

IL RILIEVO DELLA CINTA URBICA DI AUGUSTA PRÆTORIA

Lorenzo Appolonia, Gaetano De Gattis, Paolo Salonia*

Introduzione

Tra le città murate sicuramente Aosta merita un posto di assoluto rispetto, come testimoniano del resto anche le descrizioni di diversi visitatori dei secoli passati.

La città, come oggi ancora si mostra, è ricca delle vistose tracce della sua romanità, ma è il circuito delle mura urbane il segno più esplicito dell'impianto originario.¹

La pianta di *Augusta Prætoria* (colonia romana del 25 a.C.) rivela un rigoroso e prestabilito piano regolatore e i numerosi monumenti noti da tempo, insieme con le strutture affiorate dagli scavi, permettono di esaminare il complesso anche sotto il profilo urbanistico.²

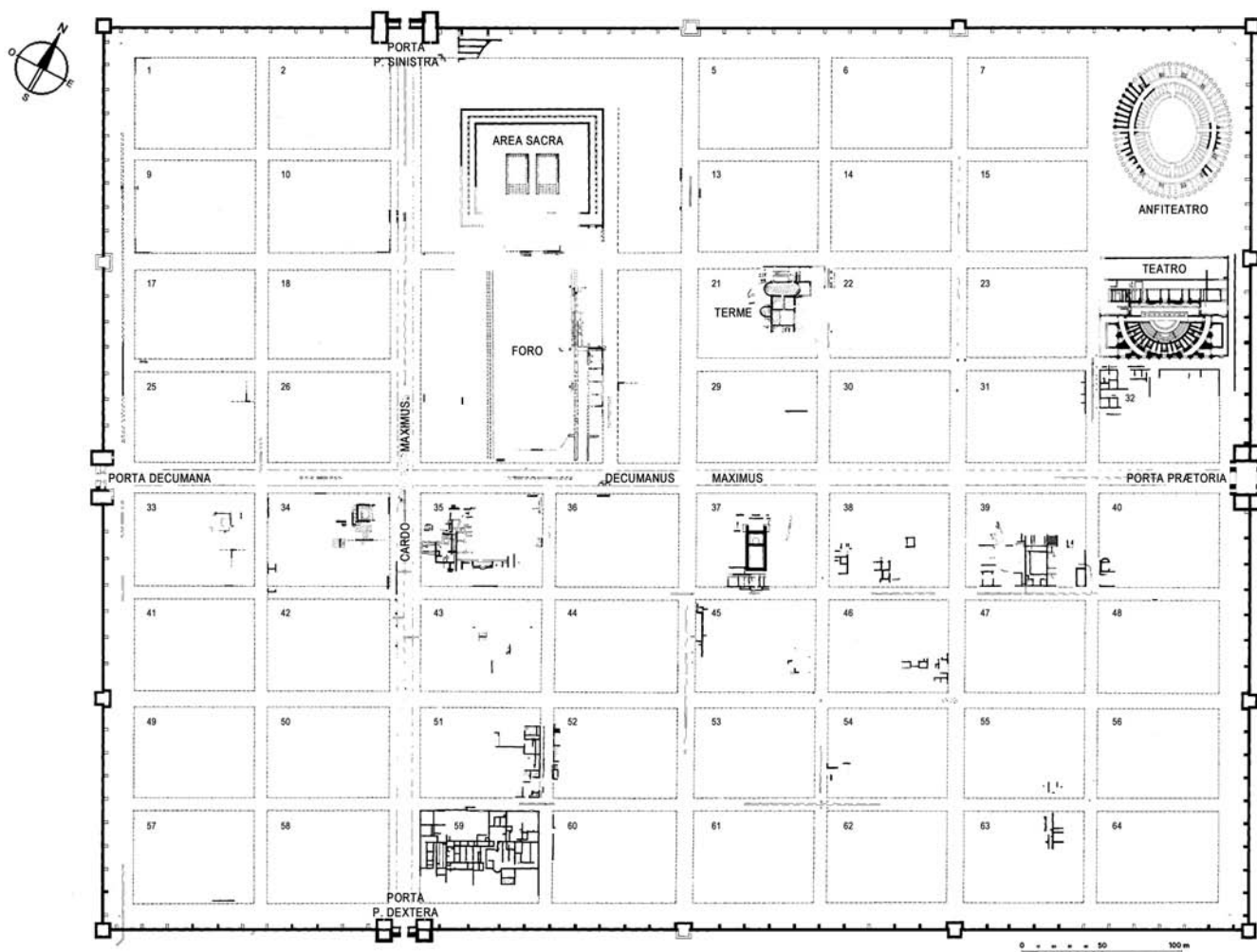
Le mura di *Augusta Prætoria* delimitano un rettangolo di 727,5 per 574,0 m (fig. 1); il loro spessore misura alla base oltre 2 m e decresce per riseghe successive su una altezza totale di circa 8 m. Esse presentano un paramento esterno in *opus quadratum* di blocchi di travertino mentre all'interno la struttura in *opus cæmentitium* è rivestita in *opus incertum* costituito da bocce di fiume spaccate annegate nella malta di calce (fig. 2). Contraffortate a

intervalli regolari e rinforzate da un *agger* sostenuto da un muro di controscarpa, le mura rappresentano la delimitazione monumentale, sacrale, giuridica e difensiva della colonia romana.

Lungo il perimetro erano distribuite venti torri quadrangolari, quattro delle quali agli angoli.

La comunicazione, attraverso la cinta difensiva con il territorio circostante, era stabilita da quattro porte distribuite su ciascuno dei lati in corrispondenza degli assi principali della città. Ad oriente si apriva la grandiosa e monumentale *Porta Prætoria*, a tre fornici e cortile d'armi, ad occidente la *Porta Decumana*, anch'essa a tre fornici di cui era nota la torre settentrionale, mentre di quella meridionale sono state rinvenute le fondazioni rasate negli ambienti interrati della Biblioteca regionale. A settentrione si apriva la *Porta Principalis Sinistra* e a sud la *Porta Principalis Dextera*.³

Nell'articolazione della viabilità intramurana si possono riconoscere tre gerarchie di percorsi. Il più importante era rappresentato dal *Cardo* e il *Decumanus maximus* (che



1. Planimetria di Augusta Prætoria raffigurante il tipico impianto urbanistico a castrum.



2. Esempio di conservazione dell'antico paramento esterno delle mura.
(P. Salonia)

costituivano un punto di transito obbligato per i viaggiatori diretti ai valichi alpini o da essi provenienti), in corrispondenza dei passaggi centrali attraverso le porte della città. Seguivano, poi, le strade attestate alle torri, che suddividevano lo spazio interno alle mura in isolati ed infine la viabilità terziaria che delimitava le *insulæ*.

Nonostante la continuità planimetrica dell'apparato architettonico, l'attuale aspetto delle mura appare compromesso dagli eventi che si sono succeduti nel corso del tempo: crolli, rimaneggiamenti, usi impropri hanno introdotto soluzioni di continuità nell'*unicum* del documento.

A fronte di una situazione a diversi livelli di rischio e, quindi, da tenere sotto osservazione, la Regione Autonoma Valle d'Aosta, nello specifico mediante la Soprintendenza per i beni e le attività culturali, ha maturato la giusta e consapevole decisione di realizzare una completa documentazione di rilievo, geometrica e morfologica, dell'intera cinta muraria di *Augusta Prætoria*, al fine di ottenere uno strumento di conoscenza in base al quale pianificare azioni successive di restauro conservativo del monumento.

A tale scopo, è stata avanzata all'Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ITABC-CNR)⁴ una richiesta di collaborazione per la realizzazione di un rilievo strumentale della cinta muraria.

Nel presente articolo si illustra la metodologia adottata ed i risultati raggiunti nel corso della sperimentazione di sistemi innovativi di rilievo fotogrammetrico stereoscopico, utilizzati nelle diverse fasi operative che si sono sviluppate

anche come vero progetto di ricerca, nell'ambito del Protocollo d'Intesa tra la Regione Autonoma Valle d'Aosta e lo stesso CNR.

Tale attività ha rappresentato non solo una valida occasione per sperimentare sistemi innovativi di rilievo strumentale, sviluppati negli ultimi anni e capaci di ottimizzare i tempi di acquisizione, pur garantendo l'affidabilità del risultato, ma soprattutto ha permesso di realizzare una documentazione che, per vastità e per caratteristiche dell'ambiente di consultazione, è da ritenersi unica, oltre che pienamente rispondente alle esigenze di tutela e conservazione della Pubblica Amministrazione.

Il progetto di rilievo

Nel corretto approccio al rilievo, inteso come insieme complessivo di azioni per una "conoscenza integrata" del manufatto architettonico da conservare e tutelare, momento fondamentale è rappresentato dal rilievo geometrico.

L'innovazione introdotta dalle tecnologie emergenti, anche in questo settore, ha contribuito ad esaltare ulteriormente le potenzialità cognitive della fase preposta alla "misura".

Attualmente, le consolidate procedure della fotogrammetria terrestre⁵ traggono notevole vantaggio dai sistemi digitali, che aprono scenari di estremo interesse nella definizione di ambienti all'interno dei quali il dato relativo alla consistenza geometrica si integra, senza perdita di rigore, con altre informazioni di tipo qualitativo, morfologico e di colore, specifiche del documento fotografico.⁶

Il concetto fondamentale, sul quale si è impostata l'attività, anche sperimentale, che si presenta, poggia sul convinci-

mento che le tecnologie e le metodologie, nate tipicamente per affrontare problematiche alla scala territoriale, siano strumenti validi per un approccio conoscitivo, scientificamente rigoroso, alla scala del costruito, costituito dall'ampia casistica dei beni culturali immobili. È indubbia infatti la completa analogia delle due diverse situazioni, laddove, in entrambi i casi, ci si confronta con realtà caratterizzate da una propria dimensione fisica, quindi misurabile, e da specifiche peculiarità fenomenologiche, quindi descrivibili.

Con questa premessa, si pone la domanda di cosa si debba intendere per processo conoscitivo, quando questo possiede diversificate finalità, orientate su altrettanti specifici ambiti disciplinari (spesso tra loro fortemente interagenti), che vanno dalla storia dell'arte all'architettura, dalla individuazione del quadro delle patologie alla pianificazione degli interventi conservativi.

Tale processo si basa, nella fase iniziale, sulle operazioni di rilievo, finalizzate al controllo della consistenza dimensionale, alla caratterizzazione delle diverse tipologie descrittive (storia, tecniche, materiali, forma e natura del degrado, ecc.) e alla creazione della base sulla quale operare le successive analisi e tematizzazioni.

Nella fase successiva, deve potersi avvalere, dunque, di un ambiente di visualizzazione e fruizione dei dati, all'interno del quale sia possibile gestire una ricostruzione della realtà in modo altamente flessibile, cioè utile alle diverse tipologie di utenti finali.

Fondamentale in questo ambiente, come detto, è il ruolo del controllo geometrico della realtà rappresentata.

Sappiamo come, per prassi oramai consolidata, la procedura usuale consista nel restituire graficamente ciò che è contenuto nelle immagini, mediante digitalizzazione di stereo restituzioni che si avvalgono di punti di appoggio noti, topograficamente rilevati, nelle tre coordinate x, y e z, durante le fasi di acquisizione.

Ma il concetto stesso di restituzione implica, inevitabilmente, un passaggio interpretativo, per sua stessa natura soggettivo. Questo comporta una perdita (o almeno una alterazione) di informazione: dal reale si passa ad una sua astrazione.

Viceversa, l'immagine fotografica possiede un contenuto informativo completo e pienamente rispondente alla realtà, sia sotto il profilo quantitativo-dimensionale (geometrico), sia sotto quello qualitativo-fenomenico (descrittivo).

Il *target* perseguito, allora, diviene la creazione di un ambiente dove l'utente finale abbia a disposizione la sola immagine fotografica geometricamente controllata e su questa poter operare le diverse funzioni di analisi, di interpretazione e di progetto, escludendo quel passaggio grafico, del quale si parlava precedentemente, che si andrebbe a porre come filtro tra la realtà in esame e il soggetto analista/progettista.⁷

Scelte metodologiche e tecnologiche

Nel caso specifico, si è trattato della realizzazione completa della copertura stereoscopica dell'intera cinta muraria, necessaria per la predisposizione di una base scientifica di dati geometrici, utile per la valutazione dello stato di



3. Tratto di mura sul lato sud interno. (P. Salonia)



4. Tratto di mura sul lato sud esterno verso l'angolo ovest. (P. Salonia)



5. Tratto di mura sul lato sud esterno verso l'angolo est. (P. Salonia)



6. Tratto di mura sul lato sud interno. (P. Salonia)

conservazione del monumento e per la pianificazione dei successivi interventi di restauro conservativo e che fosse consultabile con modalità di navigazione ed esplorazione in ambiente 3D mediante concatenamento dei modelli creati. La realizzazione di un programma di lavoro così vasto e, per certi versi, unico nel suo genere, proprio in considerazione della estensione del manufatto e della qualità della documentazione da produrre, ha comportato, in termini di risorse umane, tempi e materiali, un notevole impegno.

Dal punto di vista operativo, infatti, il rilievo ha presentato numerosi e diversificati problemi, anche di tipo logistico. Ci si riferisce soprattutto alla copertura fotografica, in considerazione sia dell'estrema eterogeneità morfologica e geometrica del manufatto, dovuta anche al diverso stato di conservazione, sia delle diverse condizioni di interferenza con il tessuto urbano circostante.

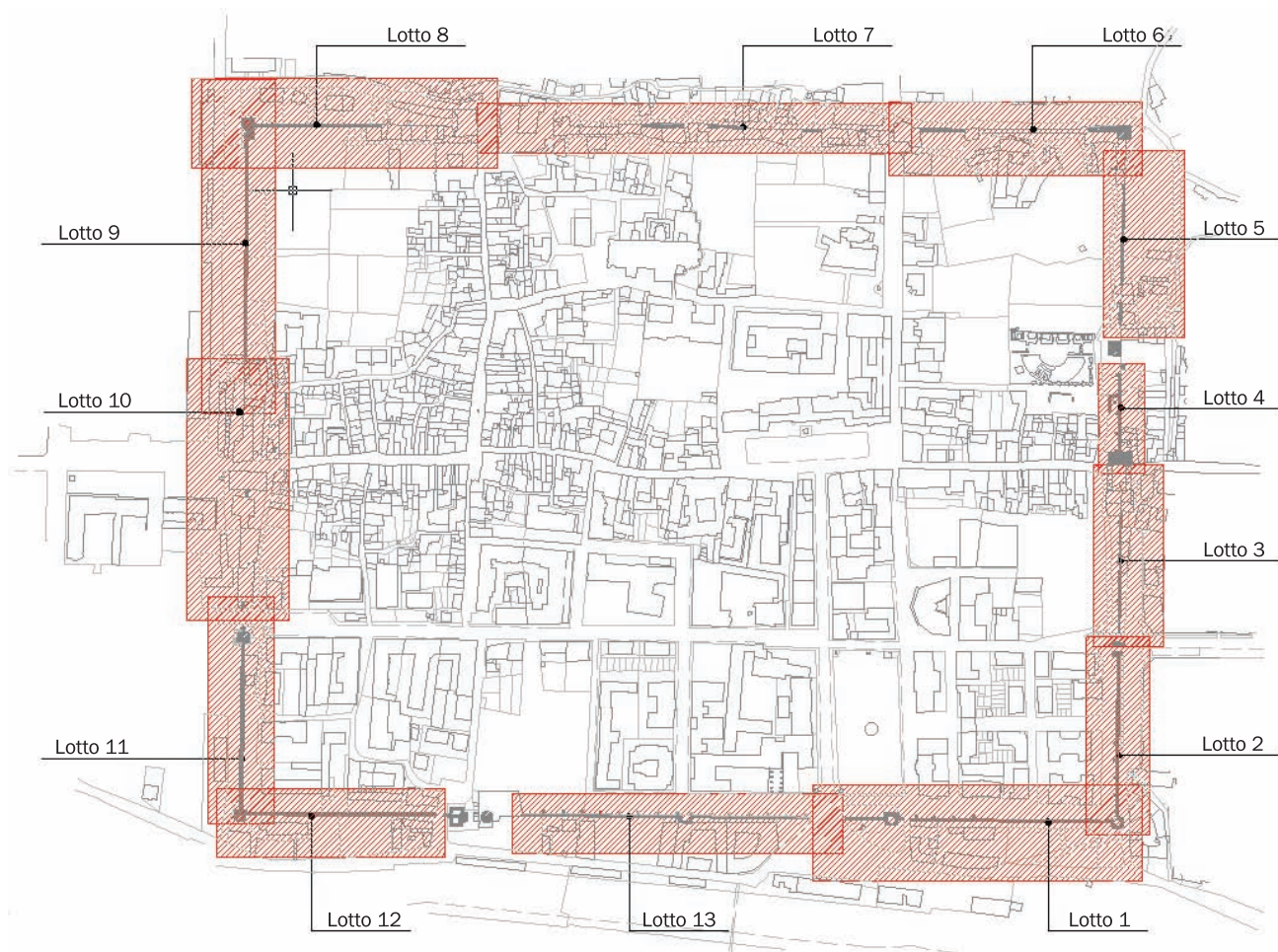
Si passa, infatti, da tratti di mura di altezza contenuta, da poco più di 1 a 3,5 m, ad altri di altezza elevata, circa 6,5 m, da tratti in cui il conglomerato cementizio interno è completamente esposto, ad altri in cui permangono resti del paramento esterno in blocchi di travertino, oppure da situazioni di inserimento di lunghi segmenti all'interno di parchi pubblici ad altre dove il muro è completamente inglobato in nuovi edifici (ad esempio nel caso della Biblioteca comunale) o sovrapposto da nuove costruzioni (figg. 3, 4, 5 e 6).

È stato necessario, in fase di progettazione, programmare il lavoro secondo precisi criteri di carattere tecnico ed organizzativo mirati a razionalizzare, tipicamente nella

fase di acquisizione dei dati, la gestione dell'intera operazione sia dal punto di vista scientifico, sia da quello economico. Questo ha comportato tre scelte sostanziali:

- l'articolazione del rilievo per "stralci" mediante la suddivisione in lotti dell'intero circuito murario sia in fase di progetto, sia durante la fase operativa;
- la scelta di utilizzare metodologie e tecniche speditive che, pur nell'ambito di un'attività di sperimentazione, garantissero comunque una ottimizzazione dei tempi di lavoro, e quindi dei costi, senza entrare in conflitto con l'esigenza di precisione e qualità del prodotto-rilievo;
- la predisposizione e progettazione di un programma di gestione informatizzato per la sistematizzazione e rapida fruizione dei dati acquisiti durante le campagne di rilievo.

Specificatamente, per quanto riguarda il primo punto, il criterio utilizzato per la suddivisione dell'intervento di rilievo in singoli lotti, è stato guidato anche dalla conformazione naturale della cinta muraria nel tessuto urbano che, come precedentemente affermato, presenta interruzioni dei tratti, caratterizzate sia dalla presenza delle torri e delle porte, sia dalle situazioni di più recente compromissione (vani, costruzioni addossate, altro tipo di soluzioni di continuità). Tale criterio di suddivisione ha portato quindi, ad una definizione di lotti con caratteristiche e gradi di difficoltà molto variabili tra loro, per diversità di lunghezza o di altezza dei tratti murari, per la presenza di speroni murari ortogonali al circuito o per la diversa accessibilità agli spazi antistanti. In seguito ad un dettagliato sopralluogo preliminare, durante il quale è stata realizzata anche



7. Planimetria di Aosta: articolazione dell'attività di rilievo per lotti. (Elaborazione ITABC)

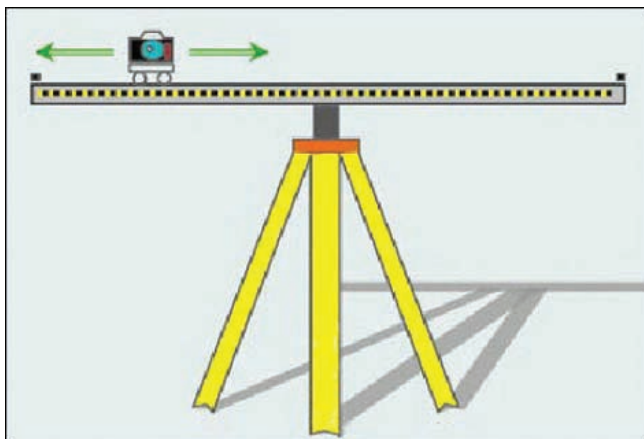
una documentazione fotografica, utile ad una visione immediata delle caratteristiche fisico-geometriche del manufatto, sono stati individuati 13 lotti, suddivisi a loro volta in parte esterna e parte interna (fig. 7).

Relativamente al secondo punto, è stato deciso di sperimentare un sistema speditivo⁸ di ripresa stereofotogrammetrica che, pur rispondendo a caratteristiche di notevole flessibilità e maneggevolezza di utilizzo, garantisce affidabilità dal punto di vista del rigore metrico. Si tratta di un sistema monocamera che trasferisce in ambito digitale la maggior parte dei vantaggi delle bicamere il cui schema risponde alle impostazioni legate ai sistemi di ripresa con stereocamera, applicandone i calcoli ed i principi base di rilevamento, senza le limitazioni proprie della strumentazione e della tecnica tradizionali.

Il sistema applicato alla piccola scala e su oggetti architettonici di dimensioni contenute,⁹ non necessiterebbe di punti topografici di appoggio. Tuttavia, al fine di validare il sistema stesso, considerate le disagiati condizioni di rilievo e l'estensione dei tratti murari da ricoprire, dunque data la necessità fondamentale di irrigidire il controllo metrico del manufatto per tutta la sua notevole estensione, si è effettuata contestualmente anche la ripresa topografica di coordinate di punti significativi con stazione totale *laser*, appoggiata su un sistema di poligoni locali collegate ai capisaldi notevoli della rete topografica della città.¹⁰

Il rilevamento dei punti topografici è stato, inoltre, indispensabile per poter effettuare il concatenamento dei singoli modelli stereoscopici, al fine di fornire una visione unitaria degli interi tratti murari (lotti) esplorabile in un ambiente di navigazione 3D appositamente configurato.

Le riprese stereoscopiche sono state effettuate mediante l'impiego di un'apposita barra di alluminio calibrata, montata su cavalletto topografico, sulla quale è agganciato un piccolo carrello che sostiene la camera fotografica, anch'essa calibrata (in questo caso è stata utilizzata una fotocamera digitale Nikon D-100, con ottica 24 mm). Il carrello consente di far scorrere la camera digitale, garantendone il blocco in apposite posizioni garantite da fori posti a intervalli fissi sulla barra (fotogramma sx e fotogramma dx), che rappresentano la base, nota a priori, della coppia stereoscopica (fig. 8). Il sistema consente la realizzazione di coppie di fotogrammi i cui assi di presa



8. Schema di utilizzazione del sistema speditivo di ripresa stereofotogrammetrica Cyclop II. (Tratto dal sito della Menci Software)

sono esattamente paralleli e a distanza nota, condizioni indispensabili per la misura 3D (fig. 9).

Considerata la specificità dell'oggetto di studio e la necessità di operare valutazioni di tipo geometrico e qualitativo (caratteristiche dei materiali costitutivi, forme di degrado, stato di conservazione del paramento esterno quando presente e del sacco interno, ecc.), la scelta di utilizzare una camera fotografica digitale, rispetto ad una tradizionale, ha consentito di evitare le molteplici fasi intermedie di sviluppo e stampa, nonché quelle successive di scansione che avrebbero apportato significative distorsioni dimensionali e alterazioni cromatiche ai fotogrammi con rilevanti perdite di definizione delle immagini, invalidando la corretta interpretazione e lettura del manufatto.

Come precedentemente accennato, al fine di realizzare ambienti di navigazione stereoscopica (dunque 3D e, quindi, con la significatività di tutte le coordinate x, y, z) adatti alla gestione di tutto il bagaglio informativo derivante, l'intera copertura stereoscopica è stata processata all'interno di un apposito software preposto all'orientamento dei fotogrammi per l'ottenimento del modello *raster* 3D, geometricamente controllato.¹¹

Le fasi di rilievo

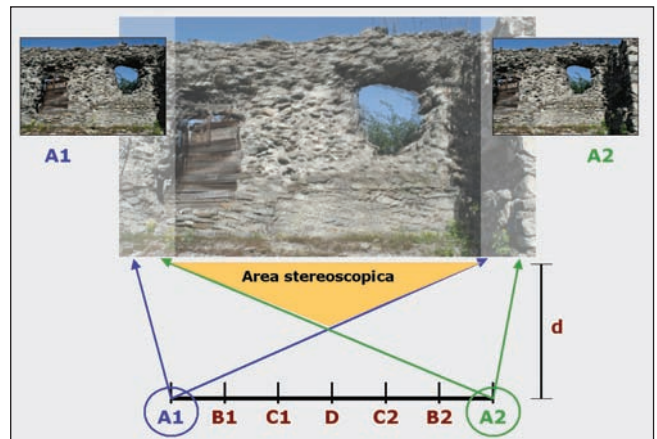
Per ottenere il prodotto-rilievo "finito" sono state articolate alcune specifiche fasi operative, strettamente propedeutiche tra loro, delle quali si fa dettagliata descrizione nei paragrafi a seguire e che possono essere così semplificate:

- acquisizione dei dati;
- elaborazione dei dati;
- organizzazione e sistematizzazione dei dati.

Tale strutturazione del lavoro consente, oggi, anche ad un operatore che non ha effettuato le operazioni di rilievo sul campo di fruire dei dati e lavorare sulle immagini stereoscopiche in modo "facilitato".

Acquisizione dei dati

Per l'esecuzione del rilievo, si è costituito un gruppo di lavoro composto da 4 persone: due architetti per l'attività di coordinamento, per la ripresa fotografica e per le monografie di tutti i dati di campagna funzionali alle successive operazioni di elaborazione; un topografo professionista per l'acquisizione dei dati topografici; un tecnico specializzato per attività di supporto ed accessorie.



9. Costruzione del modello stereoscopico a partire dalle due immagini della coppia stereoscopica. (Elaborazione ITABC)

Ciascuna campagna di rilievo di ogni singolo lotto ha previsto, sinteticamente, le seguenti fasi operative:

- inquadramento tramite una serie di reti topografiche locali opportunamente riferite e collegate tra loro e agganciate, mediante le necessarie procedure di rilievo e di calcolo, al sistema di rete topografica generale dell'intera città;

- copertura fotografica dei prospetti con una sovrapposizione minima del 30% tra le singole stereocoppie;

- acquisizione, utilizzando la stazione totale, le coordinate spaziali dei punti d'appoggio costituiti da mire appositamente posizionate sul manufatto nel numero sufficiente per consentire l'ancoraggio di stereomodelli successivi (si tenga presente che per ogni coppia di fotogrammi occorre rilevare un minimo di tre punti di coordinate note in comune con lo stereomodello precedente; in realtà si è considerato di rilevare sempre due o più punti in eccedenza per evitare, in caso di eventuali errori, di non poter effettuare la successiva fase di restituzione);

- rilievo topografico dello sviluppo planimetrico e dei profili summitali dei singoli tratti di muro per la definizione delle sezioni murarie.

Al fine di ottimizzare la qualità della visione stereoscopica complessiva, in fase di ripresa sono stati adottati alcuni accorgimenti di carattere pratico e generale.

Si è cercato, quindi, di effettuare le riprese in condizioni di illuminazione omogenea valutando, a seguito di sopralluoghi ed in relazione all'esposizione dei singoli tratti, gli orari ottimali di ripresa.

Per ogni lotto si è cercato di mantenere una distanza costante di ripresa dall'oggetto procedendo, in molti casi, con un ricoprimento per strisciate verticali, oltre che orizzontali ad eccezione di particolari situazioni in cui la vegetazione occultava porzioni di manufatto o dove era impossibile accedere con l'attrezzatura. Tali accorgimenti hanno consentito di ottenere superfici utili di ricoprimento simili così da non produrre fastidiosi "salti di scala" in fase di navigazione 3D, consentendo una visione più fluida possibile dell'oggetto da visionare. Spesso le distanze della stazione di presa dall'oggetto sono state quasi obbligate e, soprattutto nel caso di aree limitate, sono state opportunamente adattate al fine di ottenere un preciso rapporto di scala del fotogramma. In linea di massima sono state adottate distanze comprese tra i 3 ed i 12 m proprio in relazione all'articolazione volumetrica dei singoli tratti.

Nei casi in cui l'altezza del profilo murario da ricoprire è risultata maggiore dell'area di ricoprimento del modello stesso, si sono effettuati più scatti ad asse inclinato verso il basso e/o verso l'alto, con una rotazione, rispetto al piano verticale, non maggiore di 15° al fine di realizzare più strisciate orizzontali sovrapposte, necessarie per il ricoprimento dell'intero muro.

In ogni caso l'allineamento delle stazioni di ripresa fotografica è stato fissato in modo da risultare parallelo al piano di riferimento e quindi al manufatto stesso, per evitare eventuali deformazioni.

Il numero di modelli stereoscopici sviluppati per la copertura di ciascun lotto è stato estremamente variabile a seconda delle diverse situazioni e dei gradi di difficoltà per le operazioni di ripresa: alcuni lotti, pur avendo uno sviluppo lineare molto esteso, grazie allo spazio libero antistante disponibile per il posizionamento della camera, sono stati rilevati con un numero complessivo di circa 60



10. Tratto di mura sul lato sud interno con presenza di sperone. (P. Salonia)

modelli; altri lotti di dimensioni più contenute, viceversa, avendo una sezione stradale antistante limitata o essendo caratterizzati da impedimenti visivi dovuti alla vegetazione, hanno richiesto una copertura stereoscopica costituita da centinaia di modelli sovrapposti tra loro sia orizzontalmente che verticalmente con stazioni di ripresa estremamente ravvicinate (ad esempio solo per il cortile dietro all'ufficio del Patronato nei pressi della stazione ferroviaria, sono stati effettuati 240 modelli essendo la sezione stradale antistante il muro ridotta a 3 m circa). Altri lotti, per la loro completa copertura stereoscopica, hanno necessitato di un ampio numero di modelli a causa della presenza di numerosi speroni murari, per i quali sono stati acquisiti, da apposite stazioni, anche i prospetti ortogonali alle mura (fig. 10).

Durante la fase di acquisizione stereofotogrammetrica, è stata necessaria e fondamentale la realizzazione di monografie molto dettagliate, contenenti tutte le informazioni riguardanti il rilievo fotogrammetrico.

Tali monografie sono state principalmente caratterizzate da:

- un eidotipo del tratto murario in esame sia in alzato che in pianta, sul quale sono stati indicati rispettivamente i modelli tra loro concatenati mediante i punti in comune (minimo quattro) con la posizione approssimativa delle mire che definiscono tali punti topografici d'appoggio e la posizione delle diverse stazioni di presa;

- una scheda che fa riferimento all'eidotipo e sulla quale vengono appuntate tutte le informazioni necessarie, da un lato, per l'organizzazione della notevole quantità di dati di campagna (la data di acquisizione, il lotto in esame, il numero delle foto che definiscono il modello stereoscopico, il numero del modello e della relativa stazione di acquisizione, ecc.) e, dall'altro, per la creazione del modello stereoscopico (la posizione scelta per la camera digitale sulla barra, cioè l'ampiezza della base, la distanza della stazione di presa dal muro, la focale della camera, ecc).

Tutte queste informazioni, utili durante la campagna di rilievo per avere una continua verifica della fase di acquisizione dei dati, sono state necessarie soprattutto per la successiva elaborazione dei dati al fine di un rapido riconoscimento delle foto appartenenti ai diversi modelli e dei relativi punti topografici e per l'organizzazione del lavoro di documentazione nel programma di gestione informatizzato appositamente creato.

Elaborazione dei dati

Una volta acquisiti i dati sul campo mediante il sistema di ripresa stereofotogrammetrica sopra descritto, le immagini digitali che compongono la coppia stereoscopica sono state caricate in un apposito *software* al fine di una gestione in tre dimensioni (il controllo, la misura e la restituzione) del lavoro in esame.

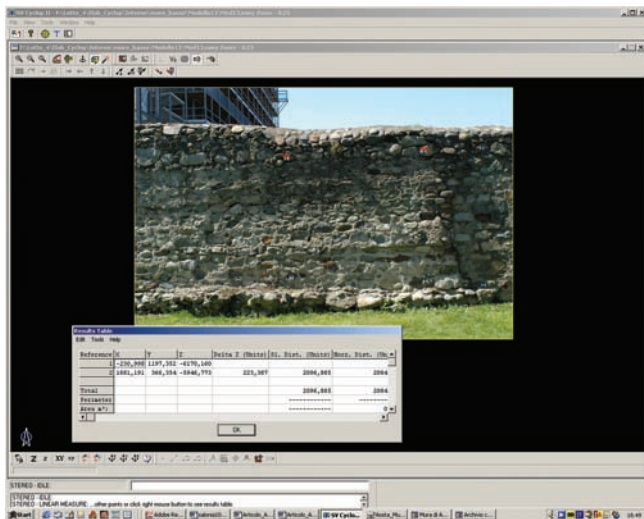
Tale programma, infatti, presenta tutte le caratteristiche e le funzionalità del restitutore fotogrammetrico digitale, ma non necessita delle fasi propedeutiche di orientamento dei fotogrammi.

Il *software* consente di caricare immediatamente la coppia di immagini di ogni stereomodello e gli unici dati richiesti sono, oltre alla coppia di immagini prescelta, la base di presa utilizzata (distanza tra i due scatti), la distanza dall'oggetto e la selezione dei parametri di calibrazione dell'obiettivo utilizzato (fig. 11).

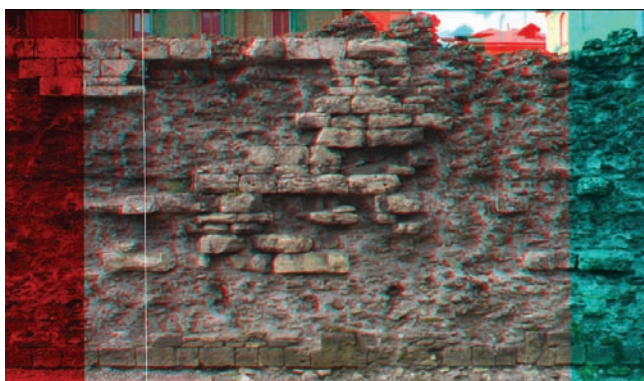
In sintesi, le funzioni principali del *software* possono essere così elencate:

- caricamento immediato della coppia di fotogrammi pronti per la misura 3D senza nessuna fase preparatoria;
- esplorazione dinamica del modello in stereoscopia;
- misura interattiva con produzione di tabelle;
- restituzione di entità 3D in stereoscopia (fig. 12).

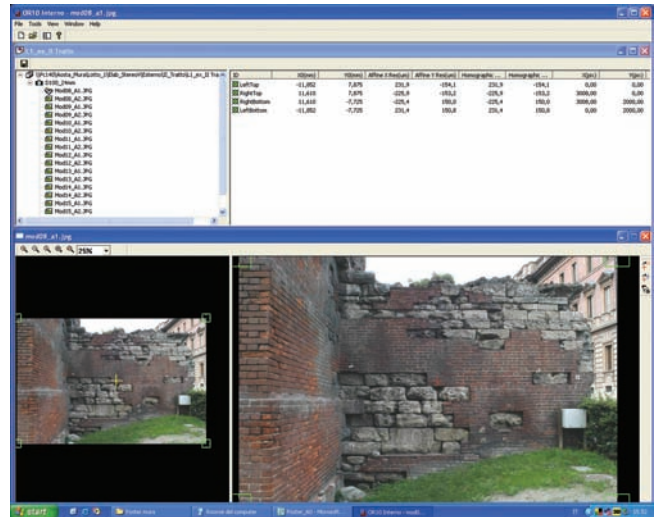
Il sistema, grazie all'utilizzo di una sola camera fotografica, presenta numerosi vantaggi: di economia, di precisione



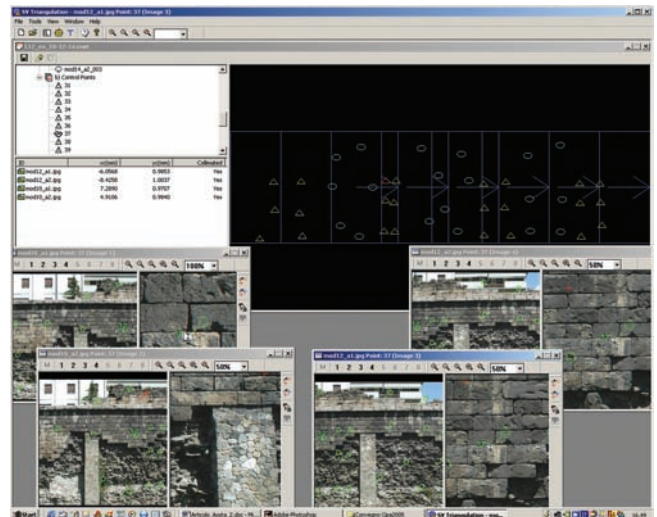
11. Ambiente software Cyclop II per la creazione e la visualizzazione di singoli modelli stereoscopici.



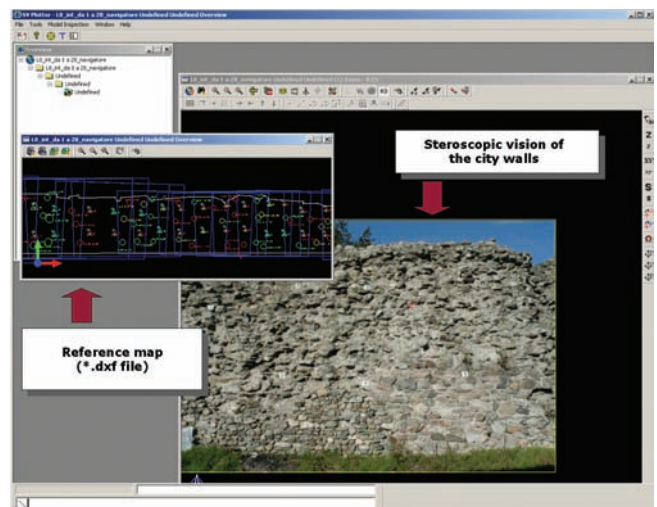
12. Esempio di esplorazione stereoscopica di un modello. Nell'immagine è riprodotta la modalità di visualizzazione "anaglifca". (Elaborazione ITABC)



13. Software Stereo View: una fase di elaborazione all'interno del modulo SV Image Builder.



14. Software Stereo View: una fase di elaborazione all'interno del modulo SV Triangulation.



15. Software Stereo View: una fase di elaborazione all'interno del modulo SV Plotter.

(una sola calibrazione), di omogeneità costruttiva (stessa risposta al colore e stessa difettologia in generale).

Per l'elaborazione dei modelli stereoscopici è stato utilizzato un software di fotogrammetria digitale¹² adatto al caso in esame, come descritto caratterizzato da una particolare continuità muraria ma soprattutto da una dimensione molto estesa.

In tal modo è possibile collegare le coppie stereoscopiche tra loro in modo da poterle esplorare in successione e con l'opportunità di passare da un modello all'altro senza interruzioni di continuità.

Il software si compone di tre moduli, ognuno dei quali risponde a determinate esigenze di elaborazione dei fotogrammi che possono essere così sintetizzate:

- creazione dell'orientamento interno, automatico o semiautomatico, dei fotogrammi (fig. 13);
- creazione dell'orientamento assoluto dei fotogrammi (fig. 14);
- creazione del modello e restituzione stereoscopica delle coppie (fig. 15).

Per ciascun fotogramma viene creato, sia con l'orientamento per coppie sia con il concatenamento di un blocco, un corredo di dati specifici di ciascuna immagine. Oltre ai file delle immagini ed a quelli di orientamento occorre salvare una mappa di riferimento (*file *.dwg*) che rappresenta il quadro di unione dei fotogrammi derivante dalla valutazione dei risultati sia nell'orientamento per coppie sia nella triangolazione. Questo file di concatenamento è trasferibile in AutoCad e consente, nell'eventuale fase successiva di restituzione grafica, di concatenare le vettorializzazioni 3D del manufatto.

Organizzazione e sistematizzazione dei dati

Come accennato precedentemente, per agevolare il lavoro e garantire la fruizione da parte di un qualsivoglia operatore dell'Amministrazione e, soprattutto, per i successivi eventuali aggiornamenti dei lavori, tutte le informazioni di campagna sono confluite in un'apposita banca dati che costituisce un archivio razionalizzato del lavoro svolto.

Il database è stato realizzato in ambiente MSAccess e contiene l'archivio delle immagini fotografiche, delle stereocoppie e tutti gli altri dati identificativi del singolo

modello. Mediante una interfaccia grafica adeguatamente progettata è possibile accedere alla consultazione delle immagini relative alle coppie stereoscopiche e a tutta una serie di dati riguardanti le condizioni di ripresa e i parametri tecnici (fig. 16).

Per ogni modello stereoscopico, sono inoltre archiviate tutte le altre indicazioni che ne costituiscono il corredo informativo completo: data, lotto di appartenenza, numero della stazione di ripresa, posizione della camera sulla barra (corrispondente alla base), distanza dalla base precedente e dall'oggetto, numero identificativo delle foto di origine e posizione di ripresa (fotogramma sx o dx).

Nei circa 170 giorni lavorativi complessivi (corrispondenti a circa 1500 ore di lavoro) sono stati acquisiti dati per un totale di 2542 modelli stereoscopici (quindi 5084 fotogrammi) e di circa 20400 punti topografici d'appoggio solo per il successivo concatenamento delle coppie. La cartella che contiene il lavoro complessivo ha una dimensione pari a 70 GB.

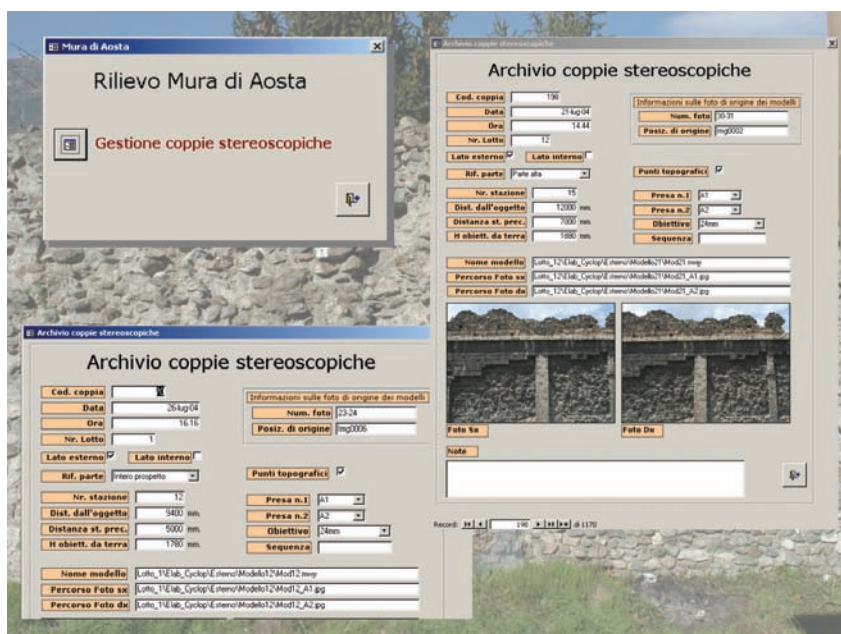
Conclusioni

La sperimentazione effettuata suggerisce alcune riflessioni di carattere generale ed offre, al tempo stesso, spunti per successive sperimentazioni nel settore.

In particolare, le numerose difficoltà incontrate nelle fasi di campagna hanno suggerito nuovi stimoli per applicazioni integrate di tecniche e metodologie innovative: si ipotizza, infatti, la possibilità di effettuare concatenamenti di modelli 3D eseguiti con scanner laser per il rilievo di alcuni monumenti per i quali il sistema finora utilizzato risulta difficilmente praticabile e poco conveniente in termini di tempi e quindi di costi.¹³

La banca dati per immagini realizzata, rappresenta un archivio di informazioni di grande rilevanza scientifica e documentativa, considerando anche la definizione delle stesse acquisizioni fotografiche effettuate in digitale.

Inoltre, nell'ottica di uno sviluppo ulteriore, si auspica che tale database possa essere di supporto, mediante appropriata implementazione, alla gestione di dati provenienti da varie e future attività da parte della Soprintendenza (aggiornamenti del rilievo, analisi dello stato di fatto, progetti di restauro conservativo, ecc.).



16. Esempio di finestre del database realizzato in MSAccess contenente l'archivio delle immagini fotografiche e tutti i dati identificativi dei singoli modelli.

La specificità e la particolarità del lavoro consiste non tanto nell'applicazione di un sistema, all'epoca innovativo, e, come accennato in una precedente nota, già sperimentato dall'ITABC-CNR in altri diversificati contesti, quanto piuttosto nell'applicazione di un tale sistema speditivo di rilevamento 3D ad un'ampia scala urbana ben rappresentata, in questo caso, dalla cinta muraria di Aosta.

Il ricoprimento stereoscopico completo di questo manufatto, infatti, rappresenta già da solo, per le sue dimensioni e caratteristiche, un lavoro sufficientemente raro nel suo genere.¹⁴ A questo si aggiungono la rapidità di fruizione del documento *raster* 3D e la facilità di gestione da parte degli utenti del prodotto complessivo, in modo tale da dotare la sperimentazione del più totale completamento e pieno soddisfacimento.

È da sottolineare, inoltre, come il raggiungimento dell'obiettivo perseguito abbia permesso la realizzazione di un potente strumento di documentazione. Mediante questo diviene possibile indagare l'intero manufatto, in tutta la sua estensione, con un grado di accuratezza altissimo, nella certezza del rigore geometrico e, al tempo stesso, con livelli di "avvicinamento all'oggetto" - zoom successivi resi possibili dall'alta definizione dell'apparato fotografico - impensabili nel sopralluogo visivo sull'oggetto reale.

Abstract

The critical process in reading the artefacts has been helped by the introduction of Computer Science in the field of documentation and survey of architectural heritage. In fact, computer based techniques have strongly modified the acquisition phase and successive operations such as computation and management of information coming from different fields. For instance, it is possible to add further information such as qualitative data, morphology, colour information and so on to photogrammetric acquisition.

This paper focuses on experimental results deriving from application of quick photogrammetric stereoscopic systems to survey and documentation of Roman walls in Aosta, a circuit of five kilometres around the town (internal and external sides).

The final result is composed of metric *raster* stereoscopic strips, explorable in a stereoscopic environment, where it is possible to measure in the third-dimension and to analyse the preservation state. In this way is possible to avoid the vectorial phase, which often represents a subjective abstraction from the truth: the *raster* strips furnish information deriving from the geometrically controlled stereoscopic pairs, qualitatively and quantitatively richer than a traditional relief.

The innovative photogrammetric experimented system is a digital mono-camera system which has the advantages of a bi-camera based system and it allows to make stereoscopic acquisition that can directly be used for return. This system guarantees the same accurateness of geometric data acquisition of a traditional stereoscopic method, that is fundamental within the process of diagnosis of the preservation state. The system would not need topographical support, anyway it has been realised in order to verify the experimented system reliability, the achieved results accuracy and to set the stereoscopic models right in the real space.

All the photographic stereoscopic pairs have been processed in a purpose-made software, where it is possible to add control points (natural and targets deriving from topographic survey) in order to reduce and to minimize errors in overlapping stereoscopic models.

1) V. Viale, M. Ferrero, *Aosta romana e medievale*, Torino 1967; C. Promis, *Le antichità di Aosta*, Torino 1862.

2) Per approfondire gli aspetti relativi all'urbanistica della città antica vedi R. Mollo Mezzena in *Augusta Praetoria. Aggiornamento sulle conoscenze archeologiche della città di Aosta*, in Atti del Congresso sul Bimillenario della città di Aosta (Aosta, 5-20 ottobre 1975), Regione Autonoma Valle d'Aosta, Istituto Internazionale di Studi Liguri, Bordighera (IM) 1982, pp. 219-283.

3) P. Barocelli, *Forma Italiane. Regio XI, Transpadana. Augusta Praetoria*, vol. I, Roma 1948. F. Corni, *Aosta antica. La città romana*, Aosta 2004. A. d'Andrade, *Relazione dell'Ufficio regionale per la Conservazione dei Monumenti del Piemonte e della Liguria*, Torino 1899. R. Mollo Mezzena, *Augusta Praetoria ed il suo territorio*, in AAVV, *Archeologia in Valle d'Aosta*, catalogo della mostra (Saint-Pierre, castello Sarrion de la Tour), Quart (AO) 1982, pp. 63-139. R. Mollo Mezzena, *Augusta Praetoria. Aggiornamento ...*, cit., Bordighera (IM) 1982. R. Mollo Mezzena, A.M. Cavallaro, P. Framarin di Benedetto, *Aosta Romana*, in M. Cuaz (a cura di), *Aosta. Progetto per una storia della città*, Aosta 1987.

4) Il gruppo di lavoro dell'ITABC, coordinato dall'arch. Paolo Salonia, è stato così composto: arch. Antonella Negri, Lucia Valdarnini, Serena Scolastico, Valentina Bellucci; geom. Mario Mascellani, Tommaso Leti Messina; sig. Gaetano Pappalardo. Il lavoro è iniziato con la prima campagna di acquisizione dati a metà luglio 2004 ed è stato consegnato a luglio 2006.

5) K. Kraus, *Photogrammetry*, vol. II, Bonn 1997.

6) L. Menci, *StereoSpace: an idea for photogrammetric data collection*, in Atti del XIX ISPRS Congress, Amsterdam 2000.

7) L. Menci, F. Ceccaroni, P. Salonia, *The stereoscopic exploration of 3D-models as instrument of knowledge, documentation and measurement for mural painting*, in Atti del Symposium ICCROM Graphic Documentation Systems in Conservation of Mural Paintings GraDoc, Roma 1999.

8) Si tratta del sistema di stereofotogrammetria Cyclop II prodotto dalla Menci software di Arezzo.

9) In tal senso, la presente metodologia è stata già diffusamente sperimentata dall'arch. Salonia insieme al suo gruppo di lavoro in altri ambiti di ricerca. Si fa riferimento ad un progetto di ricerca per la *Realizzazione di una banca dati informatizzata dei monumenti del Parco dell'Appia antica*, sviluppato in collaborazione tra IITABC-CNR e la Soprintendenza Beni Culturali del Comune di Roma (Salonia, Negri, Valdarnini, Scolastico, Bellucci, 2004). Un'altra sperimentazione ha riguardato il rilievo dell'intero ciclo di affreschi altomedievali della collegiata dei Santi Pietro e Orso in Aosta sempre nell'ambito del Protocollo di Intesa CNR-RAVA (Salonia, Negri, Valdarnini, 2005). P. Salonia, A. Negri, L. Valdarnini, S. Scolastico, V. Bellucci, *Il progetto Appia Antica: sperimentazione di sistemi innovativi di fotogrammetria 3D*, in Atti del Congresso eArcom04 *Tecnologie per comunicare l'architettura* (20-22 maggio), Ancona 2004. P. Salonia, A. Negri, L. Valdarnini, *L'esempio del ciclo di affreschi alto-medioevali della Collegiata di Sant'Orso in Aosta: Tecnologie Gis a supporto del progetto di conservazione*, in Atti del XXI Convegno Internazionale *Sulle pitture murali. Riflessioni, conoscenze, interventi* (12-15 luglio), Bressanone (BZ) 2005.

10) L'appoggio topografico è stato realizzato dal geom. Mario Mascellani dell'ITABC con stazione totale Pentax 315-N.

11) Si tratta del software Stereo View prodotto dalla Menci software di Arezzo.

12) Vedi nota precedente.

13) P. Salonia, S. Scolastico, V. Bellucci, *Laser scanner, quick stereo-photogrammetric system, 3d modeling: new tools for the analysis and the documentation of cultural archaeological heritage*, in Proceedings of the 2nd International Conference on Remote sensing in archaeology, Roma 2006.

14) S. Bindi Fortoni, *Le mura di Malmantile*, Signa (FI) 1999. A. Di Noto (a cura di), *Cinte Murarie di antiche città del Lazio, progetto di conservazione e valorizzazione della cinta muraria e dei monumenti della città di Ferentino e della Civita di Artena*, Commissione Europea - Direzione Generale X\D\2 Conservazione e valorizzazione del patrimonio architettonico Europeo 1996, San Quirico d'Orcia (SI) 1996.

*Collaboratore esterno: Paolo Salonia, architetto, dirigente di ricerca all'ITABC-CNR.