione delle informazioni alfanumeriche.

Nella TOC è presente un terzo tematismo, *Impianto urbano*, di tipo lineare, che consente di identificare il circuito murario urbano e il tracciato dei due principali assi viari. Un clic sul pulsante *Consulta impianto urbano* presente nella barra degli strumenti personalizzata permette, dopo aver selezionato il perimetro delle mura o l'asse viario corrispondente al cardine massimo o al decumano massimo, di aprire una maschera con le principali notizie riferibili a questi elementi. È stato infine creato il tematismo di sintesi *Siti e Monumenti*, consultabile tramite l'apposito pulsante sulla barra degli strumenti LUCA, che richiama una breve scheda relativa al sito o al monumento selezionato. Gli strumenti standard presenti sulla barra degli strumenti *Tools* consentono di interagire con gli oggetti rappresentati sulla cartografia mediante operazioni principalmente relative a visualizzazione (*Zoom e Pan*) e selezione (*Select*).

Oltre alla Carta Tecnica Regionale e all'ortofoto, nella TOC sono state inserite altre mappe: il Catasto Nuovo (1837-1838), la pianta del Matraia, che documenta l'assetto della città nel Medioevo, il Catasto Vecchio (1873), la pianta in cui Paolo Sommella e Cairoli Fulvio Giuliani hanno riportato tutte le evidenze archeologiche riferibili a Lucca romana rinvenute durante la loro ricerca (SOMMELLA, GIULIANI 1974) e la pianta catastale attuale (1996).

LUCA non è stato creato per essere soltanto una tecnologia di supporto alla catalogazione e alla rappresentazione dei dati alfanumerici e grafici relativi a Lucca romana, ma si configura anche come un Sistema all'interno del quale è possibile elaborare le informazioni inserite per ottenere ulteriori livelli di conoscenza, come la realizzazione di carte tematiche che consentono ad esempio di effettuare analisi quantitative, tipologiche o cronologiche.

Per semplificare la lettura delle informazioni contenute nei due layer principali (*Siti e Monumenti archeologici*), all'interno di LUCA sono state predisposte mappe tematiche in base ai valori della tipologia e della cronologia: sia per i Siti che per i Monumenti archeologici sono stati infatti creati due layer distinti: Siti archeologici - Cronologia e Siti archeologici - Tipologia e ugualmente Monumenti archeologici - Cronologia e Monumenti archeologici - Tipologia (Fig. 3). Idonee simbologie, assegnate in base ai valori di tipologia e cronologia contenuti nel database e riportate nelle relative legende della TOC, aiutano l'utente nell'individuazione sulla mappa delle diverse occorrenze. È comunque possibile, qualora si volessero individuare sulla mappa soltanto i siti o i monumenti che rispondono a determinati criteri di ricerca, utilizzare gli strumenti specifici dell'ambiente GIS e realizzare interrogazioni sui dati in base agli attributi descrittivi (*Select by attributes*) o in base a quelli spaziali (*Select by location*) (Fig. 4).

L.C., A.N.

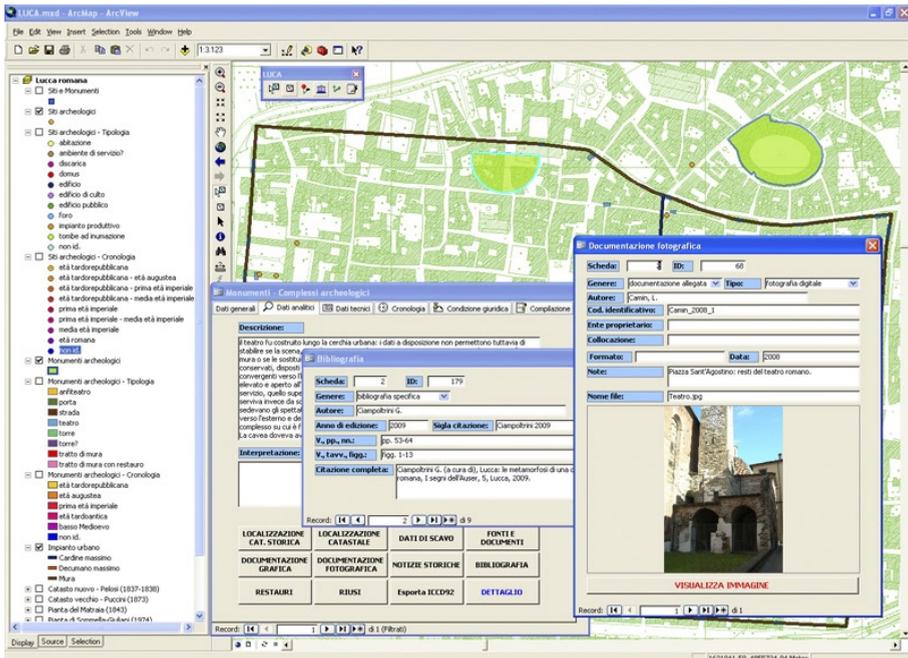


Fig. 2 – Ambiente GIS, LUCA: consultazione dei dati relativi al teatro romano. In sovrapposizione le schede della Bibliografia e della Documentazione fotografica.

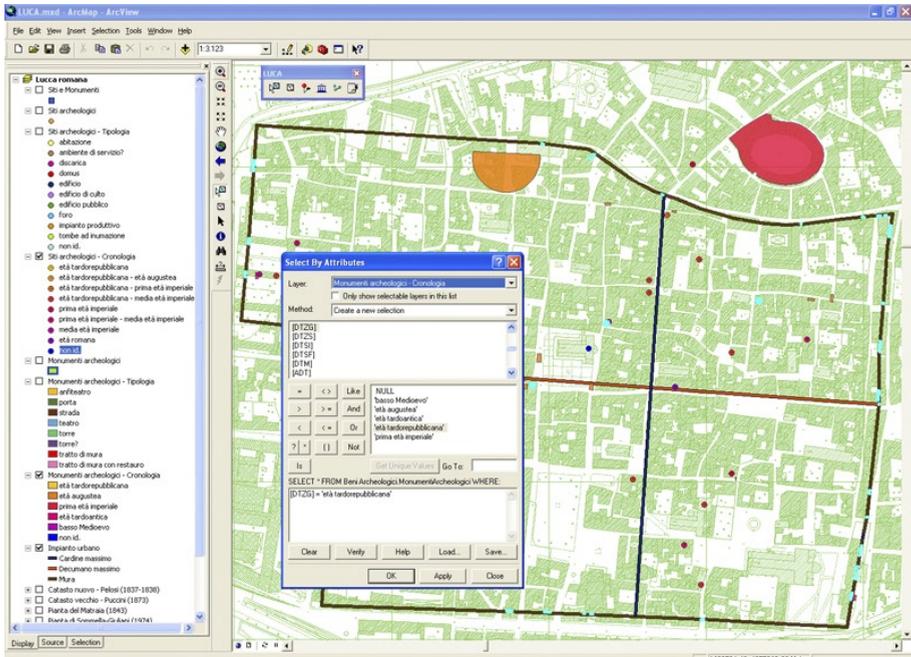


Fig. 3 – Ambiente GIS, LUCA: interrogazione per cronologia dei tematismi Siti archeologici e Monumenti archeologici. In azzurro è evidenziato il risultato della query (Siti e Monumenti di età tardorepubblicana).

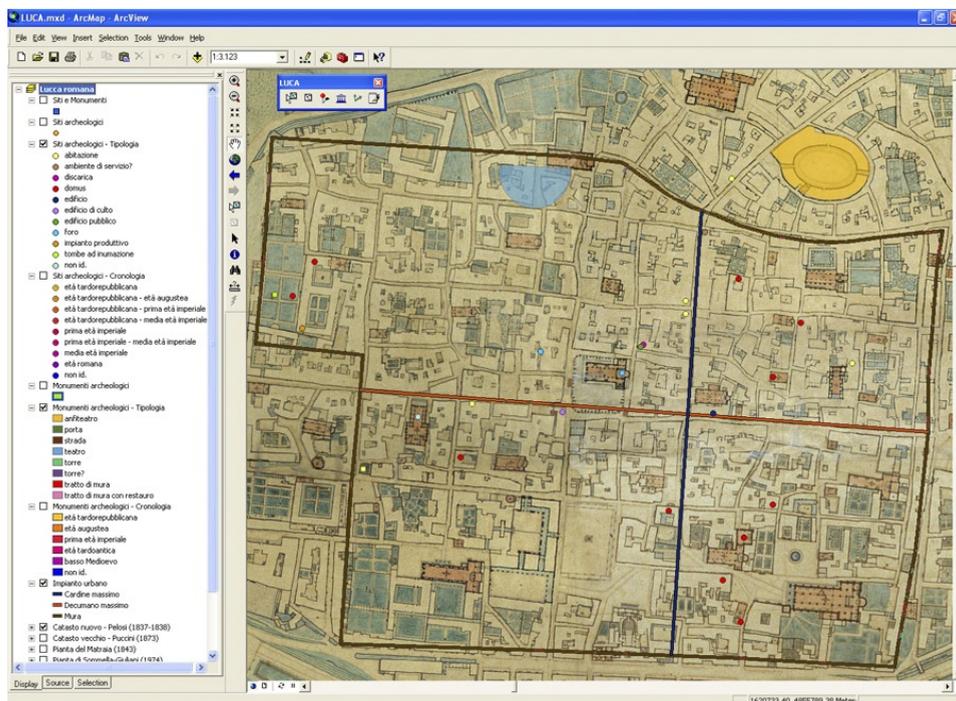


Fig. 4 – Ambiente GIS, LUCA: rappresentazione per tipologia dei siti e dei monumenti sul Catasto Nuovo del 1837-1838 (Archivio di Stato di Lucca, Catasto Nuovo 454).

3. REALIZZAZIONE DI MODELLI 3D DA SCANSIONE FOTOGRAFICA: LO ZSCAN

L'analisi della documentazione inserita all'interno di LUCA ha evidenziato la necessità di un'integrazione delle informazioni disponibili, soprattutto per l'anfiteatro, dal momento che la gran parte dei rilievi geometrici delle strutture romane risale alla metà degli anni Settanta e talvolta non è più sovrapponibile alla situazione attuale a causa degli interventi antropici o dei fenomeni di alterazione legati al degrado chimico-fisico-biologico che hanno modificato i caratteri morfologici e strutturali dell'edificio.

Per disporre di un rilievo geometrico preciso e dettagliato dei piedritti dell'ingresso orientale dell'anfiteatro romano e di tre arcate dello stesso monumento, nell'ambito del progetto di ricerca è stato quindi sperimentato un sistema innovativo di rilievo: ZScan, prodotto dalla Menci Software¹. ZScan

¹ Per maggiori informazioni su ZScan e per alcune applicazioni realizzate con questo strumento si consulti il sito <http://www.menci.com/>.

è uno strumento che permette di ottenere una scansione tridimensionale senza utilizzo di laser: l'acquisizione della nuvola di punti avviene infatti direttamente da immagini digitali. Questa tecnica di elaborazione fotogrammetrica multimmagine fornisce come risultato finale un modello 3D utilizzando contemporaneamente serie di tre immagini dello stesso oggetto.

ZScan basa il proprio funzionamento su un innovativo algoritmo di rettifica multifocale, mediante il quale le immagini vengono ricampionate epipolarmente secondo piani variabili in funzione della morfologia dell'oggetto da ricostruire. La rettifica è seguita da un processo di image matching multioculare, che consente di gestire più di due immagini simultaneamente e di ottenere un'elevata qualità ricostruttiva sia della forma che del colore della nuvola di punti (MENCI, NEX, RINAUDO 2007; GHEZZI, SANTARSIERO 2009).

La scelta di utilizzare ZScan è stata effettuata innanzitutto per le caratteristiche di questo strumento, in grado di fornire un risultato finale preciso e affidabile sia dal punto di vista geometrico che cromatico, dal momento che ogni punto della nuvola viene acquisito non solo con le coordinate x, y, z, ma anche con i valori RGB corrispondenti.

ZScan è composto da una fotocamera digitale reflex ad alta risoluzione, sottoposta ad accurata calibrazione presso i laboratori Menci Software e dotata di ottica fissa; una slitta di precisione con carrello a ricircolo di sfere con testa tilt che consente di conoscere con alta precisione la base di presa; un treppiede professionale; il software ZScan (Fig. 5). Il montaggio del sistema è piuttosto semplice: si posiziona il cavalletto e si fissa la fotocamera al carrello, che può scorrere lungo la guida ed essere fermato in precise posizioni determinate dai fori situati in questa ad una distanza controllata. Durante le operazioni di rilievo, la fotocamera può essere rimossa senza compromettere la calibrazione del sistema.

Per rilevare le tre arcate dell'anfiteatro romano, corrispondenti ai cunei 30-32, è stata adoperata una NIKON D80², con cui sono state realizzate due serie distinte di scansioni fotografiche, la prima con obiettivo 24 mm, la seconda con obiettivo 50 mm.

Dopo aver posizionato ZScan sul secondo piano di un ponteggio montato per effettuare lavori di recupero alle facciate del complesso abitativo situato nella piazzetta antistante³, è stata realizzata la prima sequenza di tre scatti, facendo scorrere la fotocamera in tre differenti posizioni calibrate sul-

² ZScan si adatta a qualsiasi tipo di fotocamera digitale, purché venga sottoposta a calibrazione nei laboratori Menci Software.

³ Questa posizione, se da una parte ha facilitato la scansione fotografica, dal momento che la scarsa larghezza di via dell'Anfiteatro non permetteva una ripresa completa delle tre arcate collocando lo strumento direttamente sul piano stradale, dall'altro ha comportato una perdita di qualità dell'immagine fotografica, ottenuta da una distanza di quasi 18 metri, eccessiva rispetto a quella consigliata per il raggiungimento di un risultato ottimale, intorno ai 10-12 metri.



Fig. 5 – ZScan: kit di ripresa.

la guida. Questa operazione è stata ripetuta altre due volte, in associazione con lo spostamento di ZScan in altrettanti punti del piano del ponteggio. Per riprendere completamente le tre arcate, il lavoro è proceduto con una seconda sequenza di scatti, effettuata dal primo piano del ponteggio seguendo le stesse modalità.

Con la stessa macchina digitale, utilizzando un obiettivo 24 mm, è stata effettuata la scansione fotografica di entrambi i piedritti dell'ingresso orientale dell'anfiteatro. In questo caso lo strumento è stato collocato sul piano stradale e, per eseguire la ripresa fotografica completa, la facciata e le pareti

lateralali di ciascun pilastro sono state scomposte in due parti, una superiore e una inferiore.

In entrambi i casi il risultato ottenuto è stato immediatamente verificato importando in un computer portatile, provvisto di software ZScan, le immagini prodotte dalla fotocamera.

Dopo aver compiuto la scansione fotografica, il lavoro è continuato nello specifico ambiente software associato al sistema. Nell'applicazione ZScan, per elaborare le immagini è necessario importarle per triplette, o "posizioni": ognuna di queste costituisce infatti la sequenza dei tre scatti effettuata da una stessa posizione del treppiede e quindi ogni tripletta è composta da un'immagine sinistra, da una centrale e da una destra. Di conseguenza, nel progetto ZScan relativo alle arcate è stato sufficiente importare due triplette delle immagini scattate con l'obiettivo da 24 mm e una sola per quelle riprese con l'obiettivo da 50 mm, mentre per ciascun piedritto sono state importate sei triplette.

Una volta inserite le immagini sono stati precisati tutti i parametri relativi alla ripresa fotografica: a ogni posizione è stata innanzitutto specificata la baseline, ovvero il punto di partenza della fotocamera sulla guida di precisione, ed è stata effettuata la rettifica trinoculare. Infine, dopo aver definito sull'immagine l'area d'interesse mediante quattro punti, è stato eseguito il processo di generazione della nuvola di punti (Fig. 6). La creazione di quest'ultima non richiede alcun punto di controllo (GCP - *Ground Control Point*), ma se rilevati è comunque possibile inserirli.

In questa fase del lavoro sono state messe in luce alcune difficoltà, riguardanti la restituzione di alcune parti delle arcate dell'anfiteatro: la trasparenza dei vetri delle finestre e la presenza di un ombrellone da esterni non hanno infatti permesso allo strumento di rilevare la posizione dei punti, creando delle lacune sulla superficie.

Il tempo necessario per questa operazione dipende dalla dimensione delle aree e dal passo di risoluzione impostato; un computer standard produce circa 800 punti tridimensionali al secondo. La nuvola di punti delle arcate dell'anfiteatro è formata da circa 60.000, mentre quella di un pilastro da circa 184.000.

Quando un modello è stato generato può essere visualizzato e gestito direttamente all'interno di ZScan, dove è possibile cambiare le modalità di rappresentazione tra punti (points), rete (wireframe) o superficie (surface), o con il software ScanView, il visualizzatore esterno di ZScan scaricabile gratuitamente dal sito della Menci Software (Fig. 7).

La fase relativa al post-processamento delle nuvole di punti ottenute è stata gestita all'interno del software Z-Map, sempre prodotto dalla Menci Software. Z-Map è un'applicazione che offre numerose funzioni avanzate tra cui la gestione e l'unione di modelli 3D, l'edit di superfici, la generazione di ortofoto, l'orientamento e il disegno su immagini. Poiché le funzioni disponibili in Z-Map includono tutti i comandi CAD standard, le nuvole di punti

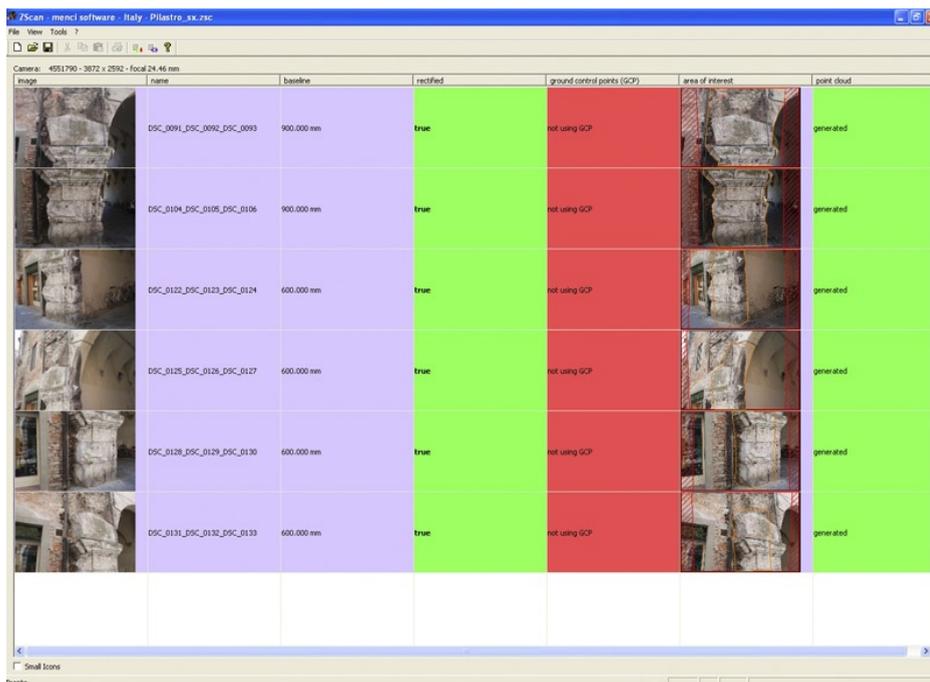


Fig. 6 – ZScan: importazione dei fotogrammi dei piedritti dell'ingresso dell'anfiteatro per la restituzione dei modelli.

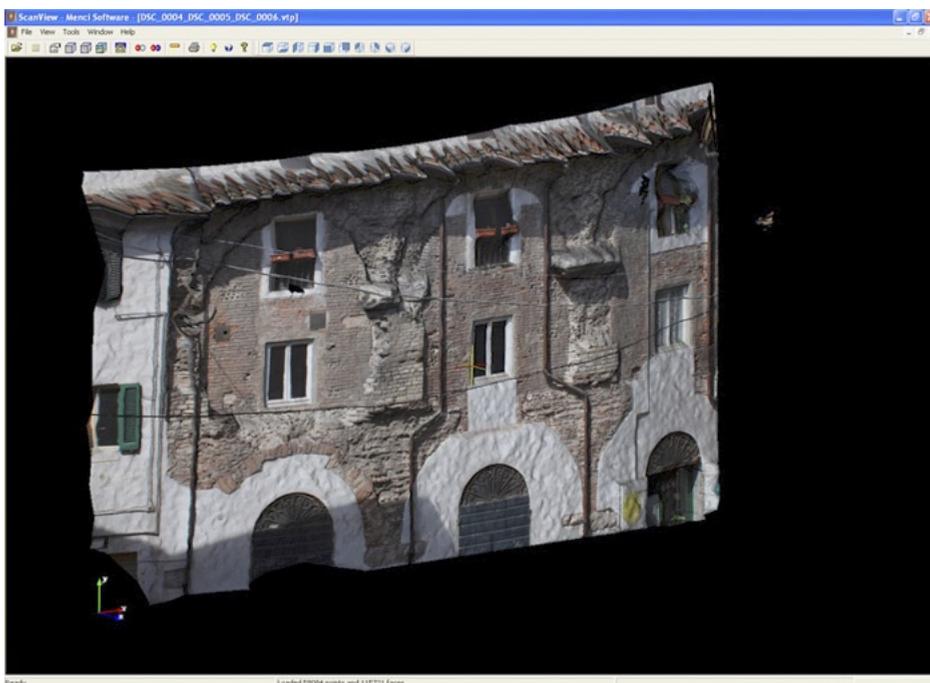


Fig. 7 – ScanView: modello tridimensionale delle arcate della facciata dell'anfiteatro.

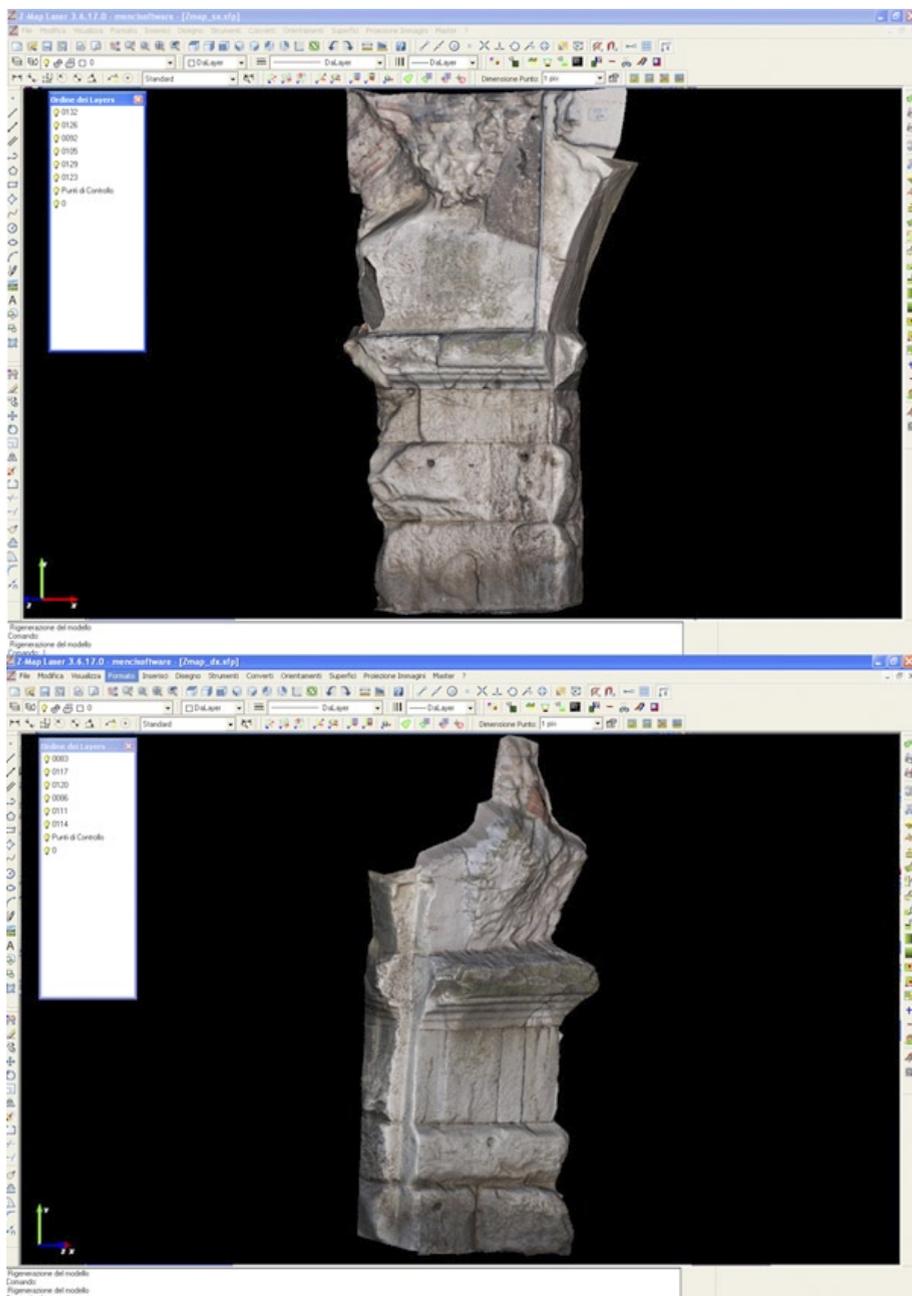


Fig. 8 – ArcMap: modello tridimensionale dei piedritti dell'ingresso orientale dell'anfiteatro.

possono essere perfettamente integrate in ambiente CAD e processate come normali entità. Inoltre, utilizzando precisi strumenti ogni nuvola può essere ripulita dal rumore, triangolata, georiferita e convertita in altri formati standard, come wrlm o ascii (CECCARONI 2005).

Nel nostro caso è stato innanzitutto possibile ricavare un unico modello tridimensionale sia delle arcate, sia dei piedritti dell'ingresso dell'anfiteatro. Quest'ultima operazione si è rivelata particolarmente importante, dal momento che ogni piedritto risultava composto da sei modelli distinti. Dopo che ognuno di questi è stato caricato in Z-Map, attraverso la collimazione di punti omologhi individuati sui modelli è stato infatti generato un solo modello tridimensionale (Fig. 8). L'associazione dei punti avviene in tempi molto brevi: il software si avvicina infatti automaticamente alla zona d'interesse, rendendo necessaria solo una rifinitura al procedimento.

In generale, va sottolineato che la parziale sovrapposizione dei modelli permette la copertura completa dell'oggetto e che la possibilità di utilizzare prese fotografiche acquisite da differenti punti di vista consente l'integrazione delle aree occluse attraverso la collaborazione tra le immagini.

Applicando al modello la texture è possibile visualizzare direttamente sull'immagine ogni dettaglio relativo alle strutture rilevate. Il modello 3D ottenuto permette di compiere non solo diversi tipi di analisi, come operazioni di misura, valutazioni sullo stato di conservazione o sulla tecnica costruttiva, ma soprattutto di eseguire la restituzione vettoriale nelle tre dimensioni, ottenendo una rappresentazione geometricamente corretta degli elementi sottoposti a scansione. Questa può essere ulteriormente arricchita attraverso la sovrapposizione di ulteriori informazioni, come ad esempio l'indicazione delle aree sottoposte ad alterazioni o a patologie di degrado.

Il sistema di rilievo sperimentato ha prodotto modelli tridimensionali geometricamente affidabili e con un elevato dettaglio di informazioni, che non solo consentono una migliore conoscenza geometrica dell'anfiteatro romano, base fondamentale per gli eventuali interventi di tutela, conservazione e restauro, ma anche di comunicare le strutture rilevate in maniera immediata sia all'utente specialistico, sia al grande pubblico.

L.C.

4. LA COMUNICAZIONE DI LUCCA ROMANA: IL MODELLO 3D DELLA CITTÀ E SPERIMENTAZIONE CON XVR

Per restituire una percezione di Lucca romana nella sua compiutezza, è stato innanzitutto realizzato un modello tridimensionale della città attuale, il cui impianto conserva numerose evidenze del tessuto urbano antico.

Il modello 3D, creato in ambiente AutoCad 2006, è stato ottenuto mediante estrusione utilizzando la Carta Tecnica Regionale come base per le linee

di ingombro a terra degli edifici e la Carta dei Tetti per determinarne le altezze alla falda. Successivamente, grazie alle informazioni elaborate all'interno del Sistema Informativo LUCA, è stato costruito il modello tridimensionale di Lucca romana, in cui sono rappresentati in maniera schematica ma scientificamente corretta il circuito murario, i principali monumenti e i tracciati viari che ancora oggi qualificano la città come romana.

Entrambi i modelli sono stati importati nel software di modellazione tridimensionale Maya 2009 e sottoposti ad ulteriori elaborazioni. Inizialmente è stata eseguita una procedura di semplificazione – il modello finale è composto da circa 90.000 poligoni – e pulitura del modello, sia per un migliore adattamento alle esigenze del rendering interattivo, sia per diminuirne le dimensioni e, conseguentemente, il tempo di download.

Successivamente è stata precalcolata la componente diffusiva dell'illuminazione globale emessa dal cielo; infatti, questa componente è invariante rispetto all'angolo di visuale e può essere facilmente precomputata al fine di ridurre la quantità di calcoli da effettuare in tempo reale. I valori ottenuti dalla procedura di precalcolo sono stati memorizzati "per vertice", piuttosto che tramite "lightmap", così da ridurre ulteriormente le dimensioni del modello finale senza avere visibili riduzioni della qualità visiva finale.

A tale componente luminosa precalcolata vengono aggiunte, in tempo reale, le componenti diffuse e speculari della luce solare. Come ulteriore contributo ad un più marcato fotorealismo verranno in futuro aggiunte una "shadow map" e il calcolo dell'"ambient occlusion" al fine di accentuare i contrasti e dare maggior risalto ai volumi degli oggetti. L'integrazione di queste tecniche ha permesso di ottenere una convincente illuminazione in tempo reale sia per il modello di Lucca attuale che per quello di Lucca romana.

Per una migliore percezione del collocamento delle strutture, il modello viene visualizzato su una base bidimensionale costituita da alcune mappe di diversa epoca quali quella del Catasto Nuovo (1837-1838), del Catasto Vecchio (1873), la pianta dei ritrovamenti archeologici di SOMMELLA e GIULIANI (1974) o una mappa estratta da Google Earth (Fig. 9).

Tutte le mappe sono ad alta risoluzione (fino a 24 Megapixel); per ottimizzarne la gestione, esse sono state suddivise in settori quadrati di piccole dimensioni successivamente affiancati in fase di visualizzazione.

Per la rappresentazione interattiva dei modelli tridimensionali su web, finalizzata alla comunicazione di Lucca romana, è stata utilizzata la tecnologia XVR, sviluppata dal laboratorio PERCRO (Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa) e da VRMedia s.r.l (Figg. 10, 11).

XVR⁴ è un framework per lo sviluppo di applicazioni di Realtà Virtuale che negli anni si è evoluto verso una tecnologia a tutto tondo, in grado di realizzare grazie alla sua modularità una vasta gamma di applicazioni

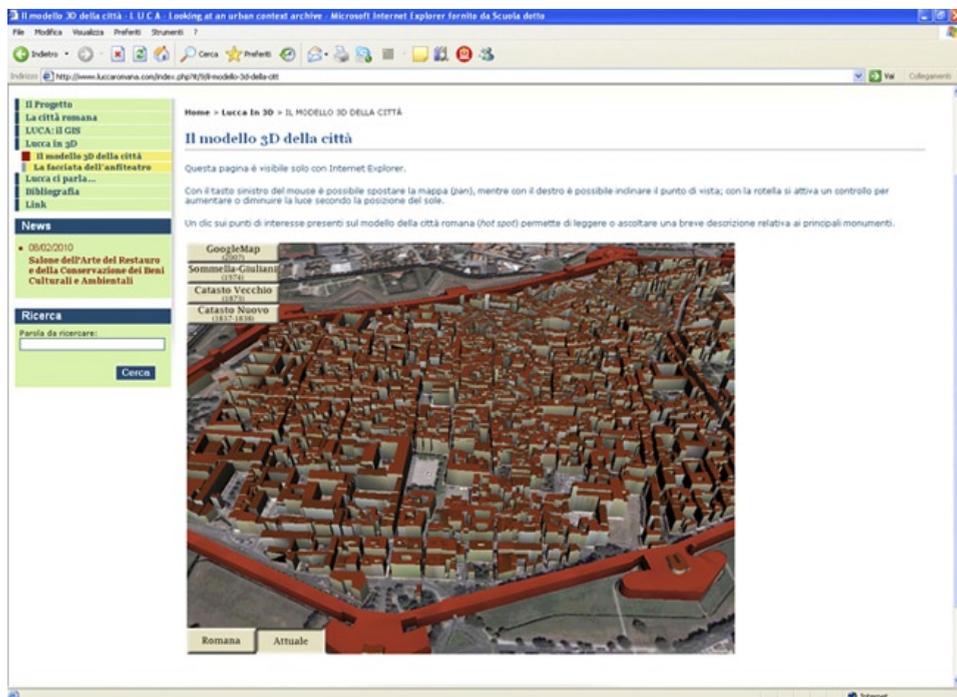


Fig. 9 – Sito www.luccaromana.com: pagina dedicata all'esplorazione del modello 3D della città realizzata utilizzando XVR (immagine relativa a Lucca attuale).

interattive, che vanno dai prototipi per esperimenti scientifici alla gestione di applicazioni complesse (CARROZZINO *et al.* 2005). Oltre a fornire il livello di supporto al Web3D, XVR è in grado di gestire molteplici dispositivi per la Realtà Virtuale, come trackers, mouse 3D, interfacce aptiche, dispositivi per il motion capture, sistemi per le proiezioni stereo, e usa un motore per la grafica tridimensionale in tempo reale adatto anche per la visualizzazione di presentazioni multimediali interattive per installazioni off-line.

Tra i vari contenitori che XVR può utilizzare per le proprie applicazioni vi sono anche i web browser su piattaforma Microsoft Windows, per i quali è disponibile come plug-in; ad oggi sono supportati Internet Explorer in tutte le sue versioni, tramite un controllo ActiveX, e Firefox fino alla versione 2, attraverso un'estensione di terze parti. Il plug-in è di dimensioni estremamente contenute al fine di consentirne lo scaricamento anche su connessioni con banda limitata; l'installazione è necessaria una sola volta ed avviene automaticamente all'atto dell'apertura di una pagina web che include contenuti XVR. È inoltre attivo un meccanismo di caching che consente di memorizzare

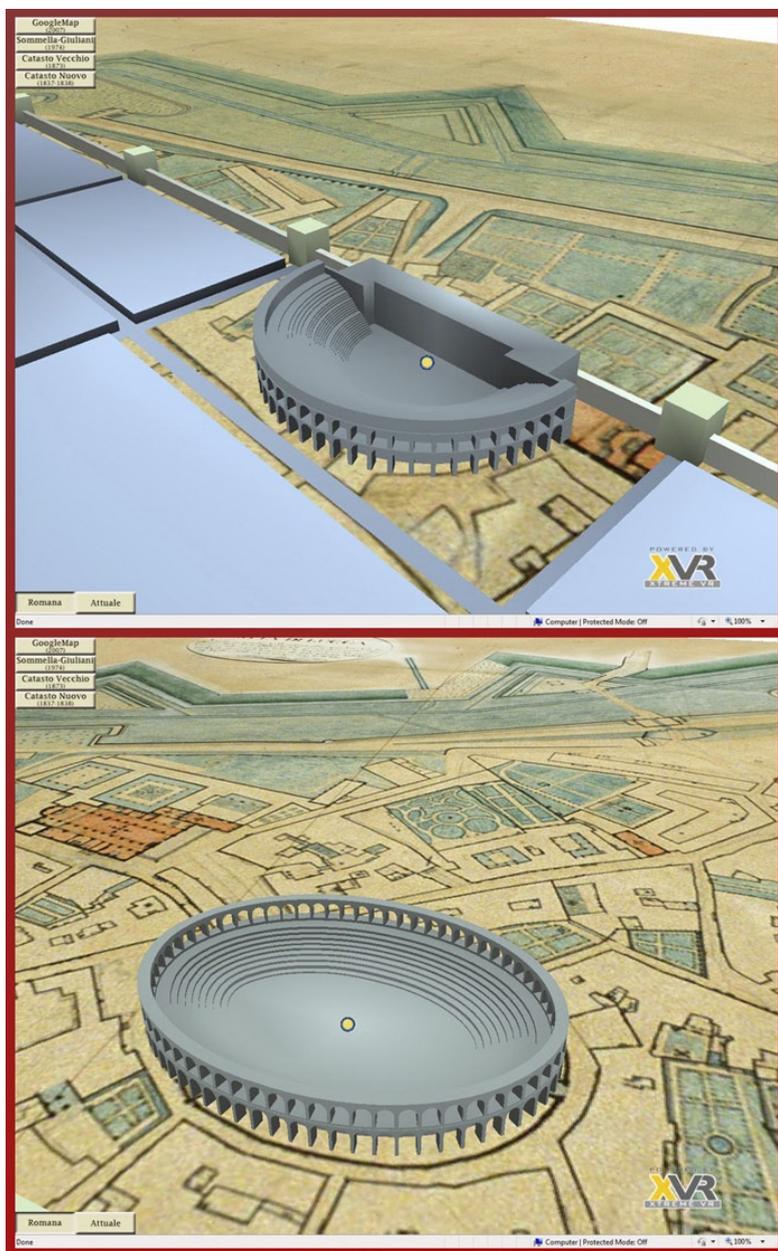


Fig. 10 – XVR: particolare della ricostruzione3D di Lucca romana. In alto il teatro, in basso l’anfiteatro. Lo sfondo è costituito dal Catasto Nuovo del 1837-1838 (Archivio di Stato di Lucca, Catasto Nuovo 454).

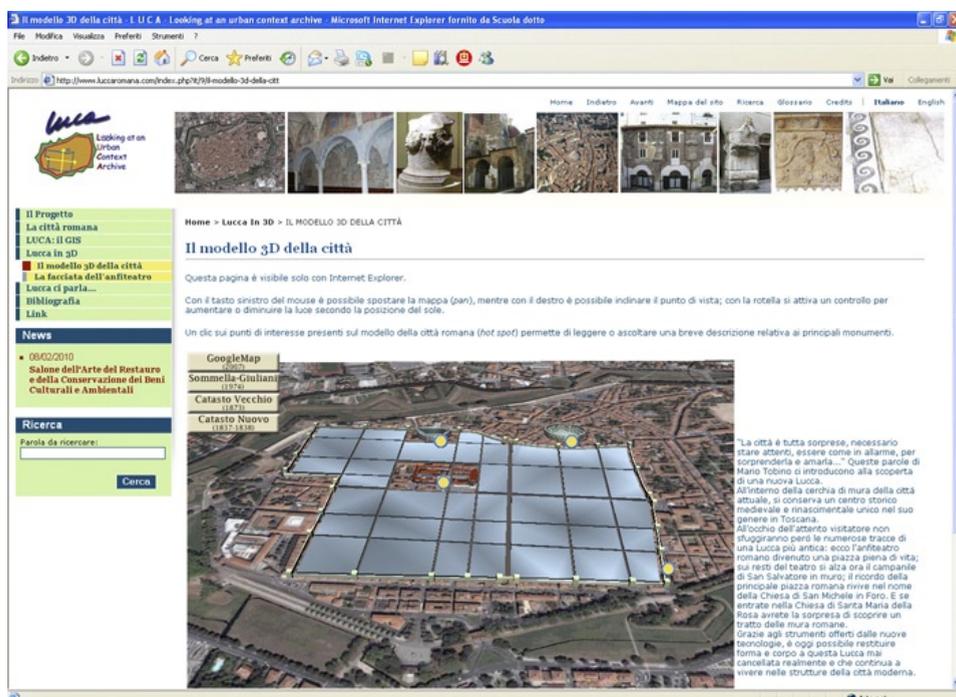


Fig. 11 – Sito web www.luccaromana.com: pagina dedicata all'esplorazione del modello 3D della città realizzata utilizzando XVR (immagine relativa a Lucca romana).

temporaneamente su disco i dati relativi alle diverse applicazioni 3D al fine di minimizzare i tempi di attesa per le esecuzioni successive alla prima.

L'applicazione web, realizzata utilizzando la tecnologia XVR, consente di navigare interattivamente all'interno dei modelli tridimensionali, permettendone la visualizzazione da varie angolazioni e distanze, così da consentire di analizzare i dettagli di maggior interesse. Grazie ad un opportuno comando dell'interfaccia grafica è possibile passare dalla visualizzazione di Lucca attuale a quella di Lucca romana: l'utente può così percepire in tempo reale la sovrapposizione tra le "due città". Nel modello 3D di Lucca romana, i principali monumenti della città (le mura, il foro, il teatro e l'anfiteatro) sono contraddistinti da punti di interesse interattivi (hot spot), selezionando i quali il visitatore può leggere o ascoltare una loro breve descrizione. L'interfaccia utente permette inoltre di variare la posizione della luce solare, modificando

⁴ Per informazioni più dettagliate su XVR cfr. <http://www.vrmedia.it/Xvr.htm>.

quindi interattivamente le condizioni luminose globali, e di muovere la telecamera virtuale secondo tutti i gradi di libertà.

La possibilità di visualizzare un monumento nella sua interezza e nel contesto storico di appartenenza, con una serie di informazioni correttamente collocate geograficamente, rende questa sperimentazione uno strumento particolarmente efficace per la conoscenza della città antica. La visione sincronica e allo stesso tempo diacronica delle informazioni permette inoltre all'utente di individuare le relazioni spaziali e temporali fra luoghi e monumenti e di percepire le trasformazioni subite dalla città nel corso dei secoli.

L.C., M.C., R.L.

5. LUCAWEB: UN SITO INTERNET PER LA COMUNICAZIONE DI LUCCA ROMANA

Per restituire una descrizione complessiva di Lucca romana, frutto delle ricerche e delle sperimentazioni presentate nei paragrafi precedenti, è stato realizzato il sito Internet <http://www.luccaromana.com/>.

Il sito è stato costruito utilizzando Museo&Web, un CMS Open Source sviluppato all'interno delle attività condotte dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali nell'ambito del Progetto europeo MINERVA (MINisterial NETwoRk for Valorising Activities in digitisation)⁵, che ha l'obiettivo di sfruttare le potenzialità delle nuove tecnologie per favorire la diffusione in rete e l'accessibilità del patrimonio culturale e scientifico.

La caratteristica principale di Museo&Web è quella di rispondere da una parte all'esigenza di uniformità dei siti delle istituzioni culturali, dall'altra alla richiesta di semplificazione del reperimento di informazioni in rete espressa dagli utenti finali, compresi quelli che sono tutelati dalla legge italiana e internazionale in quanto diversamente abili⁶. Secondo le regole di accessibilità e usabilità, Museo&Web permette infatti una consultazione dei contenuti indipendentemente dalla tecnologia usata dall'utente in rete, è navigabile attraverso le tecnologie assistive e rende possibile l'ingrandimento dei caratteri.

Il prototipo Museo&Web è stato adattato a un sistema integrato di Content Management System (CMS), sistema software che consente anche ai non esperti di tecnologie informatiche di realizzare e gestire un sito web dalla nascita della struttura fino alla pubblicazione dei contenuti informativi.

Utilizzando il CMS Museo&Web è infatti possibile creare, modificare e controllare sia singole pagine, sia intere sezioni logiche del proprio sito, stabilendo regole, ruoli e livelli di accesso secondo le specifiche esigenze. Il

⁵ Per il CMS Museo&Web: <http://www.minervaeurope.org/structure/workinggroups/user-needs/prototipo/cms.html>; per il Progetto MINERVA: <http://www.minervaeurope.org/>.

⁶ Legge 9 gennaio 2004, n. 4, comunemente chiamata Legge Stanca.

CMS Museo&Web, sviluppato ampliando le classiche funzionalità di editing di testi e di immagini, mette a disposizione una serie di moduli e sotto-moduli che consentono il mantenimento di strutture gerarchiche fra le pagine, link incrociati, la formattazione di testi, l'inserimento di immagini e file multimediali, il multilinguismo, la gestione di news, forum, eventi e rassegna stampa e molte altre funzionalità, come ad esempio il catalogo degli oggetti del museo e la possibilità di pubblicare percorsi tematici, perfettamente integrabili con il sistema di base e realizzati secondo le esigenze più specifiche.

Il sito www.luccaromana.com propone molteplici percorsi conoscitivi relativi alla città antica grazie a modalità di accesso diverse e inedite: è infatti articolato in una serie di sezioni, che consentono una visita dinamica della città romana attraverso più livelli, che variano da schede sintetiche relative ai principali monumenti (*La città romana*), al progetto GIS (*LUCA: il GIS*), alle ricostruzioni tridimensionali della città (*Lucca in 3D*).

Le pagine della sezione *La città romana* contengono le conoscenze scientifiche di base necessarie al visitatore per orientarsi anche negli altri percorsi, suddivise in schede distinte per facilitare la consultazione e il reperimento delle singole informazioni (La fondazione, Le mura, Il foro, Il teatro, L'anfiteatro, Le abitazioni, Le strade). All'interno di ogni pagina è inserita una galleria fotografica, che tramite immagini e disegni rende facilmente fruibili i dati.

Nella sezione successiva *LUCA: il GIS*, l'utente può invece accedere a una sintesi del progetto GIS, qui illustrato nel paragrafo 2 e fulcro di tutta la ricerca.

Nella pagina *I siti archeologici* è stata sperimentata nel CMS Museo&Web l'introduzione di una mappa interattiva di Google. Sulla mappa che appare, opportunamente centrata su Lucca e con la modalità "foto satellitare" attiva, sono stati inseriti i classici segnaposto di Google (POI - *Point of Interest*) che individuano i siti e i monumenti archeologici censiti. Ogni punto può essere interrogato con un semplice click del mouse e si apre la finestra informativa di Google con una sintesi sul sito o sul monumento archeologico selezionato (Fig. 12). La mappa può essere navigata con gli strumenti tipici di zoom e pan e, se utili, possono essere attivate le visualizzazioni "mappa", "ibrida" e "terreno", in alternativa alla vista satellitare (NEGRI 2009).

Nella sezione *Lucca in 3D*, la pagina *Il modello 3D della città* permette la navigazione all'interno dei modelli tridimensionali di Lucca attuale e Lucca romana, descritti nel paragrafo precedente, mentre la pagina *Il modello 3D della facciata dell'anfiteatro* consente di visualizzare i risultati ottenuti grazie alla sperimentazione con lo ZScan.

Conclude la visita a Lucca romana la sezione *Lucca ci parla*, dove le parole di Mario Tobino guidano l'utente a una visita insolita per le vie e le piazze della città moderna attraverso una serie di video.

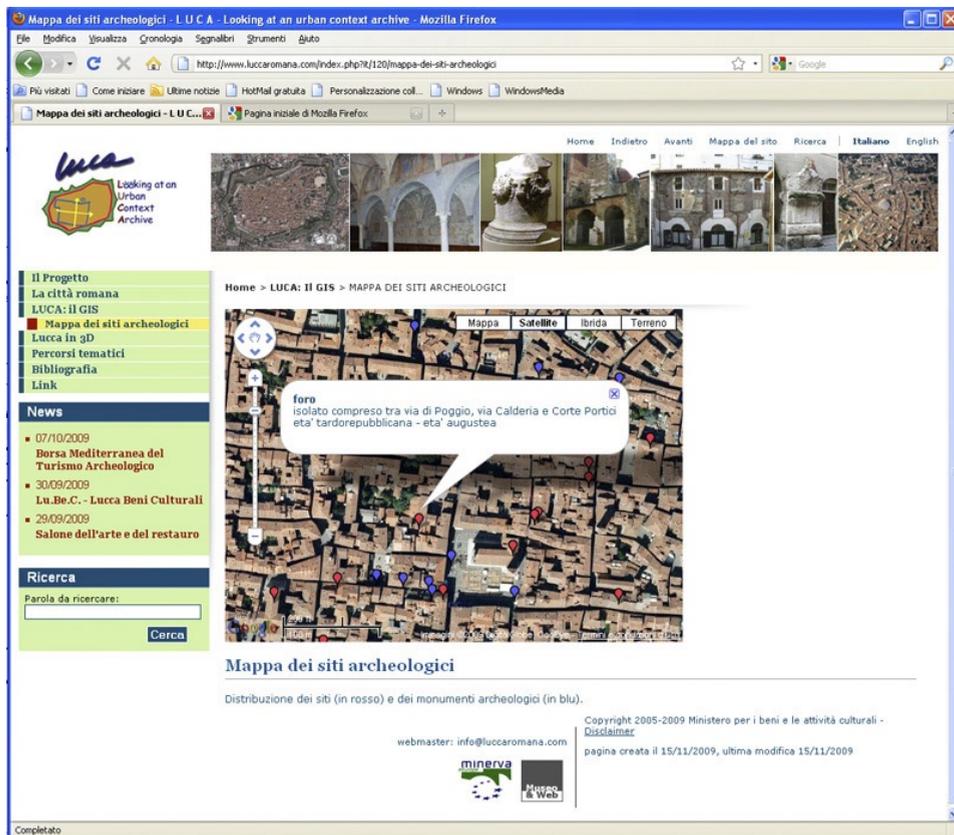


Fig. 12 – Sito web www.luccaromana.com: pagina relativa alla mappa di Google con la localizzazione dei siti e dei monumenti archeologici. Nella finestra informativa i dati relativi al foro.

L'utente ha infine la possibilità di consultare sia la bibliografia relativa a Lucca romana, sia quella di riferimento alle tecnologie e metodologie innovative applicate nella ricerca e di scaricare alcuni degli articoli citati.

6. CONCLUSIONI

L'utilizzo e la sperimentazione delle ICT possono arricchire il processo di conoscenza del patrimonio archeologico, e più in generale dei Beni Culturali, e nel contempo fornire un prezioso aiuto nelle operazioni di conservazione, gestione e valorizzazione. In questo contesto va comunque sottolineato che le nuove tecnologie non devono e non possono sostituire

la figura dell'esperto dei Beni Culturali o superare il suo bagaglio di competenza ed esperienza, ma essere un supporto nelle analisi e nei processi decisionali.

Le nuove tecnologie applicate in questa ricerca hanno consentito da una parte di archiviare ed elaborare un'enorme quantità di dati relativi a Lucca romana, dall'altra di trasmettere e comunicare in maniera più ampia il valore e l'importanza del patrimonio archeologico della città, configurandosi come gli strumenti più idonei attraverso i quali la conoscenza può raggiungere dimensioni e contesti culturali fra loro diversi e distanti nel tempo e nello spazio. Grazie alle nuove tecnologie i beni archeologici di Lucca sono stati considerati non solo come testimonianza materiale di una storia passata, ma soprattutto come elementi che ancora adesso determinano delle relazioni spaziali e di significato con la città di oggi. In questo contesto vanno considerati anche quei siti archeologici che, sebbene non più visibili e riconoscibili, hanno avuto un ruolo fondamentale nei processi di formazione della città.

La comprensione del tessuto urbano odierno come risultato di un processo storico dalle lunghe radici si fonda sulla capacità di mettere in relazione nel tempo e nello spazio i monumenti antichi. Di conseguenza la città diventa un museo all'aperto: le evidenze e i contesti archeologici non hanno un significato univoco, ma diventano significanti in rapporto alla dimensione temporale in cui sono collocati.

In questa prospettiva è fondamentale tenere in considerazione l'accesso a tutte queste informazioni da parte di un pubblico di non addetti ai lavori: applicazioni diversificate, all'interno di un progetto coerente, supportate da strumenti espressivi diversi come ricostruzioni tridimensionali, audio, video e immagini, contribuiscono a comunicare in maniera diretta e immediata contesti pluristratificati dalla lettura scientifica altamente complessa.

Conoscere la città antica è fondamentale perché essa sia rispettata, tutelata e continui a vivere e rappresentare il punto di riferimento dell'identità dei suoi abitanti.

L.C.

LORENZA CAMIN
IMT Alti Studi Lucca

MARCELLO CARROZZINO, ROSARIO LEONARDI
PERCRO, Scuola Superiore S. Anna, Pisa

ANTONELLA NEGRI
Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione
Ministero per i Beni e le Attività Culturali

Ringraziamenti

Ringrazio sentitamente il dott. Giulio Ciampoltrini (Soprintendenza per i Beni Archeologici della Toscana) per avermi dato l'opportunità di studiare tutte le testimonianze archeologiche relative a Lucca romana, il prof. Paolo Sommella ("Sapienza" Università di Roma) per avermi messo a disposizione il suo lavoro, il prof. Massimo Bergamasco per avermi dato la possibilità di utilizzare XVR, la dott.ssa Marina Brogi e il dott. Sergio Nelli (Archivio di Stato di Lucca) per avermi accordato il permesso di pubblicare on-line alcuni documenti conservati nel loro Istituto, la dott.ssa Maria Teresa Natale (OTEBAC) per aver accolto la mia richiesta di utilizzare il CMS Museo&Web, la dott.ssa Francesca Ceccaroni, l'ing. Luca Menci, il dott. Marco Ghezzi e il dott. Mirko Francioni (Menci Software, Arezzo) per l'aiuto che mi hanno fornito durante tutte le fasi della sperimentazione con lo ZScan, l'arch. Alessandra di Tommaso per avermi aiutato a realizzare la base dei modelli 3D relativi a Lucca attuale e a Lucca romana.

BIBLIOGRAFIA

Tutta la bibliografia relativa a Lucca romana è consultabile all'indirizzo Internet: <http://www.luccaromana.com/>.

CAMIN L. 2006, *A city revealed. New technologies increase our knowledge of Roman Lucca*, in M. IOANNIDES, D. ARNOLD, F. NICCOLUCCI, K. MANIA (eds.), *The e-evolution of Information Communication Technology, 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage, Short papers* (Nicosia, Cyprus, 2006), Budapest, Prime Rate, 24-28.

CARROZZINO M., TECCHIA F., BACINELLI S., CAPPELLETTI C., BERGAMASCO M. 2005, *Lowering the development time of multimodal interactive application: the real-life experience of the XVR project*, in *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE 2005 (Valencia, Spain, 2005)*, vol. 265, New York, ACM, 270-273 (<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1178524>).

CECCARONI F. 2005, *Generazione di ortofoto ad alta risoluzione su scansione laser: il sistema Z-Map di Menci Software*, «Geomedia», 1, 26-28.

GHEZZI M., SANTARSIERO D. 2009, *ZScan: scansione tridimensionale digitale*, «Archeomatica», 0, 38-40 (<http://www.wobook.com/WBcN0tz13x1N>).

MENCI L., NEX F., RINAUDO F. 2007, *ZScan Menci Software: un nuovo strumento per le elaborazioni fotogrammetriche multimmagie*, in *Atti 11ª Conferenza Nazionale ASITA (Torino 2007)* (<http://www.attiasita.it/Asita2007.html>).

NEGRI A. 2009, *Inserimento di una mappa Google nella pagina del CMS Museo&Web* (<http://www.minervaeurope.org/structure/workinggroups/userneeds/prototipo/cms/tutorial.html>).

SOMMELLA P., GIULIANI C.F. 1974, *La pianta di Lucca romana*, Quaderni dell'Istituto di Topografia Antica, VII, Roma, De Luca.

L.C.

ABSTRACT

This article describes the results of a project related to IT applied to the city of Lucca in the Roman era (*Tecnologie informatiche per la conoscenza e la comunicazione di Lucca romana*), which was conducted as part of a Ph.D. program in Technologies and Management of Cultural Heritage at the Institute for Advanced Studies IMT Lucca. The work done can be divided into three separate stages, each of which is distinguished by the utilization of specific surveying tools. The first to be set up was GIS LUCA (*Looking at an Urban Context Archive*),

where all the existing documentation on Roman Lucca was archived (maps, iconography, surveys, images, descriptive data).

The information processed in LUCA provided data for the creation of the three-dimensional model of Roman Lucca, whereby the walls, main monuments and arteries, which still identify the town as Roman today, are represented in a schematic yet scientifically correct way. Additional experimentation was conducted as part of the research. Using an innovative three-dimensional relief technique, the ZScan, which enables cloud points to be taken from a photographic scan, three-dimensional models of the pillars of the eastern gate were elaborated, as well as three arches of the Roman amphitheatre that have been particularly well preserved. Lastly, the website www.luccaromana.com was created to publish the results that were obtained. The site proposes numerous knowledge paths around the ancient town by means of a range of highly innovative access methods, that provide a global yet synthetic description of Roman Lucca, which is a result of the research and experimentation conducted as part of the project.

